

Bernburg  
Dessau  
Köthen



**Hochschule Anhalt (FH)**  
Anhalt University of Applied Sciences

# **„Untersuchungen zur Eignung der Leitfähigkeitsmessung für die FAN- Bestimmung in Bierwürze“**

## **Bachelorarbeit**

Zur Erlangung des akademischen Grads eines  
Bachelor of Science

vorgelegt von: Juliane Nitschke

geboren am: 31.07.1984 in Dessau

Studiengang: Lebensmitteltechnologie

1. Gutachter: Prof. Dr. Renate Richter

2. Gutachter: Prof. Dr. Gerhard Kater

Danksagung

Ich bedanke mich bei all denjenigen, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt und motiviert haben.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
<b>1 Einleitung und Zielstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretischer Teil .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Der Brauprozess im Überblick.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Die Braugerste.....</b>	<b>3</b>
2.2.1 Chemische Zusammensetzung.....	3
2.2.2 Eiweißstoffe in der Braugerste.....	5
<b>2.3 Einfluss der Enzyme in Mälzerei und Brauerei.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Stoffumwandlungen während des Mälzungsprozesses.....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Neubildung und Aktivierung von Enzymen während der Keimung.....	9
2.4.2 Abbau von Eiweißstoffen.....	10
<b>2.5 Der Maischprozess .....</b>	<b>11</b>
2.5.1 Aufgabe und Ziel des Maischens.....	11
2.5.2 Einflussgrößen auf die Bierwürzequalität.....	11
<b>2.6 Beurteilung der Qualität von Braumalzen in der brautechnischen Labor- arbeit.....</b>	<b>14</b>
2.6.1 Herstellung von Labormaischen nach Standardmaisverfahren.....	14
2.6.2 Parameter zur Beurteilung der Qualität von Malz und Bierwürze.....	16
<b>3 Experimenteller Teil .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Bestimmung der Qualität von Kongresswürze aus unterschiedlichen Malzen.....</b>	<b>18</b>
3.1.1 Verwendete Malztypen.....	18
3.1.2 Herstellung der Bierwürzen nach dem Kongressmaisverfahren.....	19
<b>3.2 Einfluss der Wasserqualität auf die Beschaffenheit von Bierwürze.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Bestimmung der Kennzahlen der verwendeten Wässer.....	20
3.2.2 Probe und Probenahme für die Wasseranalyse.....	22
<b>3.3 Untersuchung der FAN-Gehalte und der Leitfähigkeit im Prozessverlauf des Kongressmaisverfahrens.....</b>	<b>23</b>
3.3.1 Rohstoffe.....	23
3.3.1.1 Brauwasser.....	23
3.3.1.2 Malz.....	23

3.3.2	Herstellung der Labormaischen	24
3.3.3	FAN-Analyse	25
3.3.3.1	Prinzip der Methode	25
3.3.3.2	Reaktionsmechanismus der Ninhydrinreaktion	27
3.3.4	Bestimmung der Leitfähigkeit	28
3.3.4.1	Prinzip der Methode	29
3.3.4.2	Leitfähigkeit von Aminosäuren	30
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Untersuchung des FAN-Gehaltes</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Korrelation der FAN und Leitfähigkeitsbestimmung</b>	<b>33</b>
<b>4.3</b>	<b>Vergleich der Qualität verschiedener Malze</b>	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>Ergebnisse der Qualitätsanalyse der mit unterschiedlichen Wässern hergestellten Bierwürzen</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>42</b>

Abbildung 1: Der Brauprozess im Überblick.....	2
Abbildung 2: Längsschnitt durch ein Gerstenkorn.....	4
Abbildung 3: Enzyymbildung in keimender Gerste.....	10
Abbildung 4: Temperatur-/Zeit-Verlauf des Kongressmaisverfahrens.....	15
Abbildung 5: Aminosäuren in Kation-, Zwitterion- und Anion-Form.....	30
Abbildung 6: Verlauf der FAN-Konzentration in 3 Versuchen nach dem Kongressmais-Verfahren (Vergleich normaler und aufkonzentrierter Probe).....	31
Abbildung 7: Mittelwerte der FAN-Gehalte in 3 Versuchen nach dem Kongressmais-Verfahren (Vergleich normaler und aufkonzentrierter Probe).....	32
Abbildung 8: Verläufe der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit und der FAN-Werte über 3 gleichgehaltene Kongressmaisverfahren.....	34
Abbildung 9: Mittelwerte der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit und der FAN-Werte über 3 gleichgehaltene Kongressmaisverfahren.....	34
Abbildung 10: Wertepaare des FAN und der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit über 3 Versuche (Kongressmaisverfahren).....	35
Abbildung 11: Wertepaare des FAN und der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit über 3 Versuche (Kongressmaisverfahren) nur innerhalb der Eiweißrast.....	36

Tabelle 1: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Gerste	4
Tabelle 2: Wichtige Enzyme beim Mälzen und Maischen	7
Tabelle 3: Kationen und Anionen im Wasser	12
Tabelle 4: Temperaturführung im Kongressmaischverfahren	16
Tabelle 5: Unterschiede in der Herstellung von hellem und dunklem Malz	19
Tabelle 6: Kennzahlen der verwendeten Wässer	22
Tabelle 7: Analysenparameter von Pilsener Malz	23
Tabelle 8: Erforderliche Chemikalien, Geräte und Hilfsmittel für die FAN-Analyse	26
Tabelle 9: Werte der FAN-Gehalte in mg/100 ml der normalen Proben	32
Tabelle 10: Werte der FAN-Gehalte in mg/100 ml der aufkonzentrierten Proben	33
Tabelle 11: Werte der FAN-Gehalte in mg/100 ml der aufkonzentrierten Proben und die bei 25°C gemessene Leitfähigkeit in mS/cm	35
Tabelle 12: Qualitätsparameter der untersuchten Malze	37
Tabelle 13: Einfluss des Wassers auf die Qualität von Bierwürze	38
Tabelle 14: Verbrauch der Maßlösung bei der Bestimmung der Kennzahlen unterschiedlicher Wässer	42
Tabelle 15: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzeproben Versuch 1	43
Tabelle 16: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzeproben Versuch 2	44
Tabelle 17: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzeproben Versuch 3	45

## 1 Einleitung und Zielstellung

Der Maischprozess beeinflusst die Qualität des Bieres maßgeblich und ist Ausgangspunkt für die Effizienz nachfolgender Produktionsschritte. Daher ist es erstrebenswert, Qualitätsschwankungen während des Maischens zu erkennen und direkt Einfluss zu nehmen. Die prozessbegleitende Überwachung des Maischens wurde lange außer Acht gelassen und beschränkte sich auf die Erfassung nur einer Konzentration (z.B. Stammwürzegehalt) bzw. einzelner physikalischer Größen.

Im Maischprozess findet ein vorwiegend enzymatischer Aufschluss von Polymeren statt, dessen maßgebliche Parameter die Temperatur-/Zeit-Führung ist. Eine empirische Erstellung dieses Regimes ist nach wie vor gängige Vorgehensweise in der Praxis. Die Temperaturstufen richten sich dabei nach den jeweiligen Enzymoptima in der Maische.

In den letzten 30 Jahren rückte die Erfassung der Konzentrationsverläufe während des Maischens in den Mittelpunkt, um die zeitliche Entstehung der Endkonzentration zu erfassen. Als Naturprodukt unterliegt der Rohstoff Malz natürlichen Schwankungen, die sich mit standardisierten Laboranalyseverfahren charakterisieren lassen. Die Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission MEBAK legt hierfür die Verfahrensschritte dieser Standardanalysen fest.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Korrelation zwischen dem Gehalt an  $\alpha$ -Aminostickstoff und der Leitfähigkeit während der Maischeführung - beruhend auf einem standardisierten Verfahren - nachzuweisen bzw. zu bestätigen.

Grundlage für diese Untersuchung bildet die Dissertation von Dickel [1], der die enzymatischen Abbauprodukte beim Maischen anhand Online-Messungen zeitlich verfolgte und eine Korrelation zwischen FAN und Leitfähigkeit feststellte.

Ziel ist es anhand der Leitfähigkeit eine Aussage über den FAN-Gehalt zu treffen, um die FAN – Analyse durch die Messung der Leitfähigkeit substituieren zu können.

Zusätzlich wurde der Einfluss der Malzsorte und der Wasserqualität auf die Zusammensetzung der Bierwürze untersucht.

## 2 Theoretischer Teil

### 2.1. Der Brauprozess im Überblick

Der Bierbrauprozess setzt sich aus den Anfangsprodukt Braugetreide, den Zwischenprodukten Malz, Schrot, Maische und dem Endprodukt Bier zusammen (Abbildung 1) und bildet ein komplexes, auf sich aufbauendes System.

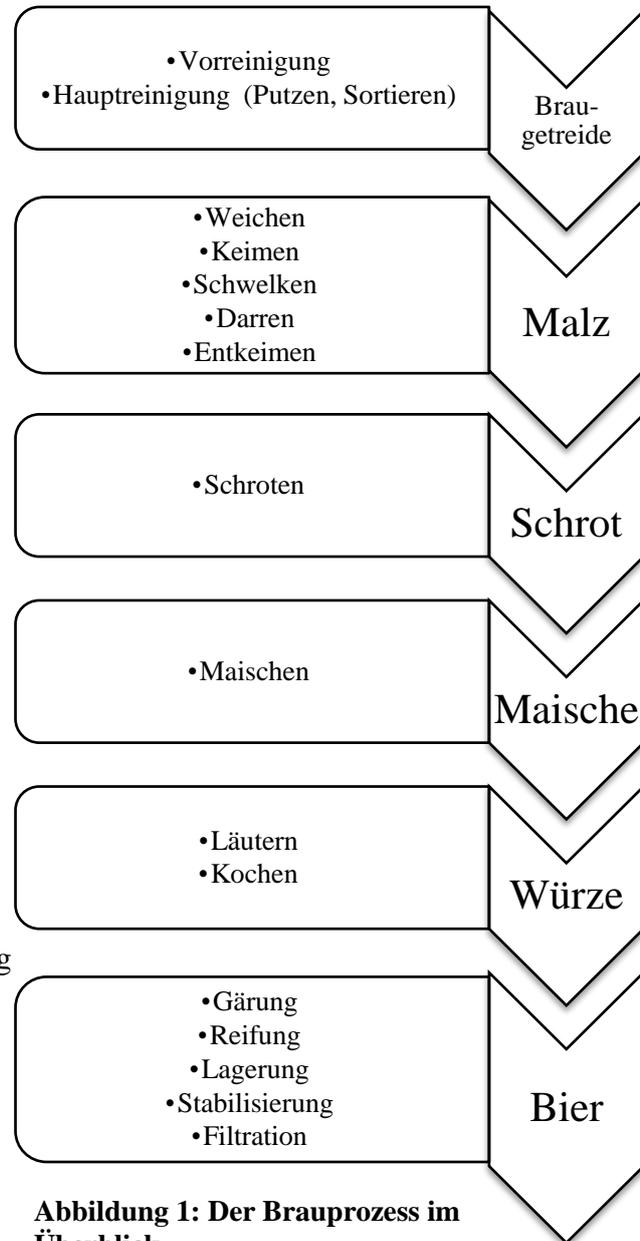
Laut Reinheitsgebot, darf für die Herstellung untergäriger Biere ausschließlich Gerste als Braugetreide verwendet werden. Für obergärige Bier sind andere Getreide wie Weizen, Hafer und Roggen zulässig [2,3].

Die Qualität des Braugetreides wird maßgeblich von Umwelt- und Lagerbedingungen, sowie der verwendeten Sorte bestimmt.

Im ersten Verfahrensschritt, dem Weichen und Keimen, wird die künstliche Keimung der Gerste eingeleitet. Die Keimung wird über die Keimparameter Temperatur, Zeit, Weichgrad und

dem Verhältnis  $\text{CO}_2:\text{O}_2$  erreicht und führt vor allem zur Bildung hydrolytischer Enzyme.

Abschließend wird durch das Schwelken und Darren der Wassergehalt im Grünmalz auf 5% reduziert, um zum Einen die Keimung zu unterbrechen und die Inhaltsstoffe zu fixieren und zum Anderen, um das Malz lagerfähig zu machen. Das Schroten des Malzes ist für den folgenden Maischprozess ein notwendiger Schritt, da der mechanische Aufschluss des Malzkorn das Lösen der Malzinhaltsstoffe im Brauwasser ermöglicht. Die Maische (Malzschrot + Brauwasser) wird einem festgelegten Temperatur-/Zeit- Regime unterzogen.



**Abbildung 1: Der Brauprozess im Überblick**

Hier erfolgt eine physikalische Lösung der Malzinhaltsstoffe, gefolgt von der enzymatischen Modifikation selbiger.

Im Läuterprozess werden die unlöslichen Bestandteile (Treber) in der Maische von den löslichen Malzinhaltsstoffen (Würze) getrennt. Die Würze wird im folgenden Schritt gekocht und der Hopfen wird zugesetzt, aus dem sich während der Durchkochung bittere und aromatische Bestandteile lösen, die für die Geschmacksgebung des Bieres unerlässlich sind. Weitere Vorgänge sind außerdem die Sterilisation der Würze und die Zerstörung aller Enzyme.

Im letzten Prozessschritt wird der durch amylolytische Abbauvorgänge enthaltene Zucker in der Bierwürze von den Enzymen der Hefe zu Ethanol und Kohlendioxid vergoren. Der Stoffwechsel der Hefe beeinflusst entscheidend die Qualität des Bieres. Die Hefezellen benötigen z.B. zum Aufbau neuer Zellsubstanzen eine ausreichende Menge an Stickstoffquellen, die in der Würze vor allem in Form von Aminosäuren (FAN-Gehalt) vorhanden sind. Dem Extraktabbau schließt sich die Reifung an, die dem Abbau von Gärungsnebenprodukten wie Diacetyl dient. Die Lagerung und die Stabilisierung wirken sich vorwiegend auf die kolloidale Stabilität und die geschmackliche Abrundung des Bieres aus. Das Ziel der Filtration besteht darin, das Bier haltbar zu machen. In diesem Trennvorgang werden die im Bier verbliebenen Hefezellen und Trübungsstoffe entfernt, sodass auf langer Sicht keine sichtbaren Veränderungen im Bier auftreten.

## **2.2. Die Braugerste**

### **2.2.1. Die chemische Zusammensetzung**

Den Hauptanteil im Gerstenkorn bilden Kohlenhydrate und Eiweiße, die als unlösliche Makromoleküle im Korn vorliegen. Eine Übersicht gibt [Tabelle 1]. Damit Gerste lagerfähig ist, muss der Wassergehalt unter 15% liegen. Liegt der Wassergehalt über 20% ist die Keim- und Lagerfähigkeit gefährdet bzw. herrschen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ungünstige Extraktverhältnisse. Eine unsachgemäße Lagerung führt unter anderem zu verstärkter Atmung und fördert das Wachstum von Mikroorganismen.

**Tabelle 1: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Gerste [4]**

Inhaltsstoff	Lftr. %-Anteil	Wfr.-%-Anteil
Wasser	14,5	-
Stärke	54,0	63,2
Cellulose	-	6
Hemicellulose und Gummistoffe	-	10
Sonstiger N-freier Extrakt	12,0	14,0
Eiweiß	9,5	11,0
Rohfaser	5,0	5,9
Fett	2,5	2,9
Mineralsubstanzen	2,5	2,9

Die Stärke ist wichtigster und größter Bestandteil der Gerste, wie Anhand des weißen Mehlkörpers in Abbildung 2 zu sehen ist. Die Stärke ist in Form von Stärkekörnern (Amyloplasten) in den Zellen des Mehlkörpers eingelagert und besteht aus den zwei Strukturen: Amylose und Amylopektin.

Diese aus Glucoseresen aufgebauten Substanzen, unterscheiden sich kaum in ihren chemischen Eigenschaften. In ihrer physikalischen Charakteristik variieren sie dagegen relativ stark.

Amylose ist in heißem Wasser löslich und neigt zu keiner Kleisterbildung. Sie besteht aus 1,4- verknüpften Ketten von  $\alpha$ -D-Glucose und bildet lange helikale Strukturen, die durch Einschlussverbindungen geprägt sind.

Amylopektin ist in Wasser unlöslich und zeigt bei Temperaturen oberhalb 60°C aufgrund seines hohen Quellvermögens, eine starke Kleisterbildung [5]. Diese Verbindung besitzt  $\alpha$ -D-Glucose-Ketten die 1,4- als auch 1,6- verknüpft sind. Aufgrund dieser Verzweigung orientiert sich das Amylopektin im Stärkekorn radial.

Die Stütz- und Gerüstsubstanzen im Gerstenkorn bilden Cellulose, Hemicellulosen und Gummistoffe. Cellulose, mit einem Anteil von 6%, besteht aus  $\beta$ -1,4-Bindungen der Glucose und befindet sich ausschließlich in den



**Abbildung 2:**  
**Längsschnitt durch**  
**ein Gerstenkorn**

Spelzenzellen. Sie ist gegen Enzyme widerstandsfähig, wodurch es den Brauprozess unverändert verlässt. Die Hemicellulosen bestehen zu 80 bis 90% aus  $\beta$ -Glucane und 10 bis 20% aus Pentosen und sind zusammen mit den Gummistoffen Bestandteil der Zellwände im Endosperm (Mehlkörper) und enzymatisch abbaubar.

Die Gersteneiweißstoffe werden aufgrund ihres Verhaltens im Bierbereitungsprozess in zwei große Gruppen eingeteilt: in Proteine und deren Abbauprodukte. Der größte Teil der Gersteneiweißstoffe besteht aus Proteinen (92%). Ihre Abbauprodukte mit einem Anteil von 8%, steigen während des Mälzens und Brauens an. Eine ausführliche Unterteilung der Eiweißstoffe wird im nächsten Abschnitte „Eiweißstoffe in der Braugerste“ beschrieben.

### **2.2.2. Eiweißstoffe in der Braugerste**

Die Eiweißstoffe bzw. die Proteine in der Gerste spielen, obgleich sie im Vergleich zum Stärkegehalt in eher geringen Mengen vorkommen, eine bedeutende Rolle für alle Verarbeitungsprozesse bei der Bierherstellung. Ihr prozentualer Anteil beträgt zwischen 8 und 13,5%. In Gersten die als Brauware verwendet werden liegt ihr Gehalt im Bereich von 9,0 bis 11,5%. [6]

Für die Herstellung heller Malze und Biere werden insbesondere Gersten mit niedrigerem Proteingehalt verarbeitet, da sich diese in diesem Fall brautechnisch günstiger auswirken. Liegt der Proteingehalt allerdings unter 9,0 % kann z.B. eine optimale Verzuckerung durch zu geringe Enzymaktivität nicht mehr gewährleistet werden. Eine Steigerung des Proteingehalts um 1% resultiert in der Verringerung der Extraktergiebigkeit um einen Wert zwischen 0,5-0,9%. Überdies werden der Gärverlauf, die Filtrationsgeschwindigkeit, der Schaum, das Aroma und die Haltbarkeit des Bieres beeinträchtigt.

Das Gersteneiweiß besteht aus 92% Protein und zu 8% aus deren höher- und niedermolekularen Abbauprodukten: von den Proteosen und Peptonen bis zu den Peptiden und Aminosäuren.[7]

Die höhermolekularen Abbauprodukte wirken sich günstig auf die Schaumhaltbarkeit aus und sind auch Ursache für auftretende Trübungen im Bier. Der niedermolekulare Anteil in Form der Peptide und Aminosäuren, der sich im Verlauf des Mälzens und Maischens erhöht, ist für die Hefen bei der Gärung die wichtigste Nährstoffquelle für Stickstoff, der im Gehalt des freien  $\alpha$  – Aminostickstoff (FAN- Gehalt) Ausdruck findet.

Eiweißstoffe befinden sich in der Gerste in der Kornumhüllung, im Mehlkörper und im Keimling. Die Verteilung im Mehlkörper beschränkt sich an drei begrenzten Stellen:

- in der den Mehlkörper umgehenden Aleuronschicht als Klebereiweiß
- unter der Aleuronschicht am äußerem Rand des Mehlkörpers als Reserveeiweiß
- im Mehlkörper als Gewebeeiweiß der Zellwände der stärkeführenden Zellen

Das Reserveeiweiß bestimmt den verschieden hohen Eiweißgehalt der Gerste und wird beim Keimen zuerst von den Enzymen angegriffen und liefert die Hauptmenge der wasserlöslichen Eiweißstoffe.

Die Einteilung der Proteine im Gerstenkorn erfolgt nach ihrer Löslichkeit (Einteilung nach Osborne). [8]

**Albumine** sind mit einem Anteil von 11% am Gersteneiweiß in Form des Leucosins vorhanden, die im destillierten Wasser löslich sind und bei der Verarbeitung vollständig ausfallen.

Das **Globulin** Edestin ist mit einem Anteil von 15% am Gersteneiweiß beteiligt und löst sich in der Maische auf. Die Globuline sind aus 4 Komponenten aufgebaut ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ - Globulin). Das schwefelhaltige  $\beta$ -Globulin fällt jedoch nie ganz aus, wodurch es Trübungen im Bier verursachen kann.

**Prolamine** sind als Hordein mit 37% vertreten, in 50-90%igem Alkohol löslich und gelangt zum Teil in die Treber.

Die **Gluteline** (30%) sind alkalilöslich und befinden sich ausschließlich in der Aleuronschicht, werden nicht abgebaut und gelangen in die Treber.

Albumine und Globuline sind im Endosperm enthalten, Prolamine und Gluteline sind hauptsächlich als Reserveeiweißstoffe unter der Aleuronschicht lokalisiert.

Desweiteren enthält die Gerste Glycoproteide und Stickstoffverbindungen mittleren oder niederem Molekulargewichts.

### 2.3 Einfluss der Enzyme in Mälzerei und Brauerei

Enzyme sind hochmolekulare Eiweißstoffe, die bestimmte biochemische Reaktionen erst ermöglichen oder beschleunigen (Biokatalysatoren). Sie sind substratspezifisch und essentiell für alle Lebensprozesse und schon in geringen Konzentrationen wirksam. Ihre Einteilung erfolgt nach ihrer Reaktionsspezifität.

In der ruhenden Gerste sind nur wenige Enzyme vorhanden, die erst beim Keimen der Gerste gebildet oder freigesetzt werden. Für die Brautechnologie sind hauptsächlich wichtig: Hydrolasen und Oxidoreduktasen.

Enzyme werden benötigt, um die eingelagerten unlöslichen Substanzen im Endosperm in lösliche zu überführen, die dem Keimling zur Energiegewinnung dienen und dazu befähigen, neue Zellsubstanzen aufzubauen. Tabelle [2] gibt einen Überblick über die Enzyme die beim Mälzen und Maischen wirken.

**Tabelle 2: Wichtige Enzyme beim Mälzen und Maischen**

	Enzym	Temperatur- optimum in Maische [°C]	pH-Optimum in Maische	Substrat	Produkt
Cytolyse	β-Glucan- Solubilase	62-65	6,8	matrixgebundenes β- Glucan	lösliches, hochmolekulares β- Glucan
	Endo-1,3-β- Glucanase	<60	4,6	lösliches, hochmolekulares β- Glucan	niedermolekulares β- Glucan, Cellobiose, Laminaribiose
	Endo-1,4-β- Glucanase	40-45	4,5-4,8	lösliches, hochmolekulares β- Glucan	niedermolekulares β- Glucan, Cellobiose, Laminaribiose
	Endo-β-Glucanase	<40	4,5	Cellobiose, Laminaribiose	Glucose
Proteolyse	Endopeptidase	45-50	3,9-5,5	Proteine	Peptide, freie AS
	Carboxypeptidase	50,0	4,8-5,6	Proteine, Peptide	freie AS
	Aminopeptidase	45,0	7,0-7,2	Proteine, Peptide	freie AS
	Dipeptidase	45,0	8,8	Dipeptide	freie AS

Amylolyse	$\alpha$ -Amylase	65-75	5,6-5,8	hoch- und niedermolekulare $\alpha$ -Glucane	Melagosaccharide, Oligosaccharide
	$\beta$ -Amylase	60-65	5,4-5,6	$\alpha$ -Glucane	Maltose
	Maltase	35-40	6,0	Maltose	Glucose
	Grenzdextrinase	55-60	5,1	Grenzdextrinase	Dextrine
Weiter Enzyme	Lipase	55-65	6,8-7,0	Lipide, Lipidhydroperoxide	Glycerin, frei langkettige FS, Fettsäurehydroperoxidase
	Lipoxygenase	45-55	6,5-7,0	freie langkettige Fettsäuren	Fettsäurehydroperoxide
	Polyphenoloxidase	60-65	6,5-7,0	Polyphenole	oxidierte Polyphenole
	Peroxidase	>60	6,2	organische und anorganische Substrate	freie Radikale
	Phosphatase	50-53	5,0	organisch gebundenes Phosphat	anorganisches Phosphat

Cytolytische Enzyme wie die  $\beta$ -Glucanasen lösen die Zellwände des Mehlkörpers auf, indem sie die über Esterbindungen verknüpften, wasserunlöslichen Hemicellulosen in lösliche Form überführen und die Gummistoffe (wasserlösliche Hemicellulosen) abbauen. Dabei werden hochmolekulare  $\beta$ -Glucane freigesetzt, die eine hohe Viskosität vermitteln und im weiteren Verlauf zu niedermolekularen  $\beta$ -Glucan abgebaut werden.

Proteolytische Enzyme bauen Gersteneiweiße zu hochmolekularen Abbauprodukten und beim längeren Einwirken zu Aminosäuren ab. Eine Reihe von Endo-Peptidasen spalten Peptidketten aufgrund des Vorhandenseins bestimmter Aminosäurereste nur an gewissen Stellen. Exo-Peptidasen spalten vom Ende der Peptidketten einzelne Aminosäuren ab.

Die stärkeabbauenden Enzyme (Amylasen) bauen native Stärke zu Maltose ab.  $\alpha$ -Amylase greift die Stärkearten Amylose und Amylopectin von innen heraus an, wobei Dextrine entstehen, wohingegen die  $\beta$ -Amylase von außen einzelne Maltoseeinheiten abbaut, die wiederum durch Maltase zu Glucoseeinheiten gespalten werden.

## **2.4 Stoffumwandlungen während des Mälzungsprozesses**

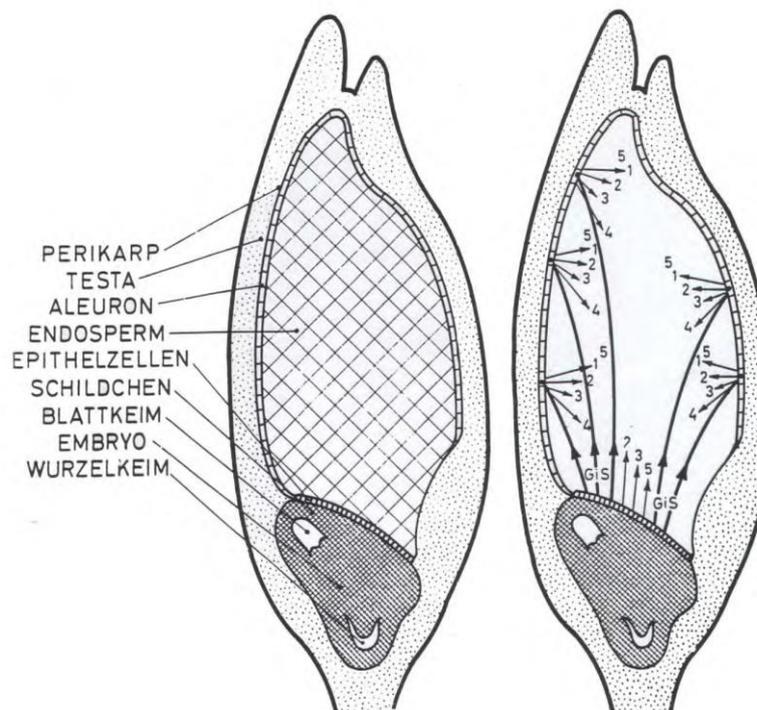
### **2.4.1 Neubildung und Aktivierung von Enzymen in der Gerste während der Keimung**

Der Vorgang der Neubildung und Aktivierung von Enzymen stellt beim Prozess der Keimung das wesentliche Merkmal dar. Erst die Enzyme machen es möglich die in der Gerste eingelagerten unlöslichen Substanzen in lösliche Form zu überführen. Dieser Schritt ermöglicht den Transport dieser Stoffe zum Keimling, der diese zum Aufbau neuer Zellsubstanzen oder zur Energiegewinnung benötigt.

Im Prozessabschnitt des Weichens, welcher kontinuierlich in das Keimen übergeht, wird dem Korn Wasser zugeführt, um vorhandene Enzyme zu aktivieren und die gebildeten niedermolekulare Stoffe zum Keimling zu transportieren. Ab einem Wassergehalt von 30% zeigen sich erste Lebensvorgänge in der Gerste und mit ansteigendem Weichgrad verstärken sich die Enzyymbildung, das Wachstum des Wurzel- und Blattkeims und die stofflichen Umwandlungsvorgänge. Erst bei einem Feuchtigkeitsniveau von 43-48% können die gewünschten Stoffumsetzungen während der festgelegten Keimzeit erreicht werden.

Die Bildung und Aktivierung der Enzyme, wie sie in der Abbildung 3 dargestellt ist, werden durch pflanzliche Wachstumsregulatoren hervorgerufen, die sich im Keimling befinden und mit dem Eintreten des Wassers im Korn verteilt werden. Diese Substanzen werden Gibberelline oder Gibberellinsäuren genannt und gehören zur Familie der tetracyclischen Diterpenoide. Die Stoffklasse der Gibberelline ist im Pflanzenreich weit verbreitet und bis heute sind 126 Verbindungen bekannt. [9]

Das Gibberellin GA3 ist die am eingehendsten erforschte Verbindung dieser Klasse, welche für die Bildung und Sekretion von Hydrolasen in Getreidekörnern verantwortlich ist. GA3 fördert die Ausbildung einer Proteinsynthesemaschinerie, wobei die Synthese der Hydrolasen stattfindet und u.a.  $\alpha$ -Amylase in der Aleuronschicht des Gerstenkorns gebildet wird. [10]



**Abbildung 3.: Enzymbildungsvorgänge in keimender Gerste**  
 (1 Endo- $\beta$ -Glucanase; 2  $\alpha$ -Amylase; 3 Protease; 4 Phosphatase; 5  $\beta$ -Amylase;  
 GiS = Gibberellinsäure)

### 2.4.2 Abbau von Eiweißstoffen

Parallel zur voranschreitenden Auflösung des Kornes während der Keimung, steigt die Menge der Eiweißabbauprodukte. Der Abbau zu höher- und niedermolekularen Produkten, kann durch die Veränderung der Mälzungsbedingungen gesteuert werden und darf weder zu knapp noch zu weitgehend erfolgen. Aminosäuren sind insbesondere als Vorläufer für Bildung von Farb- und Aromastoffen während des Darrprozesses und für die Hefeernährung während der Gärung von Bedeutung. Höhermolekulare Eiweißabbauprodukte wie Proteosen und Peptone begünstigen die Schaumhaltbarkeit und die Vollmundigkeit des Bieres.

Die proteolytischen Enzyme die die Eiweißstoffe abbauen, sind die Endo- und Exo-Peptidasen. Endo-Peptidasen spalten das Gersteneiweiß in Makro- und Polypeptiden und diese weiter bis zu den Aminosäuren. Verschiedene Arten der Exo-Peptidasen spalten einzelne Aminosäuren vom Ende der hochmolekularen Eiweißstoffe ab. Die Bildung von Aminosäuren nimmt während der Keimung stetig zu, diese werden zum Teil aber wieder zum

Aufbau von Proteinen im Wurzelkeim gebraucht. Bedingt durch den gleichzeitigen Substanzverlust durch Atmung, nimmt der Eiweißgehalt der Gerste nur um 0,2-0,5% ab. 10 % der Gersteneiweißstoffe verlagern sich in den Wurzelkeim.

## **2.5 Der Maischprozess**

### **2.5.1 Aufgabe und Ziel des Maischens**

Im Maischprozess werden durch enzymatische Abbauvorgänge, unlöslichen Stoffe des Malzes in lösliche überführt. Dabei sollen die Malzinhaltstoffe möglichst umfassend in Lösung gehen, um eine Bierwürze mit hohem Extraktgehalt und eine geeignete Würzezusammensetzung zu erhalten. Die Stärke soll restlos zu Zucker und Dextrinen abgebaut werden. Der Eiweißabbau ist beim Maischen ebenso wichtig wie der Stärkeabbau, denn im Gegensatz zum Malzprozess werden beim Maischen mehr lösliche Stickstoffgruppen gebildet.

Beim Maischen wird Malzschrot mit Wasser vermischt (Einmaischen) und verschiedenen Temperaturreihen während der Verfahrensführung unterzogen. Eine Rast bei 50 – 55°C dient dem Abbau von Eiweißstoffen, eine Rast bei 70 – 72 °C dem Abbau von Stärke. Die Temperaturen richten sich nach den jeweiligen Temperaturoptima der entsprechenden Enzyme die wirken sollen.

### **2.5.2 Einflussgrößen auf die Bierwürzequalität**

Die Bierwürzequalität bzw. deren Zusammensetzung kann durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst werden. Zu nennen sind hier die Qualität und Sorte des verwendeten Malzes, die Zeit- und Temperaturführung des angewandten Maischverfahrens, sowie die Qualität des Brauwassers.

#### Brauwasser

Grundsätzlich müssen Brauwässer die gesetzlichen Anforderungen für Trinkwasserqualität erfüllen, wobei jedoch aufgrund der in weiten Bereichen schwankenden Gesamtmineralisation nicht jedes Wasser als Rohstoff für den Brauprozess geeignet ist. Die Art und Menge der in Betriebswässern enthaltenden Ionen, hängt von der geologischen bzw. chemischen

Beschaffenheit des vom Wasser durchsickerten Bodens ab. In Tabelle 3 sind die wesentlichen Ionen angegeben, wie sie hauptsächlich in natürlichen Wässern vorkommen.

**Tabelle 3: Kationen und Anionen im Wasser**

Kationen		Anionen	
Wasserstoff	H <sup>+</sup>	Hydroxid	OH <sup>-</sup>
Natrium	Na <sup>+</sup>	Chlorid	Cl <sup>-</sup>
Kalium	K <sup>+</sup>	Hydrogencarbonat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Carbonat	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Eisen	Fe <sup>2+</sup> bzw. Fe <sup>3+</sup>	Phosphat	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Aluminium	Al <sup>3+</sup>	Silikat	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>

Die hervorgehobenen Ionen sind die für Brauwasser relevanten, da sie weitgehend Einfluss auf den Würze- und Bierherstellungsprozess nehmen - sie setzen sich mit den Stoffen des Malzes und der Würze um und beeinflussen durch Verschiebung des Säuregrades vor allem enzymatische Vorgänge. Die primären Phosphate in der Würze bedingen hauptsächlich den Würze-pH. [11]

Zur Charakterisierung eines Brauwassers dienen verschiedene Kennzahlen, die sich mit dem Begriff „Härte des Wassers“ zusammenfassen lassen, welcher Ausdruck für die chemisch wirksamen Salze bzw. Ionen des Wassers ist. Die Härte eines Wassers wurde früher mit der Einheit *Grad deutscher Härte* [°dH] angegeben, wobei 1 °dH als 10 mg CaO je einem Liter Wasser definiert ist. Heute ist gesetzlich die molare Angabe in Millimol je Liter [mmol/l] gefordert. [12]

Im Folgenden sollen die einzelnen Kennzahlen und ihre Bedeutung für den Bierherstellungsprozess näher erläutert werden.

### Gesamthärte

Die Gesamthärte eines Wassers wird durch die Stoffmengenkonzentration der Erdalkali-Ionen Calcium und Magnesium bestimmt. Die ebenfalls härtebildenden Strontium- und Barium-

Ionen können aufgrund ihrer geringen Konzentration vernachlässigt werden. Die Angabe der Gesamthärte eines Wassers allein reicht jedoch für eine technologische Kennzeichnung für Wässer nicht aus, weshalb die Gesamthärte in die Carbonat- und Nichtcarbonat-Härte unterteilt wird. Nach ihrem Anteil an der Gesamthärte unterscheiden sich die verschiedenen Brauwässer.

Calcium- und Magnesium-Ionen haben aciditätsfördernde Wirkung. Sie setzen sich mit den primären Phosphaten in der Maische zu schwerlöslichen sekundären Calciumphosphaten um und liefern freie Wasserstoffionen die den pH-Wert senken.

### Carbonathärte

Die Carbonathärte wird durch die Calcium- und Magnesiumverbindungen der Kohlensäure (Carbonat und Hydrogencarbonat) hervorgerufen. Die Carbonathärte ist gleichbedeutend mit der Gesamtalkalität eines Wassers. Ausschließlich die Hydrogencarbonat-Ionen besitzen eine aciditätsvernichtende Wirkung indem sie unter Hitzeeinwirkung oder bei chemischen Reaktionen Wasserstoff-Ionen verbrauchen und gleichzeitig CO<sub>2</sub> freisetzen.

### Nichtcarbonathärte

Die Nichtcarbonathärte wird bedingt durch die Calcium- und Magnesiumverbindungen der Schwefelsäure und Salzsäure (Sulfate und Chloride).

### Restalkalität

Die aciditätsvernichtende Wirkung der Hydrogencarbonat-Ionen wird von den Calcium-Ionen ausgeglichen. Die Restalkalität nach Kolbach beschreibt die aciditätsverändernden Eigenschaften eines Wassers, indem es die Gesamtalkalität (= Carbonathärte) den aciditätsfördernden Ionen gegenüberstellt. Der Ermittlung dieser Kennzahl liegt zugrunde, dass 3,5 Äquivalente Calcium und 7 Äquivalente Magnesium die Alkalität eines Äquivalenz

Bicarbonat neutralisieren. Eine Restalkalität von 10°dH hebt den Maische-pH um 0,3. Eine zu hohe Restalkalität wirkt sich durch die Herabsetzung der Acidität negativ auf die Wirkung der Enzyme aus und kann den Stärke- und Eiweißabbau beeinträchtigen.

Im Gegensatz zu hellen Malzen, kann bei der Herstellung von Bieren aus dunklen Malzen ein gewisser Carbonatgehalt (RA von 10°dH) ohne Nachteil kompensiert werden, da aufgrund der weitgehenden Auflösung und der sauren Reaktion der Melanoidine ein günstiger pH-Wert vorliegt.

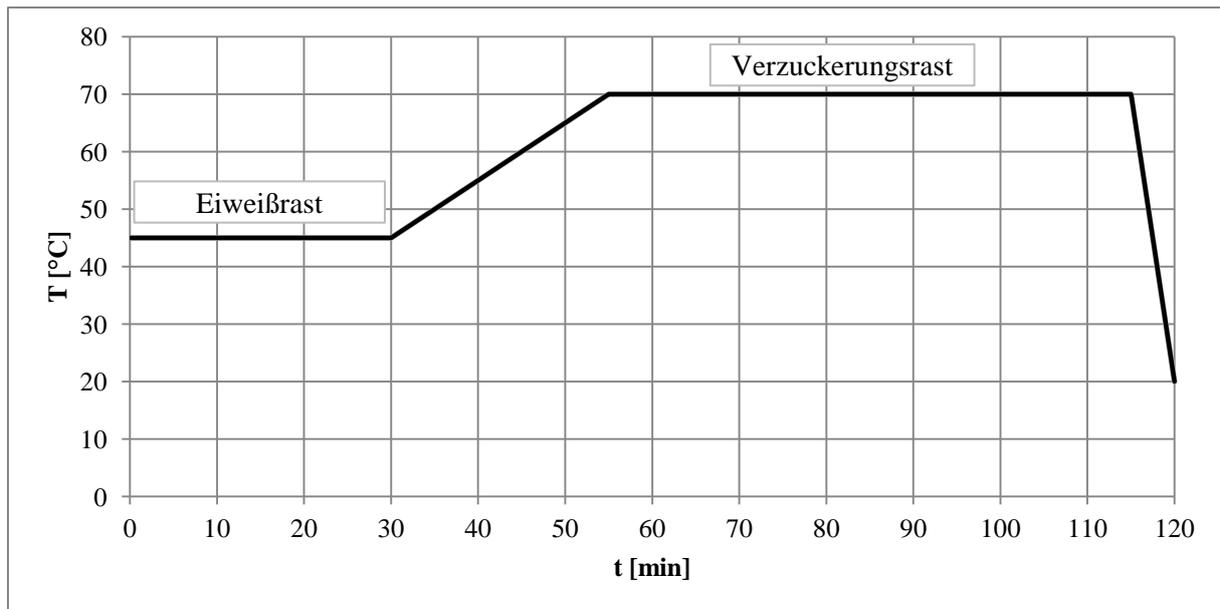
## **2.6 Beurteilung der Qualität von Braumalzen in der brautechnischen Laborarbeit**

### **2.6.1 Herstellung von Labormaischen nach dem Kongressmaischverfahren**

Das Kongressmaischverfahren (siehe Abbildung 4) ist ein in der brautechnischen Laborarbeit etabliertes Standardverfahren zur Herstellung einer Labor- bzw. Vergleichswürze. Bei diesem von der EBC (European Brewery Convention) definierten Infusionsverfahren, erfolgt der Abbau der Malzinhaltsstoffe ausschließlich durch die im Malz vorhandenen Enzyme und gibt folglich Aufschluss über das Vermögen des untersuchten Malzes, seine Inhaltsstoffe maximal abzubauen.

Dieses Laborverfahren unterscheidet sich zu den in der Praxis angewendete Sudverfahren wie folgt [13]:

- das Malz wird sehr fein vermahlen, sodass nach Siebanalyse das Schrot einen Anteil von 90% unter 500 µm aufweist
- das Malz wird nur auf enzymatischen Wege extrahiert
- Maische enthält nach der Filtration noch koagulierende Eiweißstoffe



**Abbildung 4: Temperatur-/Zeit-Verlauf des Kongressmaisverfahrens**

Beim Maischen sind die Rasten von besonderer Bedeutung (siehe Tabelle 4). Zu Beginn erfährt die Maische eine 30-minütige Eiweißrast bei 45°C. Diese Temperatur entspricht der optimalen Wirktemperatur proteolytischer und einiger cytolytischer Enzyme. Hier werden die hochmolekularen Eiweißstoffe zunehmend abgebaut und es findet eine erste Auflösung der Zellwände (Abbau von hochmolekularen  $\beta$ -Glucan) des Mehlkörpers statt, was sich in der anschließenden 25-minütigen Aufheizphase weiter fortsetzt. Die Auflösung der Zellwände muss vor der folgenden Verzuckerungsrast stattfinden, da dadurch der Zugang der stärkeabbauenden Enzyme zu den Stärkekörnern erst ermöglicht wird. Bei der 60-minütigen Verzuckerungsrast oder auch Maltoserast bei 70°C, bauen  $\beta$ -Amylase und vor allem  $\alpha$ -Amylase die Stärke zu niedermolekularen Verbindungen wie Maltose, Dextrine und Glucose ab.

**Tabelle 4: Temperaturführung im Kongressmaischverfahren**

Vorgang	Temperatur [°C]	Rast [min]
Einmaischen	45 - 46	-
<b>Maische in der 1. Raststufe</b>		
Eiweißrast Eiweißabbau im Malzkorn durch Proteinase	45 - 46	30
<b>Maische erhitzen bis zur 2. Raststufe</b>		
Verzuckerungsrast Verzuckerung durch $\alpha$ - Amylase	70	60
<b>Maische abkühlen auf Zimmertemperatur</b>		
Abmaischen	20 - 23	-

### 2.6.2 Parameter zur Beurteilung der Qualität von Malz und Bierwürzen

#### Amylolytische Parameter

##### Extraktgehalt

Der Extraktgehalt gibt an, wie viel % der Malztrockensubstanzen durch das Kongressmaischverfahren mit Feinschrot in Lösung gegangen ist. Dieser Wert ist entscheidend für die Ausbeute während des Brauprozess.

##### Verzuckerungszeit

Mittels einer Jodlösung wird der Stärkeabbau in der Maisch überprüft. Die Jodlösung ergibt mit Stärke und größeren Dextrinen eine Blau- bis Rotfärbung, während Zucker und kleine Dextrine diese Färbung nicht ergeben. Die Maische wird dann als jodnormal bezeichnet.

### Cytolytische Parameter

#### Friabilimeter- Wert

Der Friabilimeter-Wert ist ein Maß für die Mürbigkeit von Gerstenmalz. Die Malzkörner werden zwischen einer Gummiwalze und einer rotierenden Drahtgittertrommel in leicht zerreibbare und feste Körner getrennt. Aus dem Rückstand in der Trommel wird die Mürbigkeit errechnet (M%).

#### Viskosität

Die Viskosität gibt Hinweise auf das künftige Verhalten der Würze beim Läutern und bei der Filtration. Die Viskosität einer Kongresswürze sollte sich zwischen 1,51 und 1,63 mPas bewegen.

#### $\beta$ -Glucangehalt

Der  $\beta$ -Glucangehalt sollte in der Kongresswürze nicht über 200 mg/l liegen, da ein ungenügender Abbau zu Läuter- und Filtrationsstörungen führt. Er gibt an, inwiefern der Abbau der Zellwände im Endosperm fortgeschritten ist.

### Proteolytische Parameter

#### Rohproteingehalt

Während der Mälzung nimmt der Eiweißgehalt um etwa 0.5% ab. Der Eiweißgehalt von Gerste oder Malz hat auf die Malzqualität einen weitreichenden Einfluss. Eine Reihe von Analysenkriterien hängen von der Menge an Rohprotein ab. Gerste für helles Malz sollte einen Eiweißgehalt möglichst unter 11% besitzen. Dies hätte ein Malzeiweiß von 10,5% zur Folge.

### Lösliches Eiweiß

Das gesamtlösliche Eiweiß wird in der Regel als löslicher Stickstoff in mg/100g Malztrockensubstanz angegeben. Der Iösl. N reicht bei hellen Gerstenmalzen normalerweise von 600 -760 mg/100g MTrS. Er ist stark abhängig vom Eiweißgehalt des Malzes und seiner technologisch beeinflussten Lösung.

### Kolbachzahl

Die Kolbachzahl ist eine Maßzahl zur Charakterisierung der Eiweißlösung. Sie ist der Quotient aus dem während des Kongressmaisverfahrens gelösten Eiweiß zum genuinen Korneiweiß. Sie sollte nicht isoliert vom Eiweißgehalt betrachtet werden.

### FAN

Unter dem FAN (freier  $\alpha$ -Amino-Stickstoff) versteht man jene Substanzgruppe, die mit Ninhydrin zu einer blauen, bei 570 nm absorbierenden Verbindung reagiert (Ruhemanns Purpur). Zumeist handelt es sich dabei um Aminosäuren, die als "assimilierbarer Stickstoff" eine wichtige Rolle in Bezug auf die Hefeernährung und -vermehrung spielen. Als wünschenswerte Gehalte an FAN gelten bei Gerstenmalz Mengen zwischen 135 und 155 mg/100g MTrS.

## **3. Experimenteller Teil**

### 3.1 Bestimmung der Qualitätsparameter von Kongresswürzen aus unterschiedlichen Malzen

#### 3.1.1 Verwendete Malztypen

Zur Anwendung kamen ein helles (Pilsener Malz) und ein dunkles Malz (Münchener Malz Typ II). Beide Malztypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer proteolytischen und cytolytischen Lösung. Während bei der Herstellung von dunklen Malzen alle Faktoren gefördert werden, die eine Melanoidinbildung fördern, sollen diese bei der Herstellung von hellen Malzen möglichst unterbunden werden. Dunkle Malze sind dementsprechend weitgehend gelöst und weisen höhere Gehalte an niedermolekularen Stickstoffsubstanzen und Zucker auf als helle Malze. Dies führt beim Ausdarren zu einer natürlichen

Aromatisierung und Färbung. Tabelle 5 stellt die grundsätzlichen Unterschiede in der Herstellung von hellem und dunklem Malz gegenüber.

**Tabelle 5: Unterschiede in der Herstellung von hellem und dunklem Malz [7, s. 165]**

	Helles Malz	Dunkles Malz
Weichgrad des Grünmalzes	42 – 44%	44 – 47%
Keimung Höchsttemperatur	17 – 18 °C	22 – 25 °C
Auflösung	knapp	reichlich
Blattkeimlänge	2/3 – 3/4	3/4 - 1/1
Schwelken	Inaktivierung der Enzyme durch rasche Abtrocknung, kein Stoffabbau	starke Enzymaktivität durch feuchtwarmes Klima, Bildung von Abbaustoffen
Abdarrrtemperatur	80 – 85 °C	105 – 110 °C
Melanoidinbildung	sehr wenig	reichlich

### 3.1.2 Herstellung der Bierwürzen nach dem Kongressmaisverfahren

Jeweils 50 g der verwendeten Malze wurden mit einer Feinschrotmühle (VEB Mühlenbau Dresden) feingeschrotet. Das Maischbad der Firma Bender & Hobein diente zur Herstellung der Labormaischen. Als Brauwasser wurde Reinstwasser verwendet.

Das Brauwasser wurde zunächst in die am Maischbad integrierten Glaskolben (100 ml Fassungsvermögen) gefüllt und zusammen mit dem Maischbad auf die Einmaischtemperatur von 45°C erwärmt. Anschließend wurden 50 g Feinschrot mit 200 ml Reinstwasser (45°C) in einen Maischbehälter eingemaischt und unter Zuschalten eines Rührers mit 100 U/min das Maischprogramm gestartet (Temperatur-/Zeit-Verlauf des Kongressmaisverfahrens siehe Kapitel 2.6.1). Beim Erreichen der Temperatur von 70°C erfolgte die Zugabe von 100 ml Reinstwasser (70°C). Das Ende des Maischvorgangs wird durch Zufuhr von kaltem Wasser in das Maischbad eingeleitet, wobei die Maische innerhalb von 5 – 10 min auf Zimmertemperatur abkühlt. Die fertige Labormaische wurde anschließend auf einen

Kieselgurfilter (Munktell) gegeben und mit Reinstwasser (22 °C) auf 450 g in einen Erlenmeyerkolben aufgewogen, wobei der Maischbecher vollständig ausgespült wurde. Nach beendeter Filtration wurden die Bierwürzen einer Qualitätsanalyse unterzogen. Die Analysemethoden sind Standardmethoden und in den Bänden I und II der Methodensammlung der MEBAK zu finden.

### **3.2 Einfluss der Wasserqualität auf die Beschaffenheit von Bierwürze**

#### **3.2.1 Bestimmung der Kennzahlen der verwendeten Wässer**

Um die Auswirkung der Wasserqualität auf die Beschaffenheit der Bierwürze zu untersuchen, wurden vier Wässer mit unterschiedlichen Härtegraden für die Herstellung der Labormaischen verwendet. Bei den vier Wässern handelt es sich um 2 Leitungswässer und 2 aufbereitete Wässer.

Im Folgenden wird die Bestimmung der wasseranalytischen Kennzahlen kurz beschrieben.

##### Bestimmung der Gesamthärte (GH)

Die Gesamthärte wurde maßanalytisch mit EDTA- $\text{Na}_2$  und dem Metallindikator Eriochromschwarz T bei einem pH-Wert von 10 bestimmt.

Dazu wurden 25 ml Wasserprobe in einen Erlenmeyerkolben pipettiert und eine Indikatortablette zugegeben. Anschließend erfolgte die Zugabe von 5 ml Pufferlösung mit einem pH-Wert von 10. Mit EDTA-Maßlösung wurde bis zum Farbumschlag von dunkelrot nach graugrün titriert. Es erfolgte jeweils eine Dreifachbestimmung.

##### Bestimmung der Carbonathärte (KH) = Gesamtalkalität

Zur Bestimmung der Carbonathärte wurden 100 ml Wasserprobe mit 2 – 3 Tropfen Methylorange versetzt und mit 0,1 M HCl bis zum Farbumschlag von Gelb nach Lachsrot titriert. Es erfolgte jeweils eine Dreifachbestimmung.

Bestimmung der Nichtcarbonathärte (NKH)

Die Nichtcarbonathärte ergibt sich aus der Differenz GH – KH.

Bestimmung der Calciumhärte (Ca-H)

Die Bestimmung des Calciumgehaltes wurden 25 ml Wasserprobe mit 2 ml 1,5% Natronlauge versetzt und 2 Spatelspitzen Calconcarbonsäure-Methylorange-Indikator zugegeben. Unter ständigem Rühren wurde anschließend mit 0,01 M EDTA-Lösung bis zum Farbumschlag von violettrosa nach dunkelgrün titriert.

Bestimmung der Magnesiumhärte (Mg-H)

Die Magnesiumhärte ergibt sich aus der Differenz GH – Ca-H.

Bestimmung der Restalkalität

Die Restalkalität wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Restalkalität} = \text{Gesamtalkalität} - \frac{\text{Calciumhärte} + 0,5 \cdot \text{Magnesiumhärte}}{3,5}$$

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die wasseranalytischen Kennzahlen der verwendeten Wässer. Zur weiteren Charakterisierung wurden ebenfalls der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt.

**Tabelle 6: Kennzahlen der verwendeten Wässer [16]**

Kennzahl	Köthener Leitungswasser	Dessauer Leitungswasser	Reinstwasser	Mischwasser mit 5°dH
Gesamthärte [°dH]	10,0	18,6	< 0,2	5
Carbonathärte (Gesamtalkalität) [°dH]	4,6	7,2	-	2,3
Nichtcarbonathärte [°dH]	5,4	11,4	-	2,7
Calciumhärte [°dH]	7,6	16,4	-	4,2
Magnesiumhärte [°dH]	2,4	2,2	-	2,7
Restalkalität [°dH]	2,1	2,2	-	0,7
pH – Wert [-] (21,5°C)	7,5	7,53	5,74	7,64
Leitfähigkeit [µS/cm] (25°C)	415	715	< 1	210

### 3.2.2 Probe und Probennahme für die Wasseranalyse

Feingeschrotetes Pilsner Malz wurde jeweils mit einem der vier Wässer eingemaischt und dem Kongressmaisverfahren (wie im Kapitel 3.1.2 beschrieben) unterzogen. Nach Beendigung des Verfahrens wurde die Maische auf 450 g aufgewogen und filtriert. Anschließend erfolgte die Analyse der Qualitätsparameter (Doppelbestimmung).

### 3.3 Untersuchung der FAN-Gehalte und der Leitfähigkeit im Prozessverlauf des Kongressmaisverfahrens

#### 3.3.1 Rohstoffe

##### 3.3.1.1 Brauwasser

Zur Herstellung der Labormaischen wurde ausschließlich Reinstwasser mit einer Leitfähigkeit unter 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  verwendet. Damit ist gewährleistet, dass die gemessene Leitfähigkeit klar mit den Malzinhaltsstoffen in Verbindung steht.

##### 3.1.2.2 Malz

Für alle Maischen wurde das gleiche Malz verwendet. Zur Anwendung kam Pilsener Malz, ein gut gelöstes helles Malz, hergestellt von der Malzfabrik Landsberg GmbH. Unter Anwendung des Kongressmaisverfahrens wurde dieses Malz einer Malzanalyse unterzogen. Die Analysenparameter entsprachen folgenden Werten:

**Tabelle 7: Analysenparameter von Pilsener Malz (nach MEBAK [14], [15] )**

<b>Wasser- und Extraktwerte</b>		<b>Stickstoffverhältnisse</b>	
Wassergehalt:	4,6 %	Roheiweiß:	9,4 %
Extrakt lufttrocken:	79,1 %	löslicher Stickstoff:	713 mg/l
Extrakt Wasserfrei:	82,9 %	FAN:	142 mg/l
		ELG°:	42 %
<b>mechanische Eigenschaften</b>		<b>Cytolytische Eigenschaften</b>	
Friabilimeterwert:	89 %	Viskosität (8,6%):	1,460 mPa·s
Ganzglasigkeit:	0,7 %	Viskosität (12%):	1,675 mPa·s
		$\beta$ -Glucan-Gehalt:	171 mg/l
Würzefarbe:		3,78	EBC
pH-Wert:		5,81	
Verzuckerungszeit:		< 10 min	

### 3.3.2 Herstellung der Labormaischen

#### Probe und Probenentnahme

Ein Nachteil des Maischbades von Bender & Hobein bestand darin, dass die Maischbehälter nicht unabhängig voneinander dem Maischprogramm unterzogen werden konnten. Dies machte es notwendig alle 6 Proben (je 50,0 g Malzschrot und 200 ml Reinstwasser) die während der 30-Minütigen Eiweißrast entnommen werden sollten, nacheinander einzumaischen bevor das Kongressmaisprogramm gestartet werden konnte. Das Einrühren des Schrots mit Wasser nahm pro Probe ca. 1 Minute in Anspruch, sodass in der Maische die zuerst angesetzt worden war, die Enzyme bereits 6 Minuten wirken konnten. Um mit der Probennahme möglichst zeitnahe Werte für den FAN-Gehalt und der Leitfähigkeit zu erhalten, erfolgte eine manuelle Einstellung der Einmaischttemperatur von 45°C und einer beliebigen Zeitdauer am Maischbad. So war es möglich, jede Probe einzeln einzumaischen und nach entsprechender Verweildauer zu entnehmen.

Weitere drei Proben wurden während der 60 minütigen Verzuckerungsrast bei Minute 55, 85 und 115 entnommen. Diese drei Proben wurden zu Beginn des Prozess nacheinander eingemaischt und zum entsprechenden Zeitpunkt während des Kongressmaisverfahrens entnommen.

Alle Maischbecher mit den Proben wurden nach der Entnahme sofort in Eiswasser gestellt und unter ständigem Rühren innerhalb von 1-2 Minuten auf unter 10°C abgekühlt, um die Wirkung der Enzyme zu unterbrechen. Anschließend erfolgte die Filtration der Maischen mittels Faltenfilter (Kieselgurfilter) und das Aufwiegen der Proben mit Reinstwasser auf 450 g. Für jede Probe erfolgte jeweils eine Dreifachbestimmung.

Neben der Herstellung der Proben nach dem standardisierten Kongressmaisverfahren, wurden aufkonzentrierte Proben angefertigt, um die Labormaischen dem Praxisverfahren anzunähern. Die Probennahme erfolgte wie beschrieben, jedoch wurden nach dem Hauptguss von 200 ml Reinstwasser keine weitere Verdünnung vorgenommen und die abgekühlten Proben lediglich auf 250 g aufgewogen. Mit dem Aufwiegen auf 250 g wird die Vergleichbarkeit der Proben gewährleistet, da aufgrund der Verdunstung von Wasserdampf aus den offenen Maischbehältern eine Erhöhung der Konzentration stattfindet.

### 3.3.3 FAN-Analyse

#### Allgemeine Informationen

Die Abkürzung FAN steht für den Begriff „free amino nitrogen“ und bezeichnet den freien  $\alpha$ -Aminostickstoff, wie er in den Aminosäuren anzutreffen ist. Für die Ernährung der Bierhefe und damit für den Verlauf der Gärung und die Bildung von Gärungsnebenprodukten ist der  $\alpha$ -Aminostickstoff von entscheidender Bedeutung für die Vermehrung dieser einzelligen Pilze. Desweiteren haben die Aminosäuren einen Einfluss auf das Aromaprofil des Bieres und sind Vorläufer für die Bildung von Farbstoffen, indem sie mit reduzierenden Zuckern im Zuge der Maillardreaktion Melanoidine bilden. Im Bierherstellungsverfahren findet die Bildung von Aroma und Farbstoffen besonders bei den Prozessen des Maischens, Darrens und Würzekochens statt.

#### 3.3.3.1 Prinzip der Methode

Die Bestimmung der Aminosäuren mittels der Ninhydrin-Reaktion ist eine quantitative Methode, bei der die Farbintensität des Produktes (Extinktion der Lösung) unter geeigneten Bedingungen der Aminosäurenkonzentration proportional ist. Bei dieser Methode werden jedoch nicht nur die  $\alpha$ -Aminogruppen der Aminosäuren erfasst, sondern ebenfalls primäre Amine, Ammoniak, Peptide und Proteine mit freien Aminogruppen. Da verschiedene Aminosäuren unterschiedliche Farbintensitäten zeigen, bezieht man sich auf eine „Standard-Aminosäure“ Glycin. Bezogen auf Glycin beträgt die Farbausbeute der einzelnen Aminosäuren 70 – 105%. Die Aminosäure Prolin wird mit der Ninhydrinmethode nur zu 7% erfasst, da diese statt einer primären ( $\text{NH}_2$ ) eine sekundäre Aminosäure ( $\text{NH}$ ) besitzt.

#### Durchführung der FAN-Analyse

Für die photometrische FAN - Bestimmung wurden zunächst die benötigten Reagenzien Farbrenz und Verdünnungslösung, sowie eine Glycin-Stammlösung hergestellt (siehe Tabelle 8 unter Chemikalien).

**Tabelle 8: Erforderliche Chemikalien, Geräte und Hilfsmittel für die FAN-Analyse**

Chemikalien	Geräte	Hilfsmittel
Farbreagenz (100 ml): <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10,0 g Dinatriumhydrogenphosphat (<math>\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}</math>)</li> <li>• 6,0 g Kaliumdihydrogenphosphat (<math>\text{KH}_2\text{PO}_4</math>)</li> <li>• 0,5 g Ninhydrin</li> <li>• 0,3 g Fructose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektralphotometer, 570 nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reagenzgläser 16 x 150 mm, mit Schliffstopfen</li> <li>• Pipetten mit Peleus-Ball oder autom. Pipettiervorrichtung</li> <li>• kochendes Wasserbad</li> <li>• Küvetten, 10 mm Schichtdicke</li> </ul>
Verdünnungslösung (250 ml): <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,5 g Kaliumjodat</li> <li>• 100 ml 96% iges Ethanol</li> <li>• 150 ml <math>\text{H}_2\text{O}</math></li> </ul>		
Stammlösung (100 ml): <ul style="list-style-type: none"> <li>• 107,2 mg Glycin (200 mg/l)</li> </ul>		

Die Glycin-Stammlösung wurde zunächst auf 1/100 verdünnt, um eine Standardlösung von 2 mg/l Aminostickstoff zu erhalten.

Die hergestellten Bierwürzproben wurden jeweils 100 –fach verdünnt und ebenso wie die Standardlösung und der Blindwert ( $\text{H}_2\text{O}$ ) je 3-fach analysiert. Dazu wurden 2 ml der verdünnten Probe bzw. der Standardlösung bzw. des  $\text{H}_2\text{O}$  in ein Reagenzglas mittels Eppendorfpipette pipettiert und 1 ml Farbreagenz zugesetzt und vermischt. Um Verdampfungsverluste zu vermeiden wurde das Reagenzglas mit einem Glasstopfen locker verschlossen und für 16 Minuten im kochenden Wasserbad erhitzt und anschließend in einem Wasserbad von 20°C 20 Minuten abgekühlt. Als letzter Schritt erfolgte die Zugabe von 5 ml Verdünnungslösung mittels Vollpipette. Die gut durchmischten Proben wurden daraufhin in Küvetten mit 10 mm Schichtdicke überführt und bei 570 nm gegen  $\text{H}_2\text{O}$  photometrisch gemessen.

Die Berechnung des Gehaltes an freien  $\alpha$ -Aminostickstoff erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\text{F.A.N. [mg/l]} = \frac{(E_P - E_B)}{E_S - E_B} \cdot 2 \cdot F$$

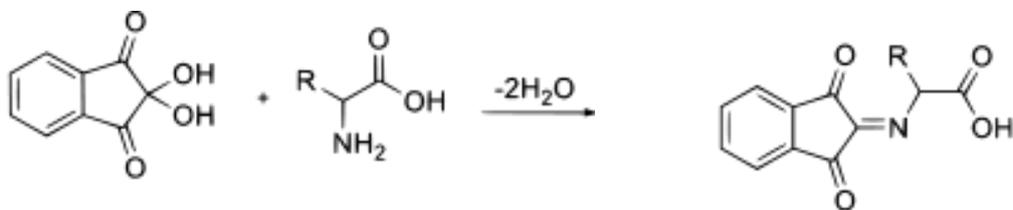
$E_S$ ... durchschnittliche Extinktion des Glycin-Standards (2 mg/l)

$E_B$ ... durchschnittliche Extinktion des Blindwertes

$E_P$ ... durchschnittliche Extinktion der Proben

F... Verdünnungsfaktor 100

### 3.3.4.2 Reaktionsmechanismus der Ninhydrinreaktion

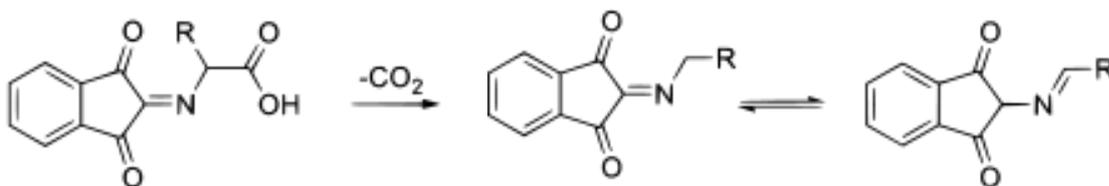


Ninhydrin

Aminosäure

Schiffsche Base

Ninhydrin (2,2 – Dihydroxy-1,3-indandion) reagiert mit  $\alpha$ -Aminosäuren zu einer Schiffschen Base (Imin). Hierbei greift die Aminogruppe der Aminosäure am elektrophilen C-Atom des Ninhydrins an. Unter Abspaltung von einem Molekül Wasser entsteht als Zwischenprodukt ein instabiles Halbaminal, das sofort unter Dehydratisierung zur Schiffschen Base weiterreagiert.

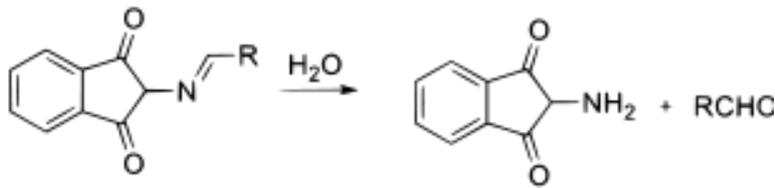


Schiffsche Base

Iminoenolverbindung

Iminoketoverbindung

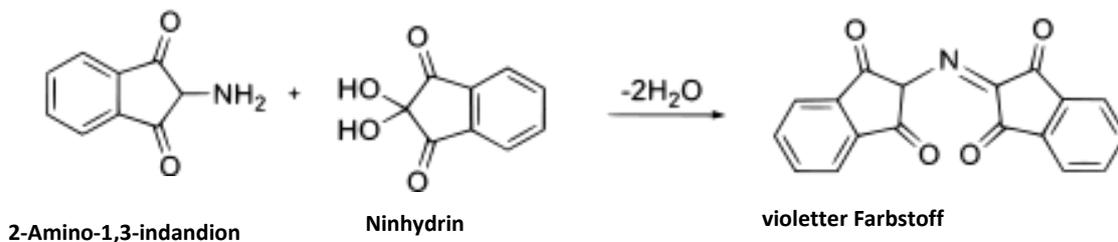
Die Schiffsche Base zerfällt beim Erhitzen unter Abspaltung von  $\text{CO}_2$  (Decarboxylierung) zu einer Iminoenolverbindung, die mit ihrer Ketoform – der Iminoketoverbindung – im Gleichgewicht steht (Keto-Enol-Tautomerie)...



Iminoketoverbindung

2- Amino-1,3-indandion

...und sich durch anschließende Hydrolyse zum 2-Amino-1,3-indandion stabilisiert. Der Hydrolyseschritt erfolgt über eine Hydroxyaminoverbindung, die instabil ist und unter Abspaltung eines Aldehyds ein Aminoindandion liefert. Die Aminosäure selbst wird unter Desaminierung und Decarboxylierung zum Aldehyd (CHO) abgebaut.



2-Amino-1,3-indandion

Ninhydrin

violetter Farbstoff

Das intermediär gebildete Amin reagiert mit einem weiteren Ninhydrinmolekül zum violetten Farbstoff (Ruhemanns Purpur – ein Diketiminderivat mit ausgeprägter Mesomeriefähigkeit), der bei 570 nm absorbiert.

### 3.3.4 Bestimmung der Leitfähigkeit

#### Allgemeine Informationen

Die Leitfähigkeit bzw. die Änderung der Leitfähigkeit wird mit fortschreitendem Abbau der Eiweißstoffe und der Bildung von ionischen Aminosäuren und der Freisetzung der Mineralstoffe während des cytotolytischen Abbaus induziert. Die in Lösung gehenden Aminosäuren und Mineralstoffe erhöhen die Leitfähigkeit.

Die Faktoren die die Leitfähigkeit in einer Elektrolytlösung beeinflussen hängt von der Art als auch von der Konzentration und Ladung der Ionen ab. Daneben beeinflusst die Temperatur stark die Leitfähigkeit einer Lösung, da die Mobilität der Ionen mit steigender Temperatur zunimmt.

#### 3.3.4.1 Prinzip der Methode

Für die Messung der Leitfähigkeit wurde ein Mikroprozessor-Konduktometer mit 4-Elektroden-Leitfähigkeitsmeßstelle der Firma WTW verwendet. Das Prinzip der Leitfähigkeitsmessung beruht auf der Bestimmung des elektrolytischen Leitwertes einer Elektrolytlösung. Dies erfolgt durch einen Messumformer der über die Erfassung von Strom und Spannung infolge von Ionenladungstransport den Leitwert der Flüssigkeit bestimmt. Der Leitwert wird in einem definierten Raum zwischen zwei oder auch mehreren Elektroden gemessen, der durch den Abstand und die Fläche der Elektroden gekennzeichnet ist. Je nachdem wie sich der Abstand und die Fläche der Elektroden zueinander verhalten, arbeitet der Messumformer mit einem Korrekturwert, der als Zellenkonstante K bezeichnet wird.

Die Messung Leitfähigkeit legt sich deshalb wie folgt dar:

$$\boxed{\text{Leitfähigkeit} = \text{Leitwert} \cdot \frac{\text{Abstand}}{\text{Fläche}} \cdot K} \quad \left[ \frac{S}{\text{cm}} = S \cdot \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \right]$$

Jedes Leitfähigkeitsmessgerät bedarf vor jeder Erstinbetriebnahme bzw. in regelmäßigen Abständen einer Kalibrierung. Durch die Kalibrierung wird die relative Zellkonstante bestimmt, welche die fertigungsbedingte Schwankung der angegebenen Zellkonstante kompensiert. Die Kalibrierflüssigkeit muss möglichst exakt bei der Bezugstemperatur von 25°C temperiert und die Leitfähigkeit dieser Standardlösung in das Gerät eingegeben werden.

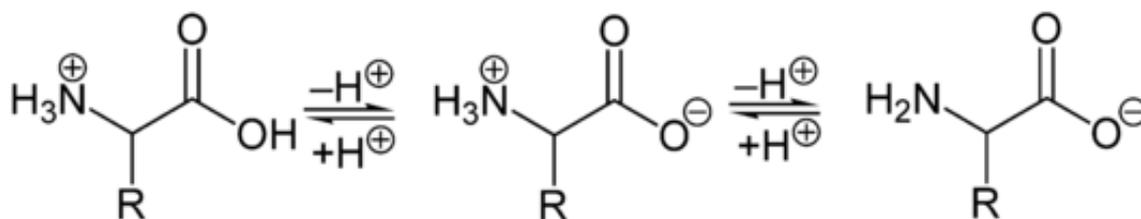
Ein integriertes Widerstandsthermometer rechnet die gemessene Leitfähigkeit auf 25 °C zurück, damit ein Vergleich der Leitfähigkeiten in den Elektrolytlösungen möglich ist. Da die Leitfähigkeit mit Erhöhung der Temperatur steigt, bedarf es der Kenntnis eines

Temperaturkoeffizienten, der angibt wie sich die Leitfähigkeit prozentual bei Temperaturänderung in der jeweiligen Lösung ändert und wird in %/K angegeben.

Um den Temperaturkoeffizienten zu bestimmen muss die unkompenzierte Leitfähigkeit bei Bezugs- und Betriebstemperatur ermittelt und in das Gerät eingegeben werden. Der Messumformer berechnet aus der unkompenzierten die kompenzierte Leitfähigkeit.

### 3.3.4.2 Leitfähigkeit von Aminosäuren

Aminosäuren sind Ampholyte und haben sowohl saure als auch basische Eigenschaften. Abhängig vom gegenwärtigen pH-Wert in einer wässrigen Lösung und die damit einhergehende intramolekulare Protonenübertragung, liegen sie in der Kation-, Zwitterion- oder Anion-Form vor (siehe Abb. 5)



**Abbildung 5: Aminosäure in Kation-, Zwitterion- und Anion- Form (von links nach rechts)**

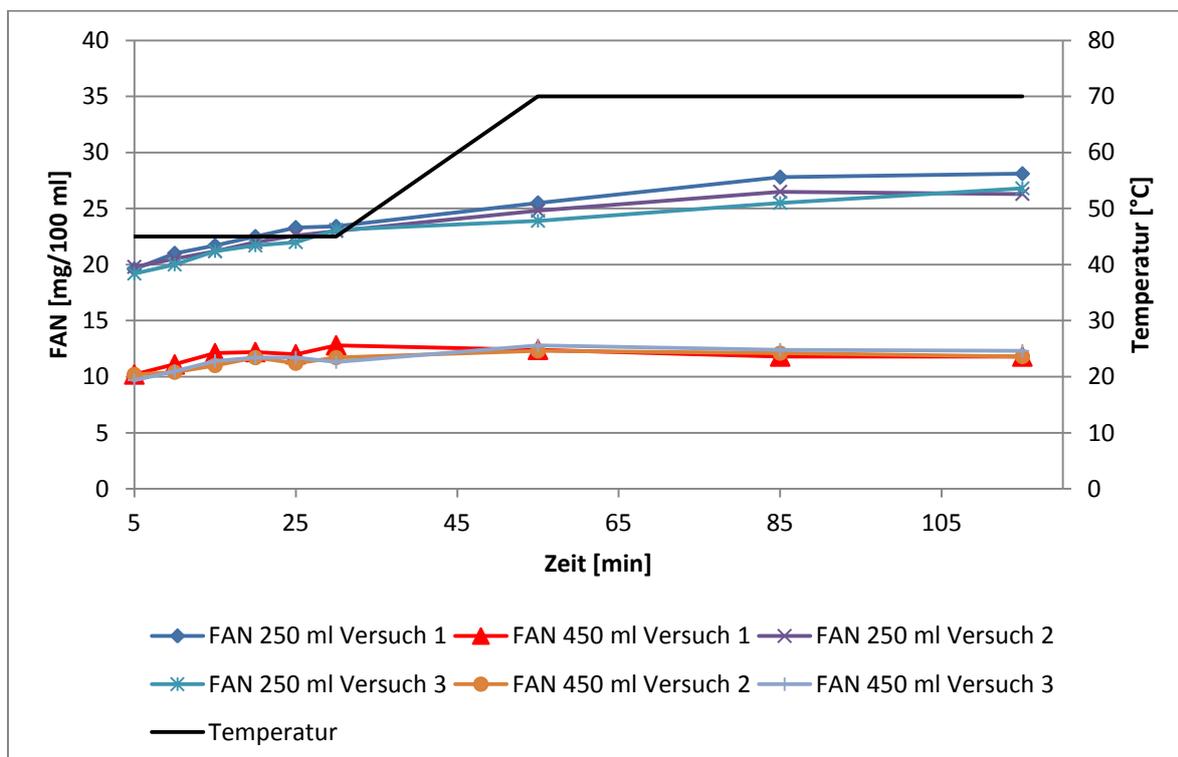
Jede Aminosäure besitzt den für sie spezifischen isoelektrischen Punkt. Der IP bezeichnet den pH-Wert bei dem alle drei Ladungsformen im Gleichgewicht zueinander in einer Lösung vorliegen und demzufolge keine elektrische Nettoladung (Ladungsneutralität) existiert. Die Aminosäuren nehmen jedoch bei keinem pH-Wert die ungeladene Form an, da freie Aminosäuren permanente Ladungen tragen. [17]

## 4. Ergebnisse und Diskussion

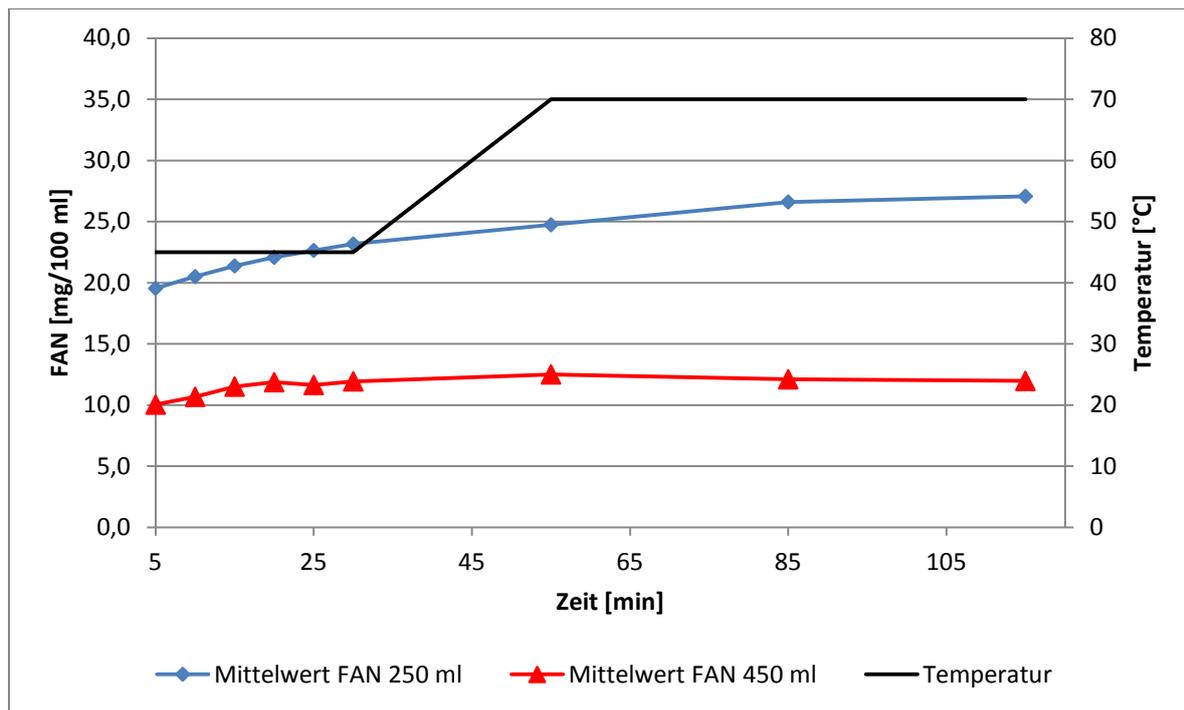
### 4.1 Untersuchung des FAN-Gehaltes

Die Verläufe der FAN-Gehalte zwischen normaler und aufkonzentrierter Probe (siehe Abbildung 6 und 7) zeigen während der Eiweißrast den höchsten Anstieg. In der aufkonzentrierten Probe steigt der FAN-Gehalt im Durchschnitt von 19,5 auf 23,2 mg/100 ml, in der normalen Probe von 10,0 auf 11,9 mg/100 ml, was in beiden Fällen ein Anstieg von 19% entspricht (siehe Tabelle 9 und 10). Der weitere Verlauf ist zwischen den beiden Proben unterschiedlich. Während der FAN-Gehalt in der normalen Probe fällt, steigt er in der aufkonzentrierten Probe weiter an - in der Aufheizphase um 6% und bis zum Ende der Verzuckerungsrast lediglich um 2%.

Es ist ersichtlich das die proteolytischen Enzyme während der Eiweißrast optimale wirken können und beim überschreiten ihrer optimalen Wirktemperatur von 45°C allmähliche inaktiviert werden.



**Abbildung 6: Verlauf der FAN-Konzentration in 3 Versuchen nach dem Kongressmaisverfahren (Vergleich zwischen normalen und aufkonzentrierten Proben)**



**Abbildung 7: Mittelwert der FAN-Gehalte aus 3 Versuchen nach dem Kongressmaisverfahren (Vergleich zwischen normalen und aufkonzentrierten Proben)**

**Tabelle 9: Werte der FAN-Gehalte in mg/100 ml der normalen Proben**

Zeit/min	Temperatur/°C	FAN Versuch 1 [mg/100 ml]	FAN Versuch 2 [mg/100 ml]	FAN Versuch 3 [mg/100 ml]	Mittelwert [mg/100 ml]	Standardab- weichung [mg/100 ml]
5	45	10,2	10,2	9,7	10,0	0,29
10	45	11,1	10,4	10,5	10,7	0,38
15	45	12,1	11,0	11,4	11,5	0,56
20	45	12,2	11,7	11,7	11,9	0,29
25	45	12,0	11,2	11,7	11,6	0,40
30	45	12,8	11,7	11,3	11,9	0,78
55	70	12,4	12,3	12,8	12,5	0,26
85	70	11,8	12,1	12,4	12,1	0,30
115	70	11,8	11,8	12,3	12,0	0,29

**Tabelle 10: Werte der FAN-Gehalte in mg/100 ml der aufkonzentrierten Proben**

Zeit/min	Temperatur/°C	FAN Versuch 1 [mg/100 ml]	FAN Versuch 2 [mg/100 ml]	FAN Versuch 3 [mg/100 ml]	Mittelwert [mg/100 ml]	Standardabweichung [mg/100 ml]
5	45	19,6	19,8	19,2	19,5	0,31
10	45	21,0	20,5	20,0	20,5	0,50
15	45	21,7	21,2	21,2	21,4	0,29
20	45	22,5	22,0	21,7	22,1	0,40
25	45	23,3	22,6	22,0	22,6	0,65
30	45	23,4	23,0	23,1	23,2	0,21
55	70	25,5	24,8	23,9	24,7	0,80
85	70	27,8	26,5	25,5	26,6	1,15
115	70	28,1	26,3	26,8	27,1	0,93

#### 4.2 Korrelation der FAN und Leitfähigkeits-Bestimmung

In Abbildung 8 sind die Verläufe der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit und der FAN-Werte der aufkonzentrierten Proben über 3 gleichgehaltenen Kongressmaisverfahren dargestellt (die Mittelwerte sind in Abbildung 9 abgebildet). Dabei fällt auf, dass der FAN-Gehalt und die Leitfähigkeit während der Eiweißrast gemeinsam ansteigen. Die Leitfähigkeit nimmt im weiteren Verlauf während der Aufheizphase ab, während der FAN-Gehalt nur minimal ansteigt. Die Abnahme der Leitfähigkeit tritt möglicherweise mit der Koagulation der Eiweiße auf, welche vermehrt beim Anstieg der Temperatur von 45 auf 70°C denaturierten und mit der Filtration aus der Maische entfernt werden. Während der Verzuckerungsrast zeigen FAN-Gehalt und Leitfähigkeit wieder eine gleiche Kurvencharakteristik. Der gleiche Kurvenverlauf bis und nach der Aufheizphase kann ein Hinweis darauf sein, dass FAN und Leitfähigkeit miteinander korrelieren. Um dies zu überprüfen, werden FAN-Gehalt und Leitfähigkeit gegeneinander und das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression aufgetragen (Abbildung 10 und 11).

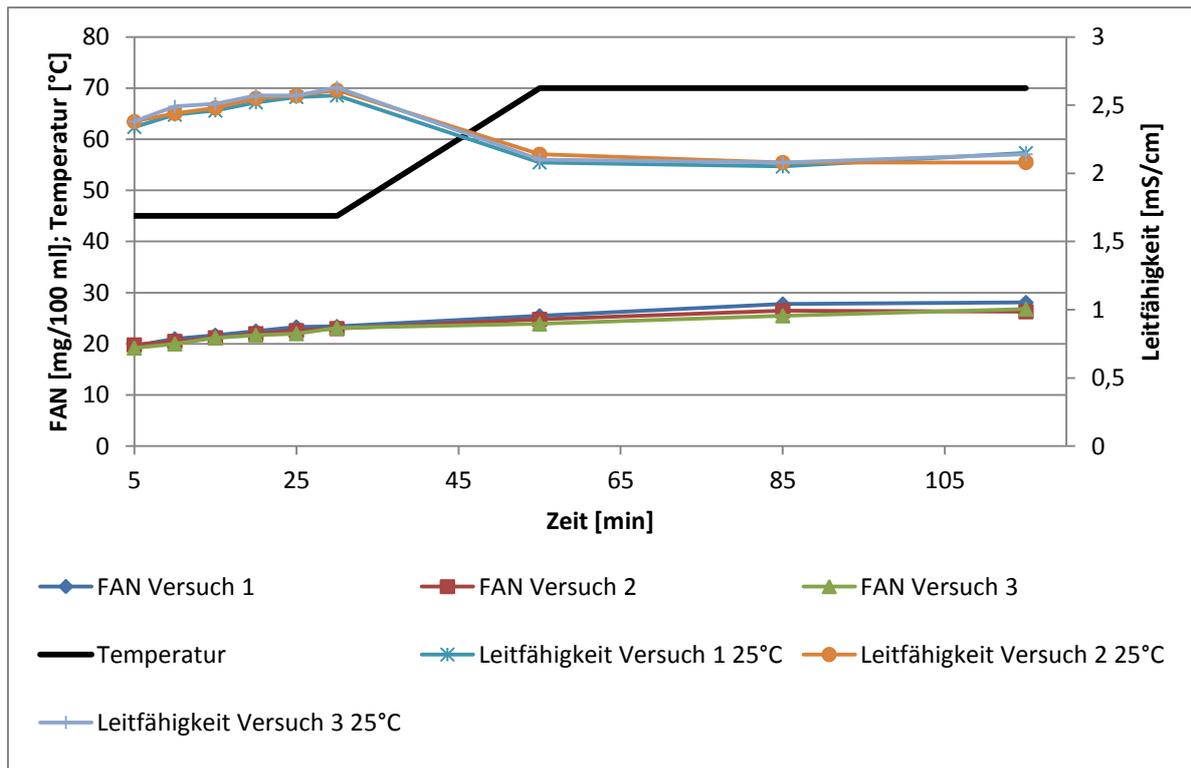


Abbildung 8: Verläufe der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit und der FAN-Werte über 3 gleichgehaltenen Kongressmaischverfahren

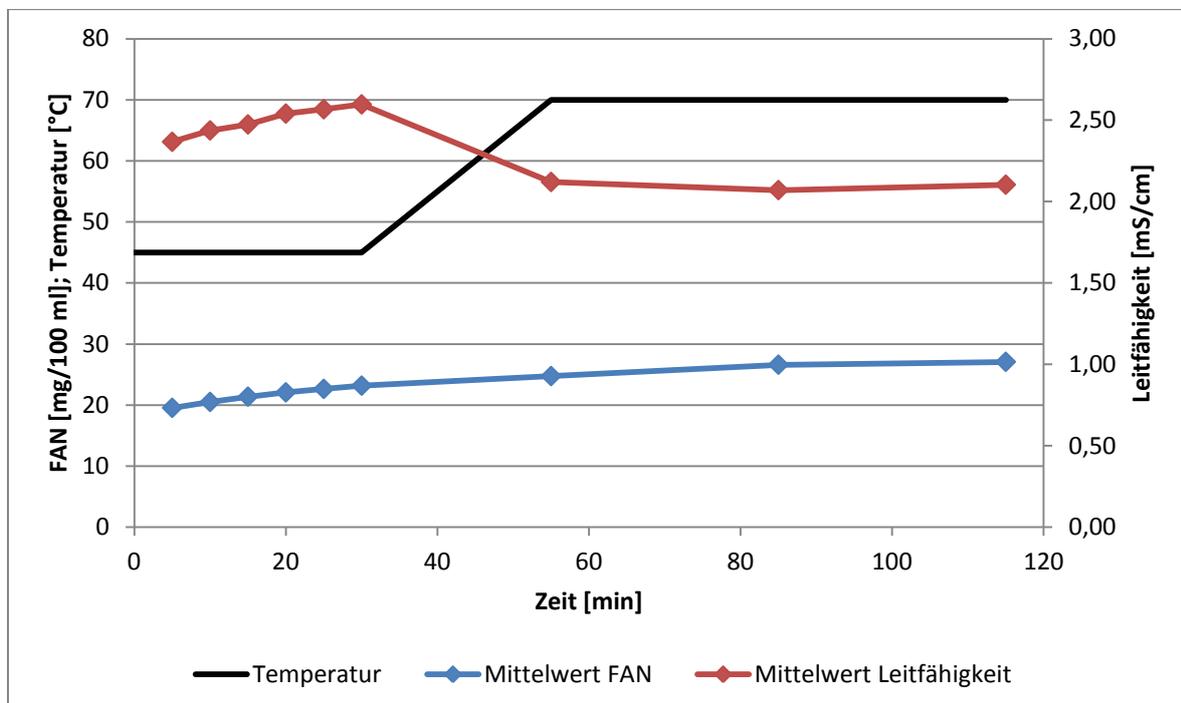
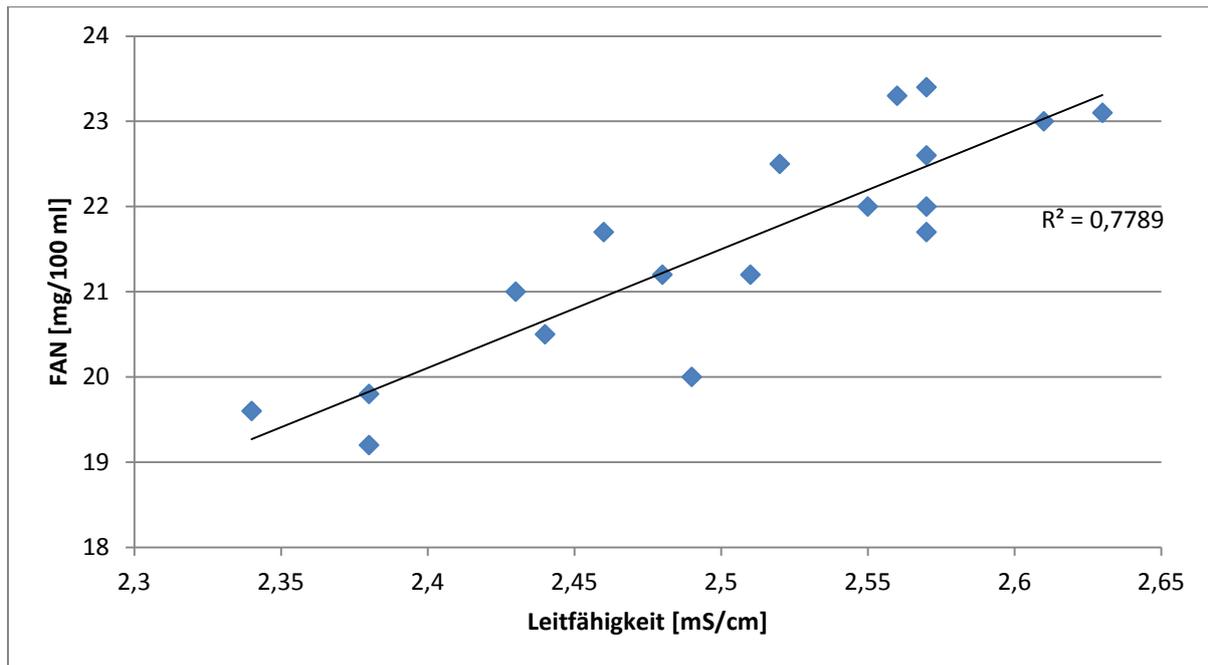


Abbildung 9: Mittelwerte der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit und der FAN-Werte über 3 gleichgehaltenen Kongressmaischverfahren





**Abbildung 11: Wertepaare des FAN und der bei 25°C gemessenen Leitfähigkeit über 3 Versuche (Kongressmaisverfahren) nur innerhalb der Eiweißbrast**

Ein Vergleich der beiden Kurvenverläufe des FAN und der Leitfähigkeit in Abbildung 12 und 13 zeigt, dass beide Messwerte innerhalb des Verlaufs der Eiweißbrast mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,78$  besser korreliert, als über den gesamten Maischprozess mit  $R^2 = 0,47$ . In diesem Fall kann man zum Beispiel davon ausgehen, dass bei einer Leitfähigkeit von 2,3 mS/cm kein FAN-Wert unterhalb 20 mg/100 ml beträgt.

### 4.3 Vergleich der Qualität verschiedener Malze

Die Tabelle 12 gibt eine Übersicht der ermittelten Qualitätsparameter der untersuchten Malze.

**Tabelle 12: Qualitätsparameter der untersuchten Malze**

Qualitätsparameter	Malzsorte	
	Pilsener Malz	Münchener Malz II
pH [-] (23°C)	5,81	5,50
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] (25°C)	1352	1353
Farbe [EBC]	3,78	18,0
Extraktgehalt [% TrS]	82,9	82,1
$\beta$ -Glucan [mg/l]	171	182
Viskosität [mPa·s] (8,6%)	1,460	1,405
FAN [mg/l]	142	139
Lösl. Stickstoff [mg/l]	713	815
Lösl. Stickstoff [g/100g TrS]	0,638	0,717
Gesamtstickstoff [% TrS]	1,51	1,63
Rohprotein [%]	9,4	10,2
Eiweißlösungsgrad [%]	42	44

Die Unterschiede zwischen dem hellen und dunklen Malz zeigen sich insbesondere in den pH-Werten, der Farbe und den proteolytischen Parametern. Der hohe Gehalt an Melanoidinen im dunklen Münchener Malz II senkt aufgrund der sauren Wirkung den pH-Wert in der Bierwürze. Die niedrigeren Stickstoffwerte des hellen Malzes bestätigen, dass dieser Malztyp weniger weit gelöst ist als dunkle Malztypen.

#### 4.4 Ergebnisse der Qualitätsanalyse der mit unterschiedlichen Wässern hergestellten Bierwürzen

**Tabelle 13 : Einfluss des Wassers auf die Qualität von Bierwürzen**

Würze	Reinstwasser (<0,2°dH) (pH=5,74; LF < 1 µS/cm)	5°dH (pH=7,64; LF=210 µS/cm)	Leitungswasser Köthen (10°dH) (pH=7,5; LF=415 µS/cm)	Leitungswasser Dessau (18°dH) (pH=7,53; LF=715 µS/cm)
pH (23°C)	5,88	5,86	5,94	6,00
LF [µS/cm](25°C)	1432	1503	1610	1723
Extraktgehalt [%TrS]	79,5	80,1	80,6	81,1
β-Glucan [mg/l]	196	213	186	206
Viskosität [mPa·s] (8,6%)	1,507	1,505	1,504	1,504
FAN [mg/l]	124	125	124	123
Lösl. Stickstoff [mg/l]	672	650	705	673
Lösl. Stickstoff [g/100g TrS]	0,60	0,59	0,64	0,61
Gesamtstickstoff [%TrS]	1,51	1,51	1,51	1,51
Eiweißlösungsgrad [%]	40	39	42	40

Bei den in der Tabelle 13 dargestellten Ergebnissen kann man einen Trend hinsichtlich des pH-Wertes und der Leitfähigkeit, sowie dem Extraktgehalt der Bierwürze erkennen. Mit steigendem Gesamthärtegrad und dementsprechend mit Erhöhung der Leitfähigkeit der verwendeten Wässer, steigen diese Parameter kontinuierlich an. Besonders der Anstieg des Extraktgehaltes von 79,5 auf 81,1% TrS in Verbindung mit einer für Bierwürze ungünstigen pH-Wert Erhöhung auf 6,00 ist anzumerken. Amylolytische Enzyme wie  $\alpha$ - und  $\beta$ -Amylase wirken optimal in einem pH-Bereich von 5,4 – 5,8 und scheinen hier keine Beeinträchtigung zu erleiden. Jedoch wirkt das Enzym Maltase optimal bei pH 6,0 und könnte eine Erklärung für den Anstieg des Extraktes sein.

Bei der Betrachtung der proteolytischen Parameter lässt sich keine Tendenz erkennen. Der Gehalt an  $\alpha$ -Aminostickstoff (FAN) erfährt keine Änderung und bleibt im Bereich zwischen 123 und 125 mg/l. Der lösliche Stickstoff hat seinen Höchstwert von 705 mg/l in der

Bierwürze die mit Köthener Leitungswasser (GH von 10 °dH) hergestellt wurde. Das sich bei den proteolytischen Parametern keine Tendenz abzeichnet, kann an dem breiten Wirkungsbereich der eiweißabbauenden Enzyme liegen, deren pH-Optimum von 3,9 (Optimum der Endopeptidasen) bis 8,8 (Optimum der Dipeptidasen) reicht.

## 5. Zusammenfassung

Aufgabe dieser Arbeit war, die Korrelation zwischen dem  $\alpha$ -Aminostickstoffgehalt und der Leitfähigkeit in Bierwürze zu untersuchen und eine Aussage über die Möglichkeit zu treffen, die aufwendige Analyse der FAN – Bestimmung durch die Leitfähigkeit zu substituieren. Anhand des in der brautechnischen Laborarbeit etablierten Kongressmaisverfahren wurden während der Eiweiß- und Verzuckerungsrast Maischeproben entnommen und die FAN-Gehalte und Leitfähigkeit bestimmt. Es zeigte sich, dass die Werte dieser beiden Parameter im Verlauf der Eiweißrast mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,78$  besser korrelierten als über dem gesamten Maischprozess  $R^2 = 0,47$ . Die Leitfähigkeit in der Bierwürze wird jedoch nicht nur vom  $\alpha$ -Aminostickstoff verursacht, sondern ebenso von den enthaltenen Mineralsalzen im Malzkorn. Jedoch ist aufgrund der guten Korrelation die Grundlage gegeben, die Proteolyse beim Maischen zu regeln.

Darüber hinaus wurde der Einfluss verschiedener Malztypen und der Wasserqualität auf die Beschaffenheit bzw. die Zusammensetzung der Bierwürze untersucht. Die mit jeweils einem hellen und dunklen Malz hergestellten Würzen, ergaben die für diese Malztypen kennzeichnenden Eigenschaften. Der hohe Gehalt an Melanoidinen im dunklen Malz, vermittelte durch deren saure Reaktion einen niedrigeren pH-Wert in der Würze. Die in der dunklen Würze vorliegenden höheren Eiweiß- und Stickstoffgehalte, lassen auf eine weitgehendere Auflösung des Malzkorns schließen.

Desweiteren wurden Bierwürzen mit Wässern unterschiedlicher Härtegraden (im Bereich von  $< 0,2$  °dH bis 18 °dH) hergestellt und brautechnisch analysiert. Dabei zeigte sich mit steigendem Härtegrad eine Erhöhung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit in den Würzen. Eine Beeinträchtigung der proteolytischen Parameter konnte nicht festgestellt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Dickel, Torsten: Untersuchungen zu enzymatischen Abbauprodukten beim Maischen im Hinblick auf die Entwicklung eines Prozessführungssystems. Dissertation. Technische Universität München (2003)
- [2] Reinheitsgebot - Wikipedia  
[www.wikipedia.org/wiki/Reinheitsgebot](http://www.wikipedia.org/wiki/Reinheitsgebot) (Stand 15.11.13)
- [3] Verordnung zur Durchführung des Vorläufigen Biergesetzes – BStDB  
[www.gesetze-im-internet.de/bierstdb/BJNR701350931.html](http://www.gesetze-im-internet.de/bierstdb/BJNR701350931.html) (Stand 15.11.13)
- [4] Gastl, M.: Grundlegende Brautechnologie. Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie. Technische Universität München. Seite 47.  
[www.wzw.tum.de/bgt](http://www.wzw.tum.de/bgt) (Stand 13.07.2013)
- [5] Baltes, W.: Lebensmittelchemie  
6. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007, Seite 106
- [6] Narziß, L.: Abriss der Bierbrauerei  
7., aktualisierte und erweiterte Auflage 2005, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.  
Seite 4
- [7] Kunze, W.: Technologie Brauer und Mälzer  
8. völlig neubearbeitete Auflage 1998, VLB Berlin Seite 38 – 39
- [8] Osborne – Fraktion - Wikipedia  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Osborne-Fraktionen> (Stand 12.10.2013)
- [9] Botenstoffe der Pflanzen – Chemgapedia  
<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/botenstoffe/pflanzenbotenstoffe.vlu/Page/vsc/de/ch/8/bc/botenstoffe/gibberelline.vscml.html> (Stand 03.11.13)

- [10] Botanik online Phytohormone – Gibberelline  
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d31/31d.htm> (Stand 03.11.13)
- [11] Jentsch, M.: Konstante Beschaffenheit; Brauwasser – das unterschätzte Element  
Brauindustrie 12/2012
- [12] Wasserhärte – Wikipedia  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserh%C3%A4rte> (Stand 11.12.13)
- [13] Schuster/Weinfurtner/Narziss: Die Technologie der Würzebereitung  
7. Auflage 1992, Ferdinand Enke Verlag Seite 313
- [14] Drawert, F.: Brautechnische Analysenmethoden Band 1  
2. Auflage 1984; Selbstverlag der MEBAK, Freising – Weihenstephan  
S. 149 ff, 151 ff, 176 ff, 189 ff, 201 ff, 211 f
- [15] Pfenniger, H.: Brautechnische Analysemethoden Band II  
3. Auflage 1993; Selbstverlag der MEBAK, Freising – Weihenstephan  
S. 60 ff, 152 ff
- [16] Hütter, Leonhard A.: Wasser und Wasseruntersuchung  
6., erweiterte und aktualisierte Auflage 1994 (Laborbücher Chemie)  
S. 325 ff,
- [17] Schwister, K.: Taschenbuch der Chemie  
3. Auflage 2005, Carl Hanser Verlag München Wien Seite 578 – 579

## Anhang

**Tabelle 14: Verbrauch der Maßlösungen bei der Bestimmung der Kennzahlen unterschiedlicher Wässer (Kapitel 3.2.1)**

	Bestimmung der Gesamthärte	Bestimmung der Calciumhärte	Bestimmung der Carbonathärte
Wässer	0,01 M EDTA-Maßlösung Verbrauch in ml		Verbrauch 0,1 M HCl in ml
Köthener Leitungswasser	4,49	3,41	1,65
	4,34	3,40	1,65
	4,49	3,33	1,65
	$\bar{x} = 4,44$	$\bar{x} = 3,38$	$\bar{x} = 1,65$
Dessauer Leitungswasser	8,22	7,29	2,65
	8,36	7,34	2,50
	8,30	7,36	2,50
	$\bar{x} = 8,29$	$\bar{x} = 7,33$	$\bar{x} = 2,55$
Mischwasser 5°dH	-	1,87	0,85
	-	1,87	0,75
	-	1,87	0,85
	-	$\bar{x} = 1,87$	$\bar{x} = 0,82$

**Tabelle 15: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzproben Versuch 1 (Kapitel 4.1)**

Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l	Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
5	0,509	0,511	196	30	0,603	0,597	234
	0,511				0,591		
	0,513				0,598		
10	0,536	0,542	210	55	0,640	0,644	255
	0,547				0,642		
	0,544				0,651		
15	0,549	0,558	217	85	0,695	0,695	278
	0,569				0,694		
	0,555				0,696		
20	0,570	0,575	225	115	0,702	0,701	281
	0,581				0,698		
	0,575				0,702		
25	0,586	0,595	233				
	0,596						
	0,604						

	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
Blindwert	0,071	0,072	-
	0,073		
	0,073		
Standard [2 mg/l]	0,522	0,520	2
	0,519		
	0,520		

**Tabelle 16: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzproben Versuch 2 (Kapitel 4.1)**

Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l	Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
5	0,526	0,525	198	30	0,594	0,598	230
	0,522				0,600		
	0,527				0,600		
10	0,535	0,542	205	55	0,638	0,638	248
	0,543				0,638		
	0,547				0,645		
15	0,558	0,558	212	85	0,673	0,677	265
	0,558				0,681		
	0,559				0,676		
20	0,568	0,575	220	115	0,680	0,673	263
	0,577				0,669		
	0,579				0,669		
25	0,592	0,588	226				
	0,583						
	0,589						

	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
Blindwert	0,073	0,079	-
	0,080		
	0,083		
Standard [2 mg/l]	0,533	0,530	2
	0,528		
	0,530		

**Tabelle 17: Extinktionen der aufkonzentrierten Bierwürzproben Versuch 3**

Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l	Minute	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
5	0,527	0,526	192	30	0,614	0,616	231
	0,527				0,615		
	0,524				0,620		
10	0,543	0,544	200	55	0,637	0,635	239
	0,545				0,632		
	0,544				0,637		
15	0,574	0,573	212	85	0,672	0,674	255
	0,573				0,673		
	0,573				0,677		
20	0,583	0,583	217	115	0,704	0,704	268
	0,578				0,703		
	0,588				0,704		
25	0,598	0,591	220				
	0,590						
	0,585						

	Extinktion	Extinktion mittel	FAN mg/l
Blindwert	0,076	0,075	
	0,075		
	0,075		
Standard [2 mg/l]	0,544	0,544	2
	0,545		
	0,543		

## **Selbstständigkeitserklärung**

### Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software) benutzt habe.

Dessau, den 11.03.2014

Juliane Nitschke