

**Technische Universität München  
Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie**

**Systematische Untersuchungen von reduzierenden Substanzen im Malz und  
ihr Einfluss auf den Brauprozess**

Elmar Spieleder

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur  
Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften  
(Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Meyer-Pittroff

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. habil. Werner Back  
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat., Dr. agr. habil.,  
Dr. h. c. (Zonguldak Univ./Türkei) Harun Parlar

Die Dissertation wurde am 23. November 2006 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 21. Dezember 2006 angenommen.

Für Adeline  
Für meine Familie

„Brot aß Enkidu, bis er gesättigt war, trank den Rauschtrank – der Krüge sieben. Frei ward sein Inneres und heiter, es frohlockte sein Herz, und sein Antlitz erstrahlte. Mit Wasser wusch er ab seinen haarigen Leib, er salbte sich mit Öl und ward zu einem Menschen.“<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Das Gilgamesch-Epos, Neu übersetzt und kommentiert von S. M. Maul, München, 2005, S. 59f.

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde im Zeitraum von Januar 2003 bis November 2006 am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I der Technischen Universität München Weihenstephan unter der Leitung meines Doktorvaters Prof. Werner Back angefertigt. Für das während dieser Zeit stets entgegengebrachte Vertrauen und die Überlassung dieses interessanten Themas möchte ich mich ganz besonders bei Ihm bedanken.

Für die finanzielle Unterstützung danke ich der Weihenstephaner Jubiläumsstiftung 1905 und der Wissenschaftsförderung der deutschen Brauwirtschaft e. V., ohne deren Förderung es mir nicht möglich gewesen wäre, diese Arbeit zu erstellen.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Ludwig Narziß, der aufgrund seiner agilen und nimmermüden Lebensart für mich „jungen“ Doktoranden immer ein Vorbild und auch in fachlichen Fragen eine hilfreiche Unterstützung war.

Ich danke vor allem Frau Dr. Martina Gastl (formerly Schütz) und Herrn Dr. Matthias Keßler, die mich durch viele spannende Diskussionen und gemeinsame Projekte, auch außerhalb des Lehrstuhls, immer wieder zu neuen Ideen und Sichtweisen getrieben haben.

Dafür danke ich ebenfalls den Herren Dr. Klaus Hartmann, Dr. Stefan Kreis, Felix Burberg und Dipl.-Ing Martin Zarnkow, der darüber hinaus meine geschichtlichen Interessen wiedererweckte und mit mir dem Thema Bierbrauen in Mesopotamien in Form von experimenteller Archäologie nachging.

Dr. Markus Herrmann danke ich in seiner Eigenschaft als Laborleiter für die Bereitschaft, meine Forschungen zu unterstützen.

Ich bedanke mich bei Dr. Martin Krottenthaler für die vielen Ratschläge im Laufe meiner Promotion und für die Durchsicht meiner Arbeit.

Den Diplomarbeitern, Frau Sara Escobar und Herrn Roman Ott, die ebenfalls zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, danke ich für ihr Engagement und ihr fachliches Interesse.

Dank des aufwendigen, jedoch sehr interessanten Aufgabengebietes als Netzwerkadministrator war es mir möglich, mich kurzzeitig von Brauereithemen abzulenken und ein komplett anderes Themengebiet zu bearbeiten. Meinen

Computermittreitern Herrn Dr. Torsten Dickel und Herrn Dr. Frithjof Thiele danke ich für ihre Unterstützung. Meinem Bürokollegen und Nachfolger bei dieser Aufgabe, Herrn Dipl.-Ing. Cem Schwarz, danke ich für seine Zusammenarbeit und wünsche ihm viel Erfolg und Geduld bei der nicht immer einfachen Tätigkeit in diesem Bereich.

Nicht vergessen möchte ich die fleißigen Laborantinnen und Laboranten des gesamten Lehrstuhls, die mich in meiner Forschungsarbeit unterstützten und so manche Analyse zu meiner Entlastung übernahmen, genauso wie meine Mitdoktoranden und alle anderen Helfer, die mich während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Danke. Dies gilt ebenfalls für das Sekretariat des Lehrstuhls, das in organisatorischen Fragen jederzeit eine große Hilfsbereitschaft zeigte und ein offenes Ohr für Probleme hatte, wodurch ich viel Zeit auf andere Themen verwenden konnte.

Meiner Frau Adeline Höfer danke ich für ihre ständige Unterstützung und den seelischen Rückhalt während der Erstellung dieser Arbeit. Die Diskussionen mit ihr und ihr Verständnis gaben mir den Ansporn, mich bei den durchlebten Höhen und Tiefen noch mehr anzustrengen bzw. mich neu zu motivieren.

Ich danke meinen Eltern und meinen Schwiegereltern, die mir auf meinem Weg immer aufmunternd, aber auch mit Rat und Tat zur Seite standen und mich in meinem eingeschlagenen Weg bekräftigten.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis .....	IX
Tabellenverzeichnis .....	XII
Abkürzungsverzeichnis .....	XIV
1 Einleitung .....	1
2 Kenntnisstand und Grundlagen .....	5
2.1 Reduzierend und antioxidativ wirkende Bierinhaltsstoffe .....	6
2.1.1 Begriffsbestimmung .....	6
2.1.2 Ursprung und Struktur .....	7
2.1.2.1 Maillard-Produkte .....	8
2.1.2.2 Phenolische Substanzen .....	11
2.1.2.3 SO <sub>2</sub> .....	13
2.2 Wirkungsweise von Antioxidantien .....	14
2.2.1 Klassifizierung von Antioxidantien .....	15
2.2.2 Freie Radikale .....	16
2.2.3 Möglichkeiten der antioxidativen Wirkung von Maillard-Produkten .....	17
2.3 Die Maillard-Reaktion .....	19
2.3.1 Genese von Maillard-Produkten .....	19
2.3.2 Einflussfaktoren auf die Maillard-Reaktion .....	23
2.4 Bedeutung der Maillard-Produkte in der Malz-, Würze- und Bierbereitung ..	25
2.4.1 Flavour .....	26
2.4.2 Farbe .....	28
2.4.3 Anti- und prooxidative Wirksamkeit .....	29
2.4.4 Schaum .....	32
2.4.5 Lipxygenase, Polyphenoloxidase .....	32
2.4.6 Hefe .....	33
2.4.7 Textur, Mundgefühl .....	33
2.5 Möglichkeiten zur analytischen Erfassung von Maillard-Produkten .....	34
3 Material und Methoden .....	37
3.1 Malzbereitung .....	37
3.1.1 Eigenproduktion von Malzen .....	37

---

3.1.2	Handelsmalze .....	38
3.2	Würzebereitung.....	39
3.2.1	Maischverfahren .....	39
3.3	Brauverfahren bei der Herstellung von Bieren .....	41
3.4	Maisch-, Läuter- und Kochsysteme.....	42
3.5	Modelllösungen für spezifische Maillard-Reaktionen .....	42
3.6	Herstellung eines Modellmelanoidins.....	43
3.7	Analysenmethoden .....	44
3.7.1	Chemisch-physikalische Analysen.....	44
3.7.1.1	Klassische Gersten-, Malz-, Würze- und Bieranalyse.....	44
3.7.1.2	Antiradikalisches Potential .....	45
3.7.1.4	Chemilumineszenz.....	46
3.7.2	GC-Analysen.....	46
3.7.2.1	Malz-, Würze- und Bieraromastoffe .....	46
3.7.2.3	Höhere Alkohole .....	46
3.7.2.4	Alterungsindikatoren .....	47
3.7.2.5	Dimethylsulfid (DMS) in Malz, Würze und Bier .....	47
3.7.2.6	Pronyl-L-Lysin .....	47
3.7.3	HPLC-Analysen .....	47
3.7.3.1	Bestimmung der vergärbaren Zucker.....	47
3.7.3.2	Ermittlung des Aminosäurespektrums .....	48
3.7.4	Sensorische Analysen .....	49
3.8	Statistische Auswertung.....	50
3.8.1	Mittelwert .....	50
3.8.2	Streuungskennzahlen .....	51
4	Ergebnisse .....	54
4.1	Einfluss der Malzbereitung auf die Bildung von Maillard-Produkten .....	54
4.1.1	Keimdauer .....	54
4.1.2	Abdarrdauer und Abdarrtemperatur .....	56
4.2	Einfluss von Standort und Sorte auf das Reduktionsvermögen von Malz....	59
4.3	Einfluss des Malztyps auf den Gehalt an Maillard-Produkten und das antioxidative Potential (Handelsmalz) .....	61
4.4	Einfluss von Würzebereitungsparametern auf die Maillard-Reaktion.....	65
4.4.1	Schrot .....	65

---

4.4.2	Temperaturführung beim Maischen .....	68
4.4.3	Gussverhältnis und pH-Wert der Maische .....	73
4.4.4	Würzekochung .....	75
4.5	Einfluss einzelner Zucker und Aminosäuren auf die Melanoidinbildung während des Kochens (Modelllösung).....	77
4.5.1	Reaktion verschiedener Aminosäuren in Gegenwart des Würzezuckerspektrums .....	77
4.5.2	Reaktion verschiedener Zucker in Gegenwart des Würzeaminosäurenspektrums .....	80
4.6	Auswirkung von Maillard-Produkten auf die reduzierenden Eigenschaften und die Geschmacksstabilität von Bieren .....	84
4.6.1	Kommerziell hergestellte Biere .....	84
4.6.2	Einfluss von Anbauort und Sorte auf das Reduktionsvermögen von Bier ....	85
4.6.3	Veränderung von Maillard-Produkten im Laufe des Brauprozesses .....	87
4.6.4	Auswirkung einer Melanoidinzugabe auf die Würze- und Bierbereitung .....	90
4.6.5	Brauversuche mit Malzen gleicher TBZ („Iso-TBZ“).....	92
4.6.6	Herstellung von Bieren gleicher Farbe aus unterschiedlichen Malzmischungen („Iso-Farbe“).....	95
4.6.7	Beurteilung der Geschmacksstabilität von Bier anhand Maillard- beeinflusster Analysenmerkmale .....	98
5	Diskussion .....	101
5.1	Einfluss der Malzbereitung und des Malztyps auf die Menge von Maillard- Produkten .....	101
5.2	Auswirkung der Würzebereitung auf die Bildung von Maillard-Produkten..	104
5.3	Einfluss von Maillard-Produkten auf das Bier .....	110
6	Zusammenfassung .....	116
7	Literaturverzeichnis.....	121
Anhang	.....	139



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Redukton .....	7
Abbildung 2: Heteroreduktone .....	7
Abbildung 3: Bildungswege heterozyklischer Maillardprodukte .....	8
Abbildung 4: Melanoidinbildung durch Quervernetzung von Proteinen .....	9
Abbildung 5: Melanoidingrundstruktur aus Zuckerabbauprodukten .....	10
Abbildung 6: Makromolekulares Melanoidin aus sich wiederholenden Einheiten .....	10
Abbildung 7: Flavan .....	11
Abbildung 8: Grundgerüst der Hydroxycimtsäuren .....	12
Abbildung 9: Grundgerüst der Hydroxybenzoesäuren .....	12
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Sauerstoff und ROS .....	16
Abbildung 11: Fenton- und Haber-Weiss-Reaktion .....	16
Abbildung 12: Bildungsweg von Amadori-Verbindungen .....	20
Abbildung 13: Bildung von Desoxyosonen .....	21
Abbildung 14: Strecker-Abbau .....	22
Abbildung 15: Einfluss des $a_w$ -Wertes auf die Reaktionsgeschwindigkeit .....	24
Abbildung 16: Veränderung der antioxidativen Aktivität durch Neubildung von Maillard-Produkten .....	29
Abbildung 17: Bildung von Pronyl-L-Lysin .....	31
Abbildung 18: Darrschema der „Iso-TBZ“-Malze .....	37
Abbildung 19: Temperatur/Zeit-Profil der Maischverfahren Infusion 45, 52 und 62 ..	40
Abbildung 20: Maischverfahren mit Fraktionentrennung .....	41
Abbildung 21: Muster eines Verkostungsschemas für DLG- und Alterungsverkostung mit Werten .....	49
Abbildung 22: Ausgabemaske der Varianzanalyse .....	53
Abbildung 23: Einfluss der Keimdauer auf den Pronyl-L-Lysin-Gehalt .....	54
Abbildung 24: TBZ und Strecker-Aldehyde während der Keimung .....	55
Abbildung 25: Farb- und TBZ-Bildung während des Darrprozesses .....	56
Abbildung 26: Korrelation zwischen der TBZ, der Kochfarbe und dem Pronyl-L-Lysin Gehalt. ....	57
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Glutamin bzw. $\gamma$ -Aminobuttersäure (GABS) und der TBZ .....	58

---

Abbildung 28: Entwicklung der Strecker-Aldehyde während des Darrprozesses .....	58
Abbildung 29: Reduktionsvermögen verschiedener Malzsorten .....	59
Abbildung 30: Reduktionsvermögen von Malz aus unterschiedlichen Gerstenanbaugebieten .....	60
Abbildung 31: TBZ, Farbe und Reduktionsvermögen unterschiedlicher Malztypen im Kaltauszug .....	61
Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Farbe, TBZ und Reduktionsvermögen ....	62
Abbildung 33: Veränderung des Reduktionsvermögens und der Farbe durch Zumischen von dunklem Malz unterschiedlicher Konzentrationen im KA .....	64
Abbildung 34: Zusammenhang Maillard-beeinflusster Analysenmerkmale durch Zumischen dunklen Malzes unterschiedlicher Konzentrationen im KA .....	64
Abbildung 35: Zunahme des Reduktionsvermögens und der Farbe durch Zugabe verschiedener Malze in unterschiedlichen Schüttungsanteilen.....	68
Abbildung 36: Vergleich von Trendkurven der Kaltauszüge mit denen der Infusionsmaisverfahren.....	69
Abbildung 37: Pronyl-L-Lysin-Gehalt nach verschiedenen Maischverfahren.....	70
Abbildung 38: Prozentuale Veränderung der TBZ und der Farbe (Infusion 45/Infusion 62) .....	71
Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Pronyl-L-Lysin und Farbe bzw. TBZ am Maischende .....	72
Abbildung 40: Auswirkung unterschiedlicher pH-Werte beim Maischen mit Braumalz 4 .....	74
Abbildung 41: Farbzunahme während der Kochung und Lagerung (Aminosäuren) .	78
Abbildung 42: Veränderung des Reduktionsvermögens während der Kochung.....	78
Abbildung 43: Veränderung der Aminosäurenkonzentration während der Kochung und Lagerung .....	79
Abbildung 44: Farbzunahme während der Kochung und Lagerung (Zucker) .....	81
Abbildung 45: Veränderung des Reduktionsvermögens aufgrund von Kochung und Lagerung .....	81
Abbildung 46: Einfluss der Einzelzucker auf die TBZ-Bildung .....	82
Abbildung 47: Bierfarbe und Reduktionsvermögen in Handelsbieren.....	84

---

Abbildung 48: Zusammenhang zwischen der Bierfarbe und dem Reduktionsvermögen von ober- und untergärigen Bieren .....	85
Abbildung 49: Einfluss der Gerstensorte auf das Reduktionsvermögen von Bier.....	86
Abbildung 50: Einfluss des Gerstenanbauortes auf das Reduktionsvermögen von Bier .....	86
Abbildung 51: Veränderung des Reduktionsvermögens und der Farbe während des Brauprozesses .....	88
Abbildung 52: Veränderung der TBZ während des Brauprozesses .....	89
Abbildung 53: Veränderung des Pronyl-L-Lysins während des Brauprozesses .....	90
Abbildung 54: Chemilumineszenz-Messung von BM 1 mit und ohne Zusatz des Modellmelanoidins .....	91
Abbildung 55: Verkostungsergebnisse der „Iso-TBZ“-Biere .....	94
Abbildung 56: Unterschiede im Pronyl-L-Lysin-Gehalt der verschiedenen Würzen..	96
Abbildung 57: Strecker-Aldehyde während des Brauprozesses .....	96
Abbildung 58: Verkostungsergebnis der verschiedenen Biere .....	97
Abbildung 59: Zusammenhang zwischen der Summe an Strecker-Aldehyden und der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres .....	99
Abbildung 60: Zusammenhang zwischen der TBZ der Pfannevoll-Würze und der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres .....	100

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der phenolischen Substanzen .....	12
Tabelle 2: Wirkungsmöglichkeiten von Maillardprodukten.....	17
Tabelle 3: Aminosäuren und daraus entstehende Strecker-Aldehyde .....	22
Tabelle 4: Reaktivität der Einzelzucker und Aminosäuren.....	23
Tabelle 5: Beurteilungsmöglichkeiten bei der Sensorik .....	34
Tabelle 6: Analysen zur Bewertung des Gehaltes an Maillard-Produkten in Malz, Würze und Bier .....	34
Tabelle 7: Analysen zur Bestimmung der antioxidativen Aktivität von Maillard- Produkten in Malz, Würze und Bier .....	35
Tabelle 8: Beschreibung der Mälzungssysteme .....	38
Tabelle 9: Überblick über die Prozessschritte der produzierten Biere .....	41
Tabelle 10: Art und Konzentration der eingesetzten Aminosäuren.....	43
Tabelle 11: Art und Konzentration der eingesetzten Zucker .....	43
Tabelle 12: Variationskoeffizienten der Zuckeranalyse .....	48
Tabelle 13: Variationskoeffizienten der Aminosäureanalyse .....	48
Tabelle 14: Signifikanzniveau und Irrtumswahrscheinlichkeit.....	52
Tabelle 15: Einfluss der Keimdauer auf die vergärbaren Zucker .....	55
Tabelle 16: Vergleich einzelner Aromastoffe verschiedener Malztypen .....	63
Tabelle 17: Analysenwerte einzelner Schrotfraktionen .....	66
Tabelle 18: Auswirkung der Fraktionentrennung auf Pfannevoll- und Anstellwürze .	67
Tabelle 19: Veränderung der TBZ bei unterschiedlichen Einmischtemperaturen ...	71
Tabelle 20: Auswirkung unterschiedlicher Gussverhältnisse .....	73
Tabelle 21: Auswirkung einer Maischesäuerung auf Maillard-beeinflusste Analysenmerkmale .....	74
Tabelle 22: Einfluss des Kochprozesses auf die Bildung von Maillard-Produkten....	75
Tabelle 23: Einfluss der Kochdauer auf Farbe, TBZ und Reduktionsvermögen .....	76
Tabelle 24: Veränderung des Aminosäurespektrums während der Kochung und Lagerung.....	83
Tabelle 25: Analysenwerte von BM 1 mit und ohne Zusatz des Modellmelanoidins.	90
Tabelle 26: Malzanalyse der „Iso-TBZ“-Malze .....	92
Tabelle 27: Veränderung der Maillard-Produkte bis zum Anstellen .....	93

Tabelle 28: Bieranalysen der „Iso-TBZ“-Biere .....	93
Tabelle 29: Farben der einzelnen Malze und der Malzmischungen.....	95
Tabelle 30: Verkostungsergebnis der verschiedenen Biere .....	98

## Abkürzungsverzeichnis

10'	10 Minuten nach Einmischen
1WL	nach einer Woche Lagerung
3M	3 Monate
2-MB	2-Methylbutanal
3-MB	3-Methylbutanal
76E	Maischende
A	Anfang
AfB	Alkoholfreies Bier
AKT	Alkohol-Kälte-Test
AOXP	antioxidatives Potential
ARP	antiradikalisches Potential
ARV	antiradikalisches Verhalten
AS	Aminosäure
AW	Anstellwürze (Kühlmitte)
$a_w$ (-Wert)	Wasseraktivität
BE	Bittereinheiten
BM	Braumalz
Da	Dalton
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DMS	Dimethylsulfid
E	Ende
EBC	European Brewery Convention
EHG	Ende Hauptgärung
EL	Ende Lagerung
ELG	Eiweißlösungsgrad
ER	Ende Reifung
/f	forciert
FAN	freier Aminostickstoff
FRAP	ferric reducing antioxidant power
GABS	$\gamma$ -Aminobuttersäure
H <sub>2</sub> O <sub>dest.</sub>	destilliertes Wasser

---

HG	Hauptgärung
HG/NG	Verhältnis Hauptguss/Nachguss
HMF	5-Hydroxymethylfurfural
HPAEC/PAD	High-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection
HPE	Hallertauer Perle
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
HTU	Hallertauer Taurus
Infusion 45	Infusionsmaischverfahren mit 45 °C Einmaischtemperatur
Infusion 52	Infusionsmaischverfahren mit 52 °C Einmaischtemperatur
Infusion 62	Infusionsmaischverfahren mit 62 °C Einmaischtemperatur
KA	Kaltauszug
KB	Kochbeginn
KE	Kochende
KM	Karamellmalz
KT	Keimtage
LOX	Lipoxygenase
ME	Maischende
MEBAK	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
Mel.	Melanoidin
nF	nach Filtration
OPA	Orthophtaldialdehyd
PE	Phenylethanal (Phenylacetaldehyd)
PfV	Pfannevoll-Würze
PPO	Polyphenoloxidase
PVP	Polyvinylpyrrolidon
ROS	reactive oxygen species
RV	Reduktionsvermögen
,s	scheinbar
SMM	S-Methyl-Methionin
Stw.	Stammwürze
t	Zeit
T	Temperatur
TBZ	Thiobarbitursäurezahl

TRAP	total reactive antioxidant potential
TrS.	Trockensubstanz
Upm	Umdrehungen pro Minute
VG	Vergärungsgrad
vH	vor Hopfengabe
VW	Vorderwürze
,w	wirklich



## 1 Einleitung

Bier ist eines der ältesten von Menschenhand hergestellten Lebensmittel der Welt. Es wird bereits seit dem 6.–8. Jtd. v. Chr. im Zweistromland des Euphrat und Tigris hergestellt und seit etwa 550 v. Chr. längerfristig gelagert. [117, 219, 258] Aufgrund vieler Keilschrifttexte, die bis heute erhalten geblieben sind, ist bekannt, dass es schon damals den Beruf des Brauers gab und die Leute, die ihn ausübten, angesehen waren. Aus denselben Quellen wissen wir, dass in damaligen Palästen der Tagesverbrauch an Bier bei mehreren Hektolitern lag und eine große Biervielfalt (zwischen 15 und 70 Sorten) angeboten wurde. Aufgrund dieser Tatsachen wird klar, dass es sich bei den damaligen Brauern um Spezialisten mit einem großen Maß an Wissen handelte, denn auch die Qualität des produzierten Bieres ist in den überlieferten Quellen erwähnt. War das Bier von schlechter Qualität und wurde es trotzdem verkauft, drohten teils harte Strafen. [219, 258]

Die Qualität und die Sicherheit eines Lebensmittels müssen auch in heutiger Zeit das oberste Produktionsziel sein, nicht zuletzt aufgrund vieler Lebensmittelskandale, durch die Verbraucher sehr sensibel auf mögliche Gefährdungen reagieren. In den Augen der Konsumenten gilt Bier als sicher, was auch auf das Reinheitsgebot zurückzuführen ist. Diese Unbedenklichkeit wird durch einen hohen technischen Standard, aber auch durch ein hohes Maß an Spezialwissen sichergestellt.

Die Qualität eines Bieres entspricht der Gesamtheit seiner Eigenschaften. Dadurch kann Bier nach mehreren Qualitäten beurteilt werden, die anhand der Stabilität der einzelnen Merkmale (Schaum, Geschmack, Gushing, Mikrobiologie, Trübung) zu bewerten sind.

Sensorische Veränderungen des abgefüllten Bieres sind das Hauptqualitätsproblem der Brauindustrie [263], da die produzierende Brauerei nach der Auslieferung bis zum Konsum des Bieres keine oder sehr wenige Einflussmöglichkeiten auf die weitere „Behandlung“ des hergestellten Produktes hat. Diese Veränderungen sind auf verschiedene chemische Reaktionen zurückzuführen, durch die flüchtige und nicht-flüchtige Substanzen generiert [69] und/oder auf solche, durch die bereits bestehende Substanzen abgebaut werden, sodass diese nicht mehr sensorisch in Erscheinung treten. [187, 234, 264] Als Reaktionsmechanismen sind hierzu der Einfluss von Sauerstoff, die Entstehung von Carbonylen, der Auf- und Abbau von

Estern und die Bildung von Schwefelverbindungen zu nennen [200, 223], aber auch Produkte, die der Maillard-Reaktion entstammen, sind stark an der Aromabildung beteiligt. [36]

Den Produkten aus diesen Reaktionen, die für eine Änderung des sensorischen Eindrucks verantwortlich sind, wirken im Bier natürlich vorkommende Substanzen entgegen, die in der Lage sind, die Ausbildung eines Alterungsaromas zu inhibieren oder zumindest zu verlangsamen. Dazu gehören in der Hauptsache neben Polyphenolen und SO<sub>2</sub> auch Reduktone und Melanoidine. [8, 60, 71, 79, 170]

In den vergangenen Jahren wurden viele Forschungsergebnisse präsentiert, welche die antioxidativen Wirkungen der Polyphenole aufdecken und deren technologische Beeinflussung beschreiben. Da auf diesem Gebiet bereits ein beachtlicher Forschungsaufwand betrieben wurde und dadurch die antioxidativen Wirkungen der phenolischen Substanzen gut bekannt sind [8, 71, 84, 82, 121, 151, 150, 155, 173, 189, 198, 216, 226, 246, 263, 268], findet diese Substanzgruppe in der vorliegenden Arbeit keine Erwähnung. Ebenso nicht berücksichtigt wurde das SO<sub>2</sub>, da das im Bier antioxidativ wirksame SO<sub>2</sub> erst während der Fermentation gebildet wird und nicht bereits im Malz vorliegt. [176, 177]

Die hier vorliegende Arbeit hatte das Ziel einer systematischen Untersuchung der reduzierenden Substanzen, die im Zuge der Maillard-Reaktion gebildet werden. In Malz ist eine Vielzahl an reduzierenden Substanzen enthalten, die verschiedenen Stoffgruppen angehören. Der Hauptanteil der Reduktone aus dem Malz sind Stoffe, die, wie die Melanoidine auch, meist im Zuge der Maillard-Reaktion entstehen, jedoch in einer frühen Phase dieses hochkomplexen Reaktionsablaufes. [58, 275]

Produkte aus der Maillard-Reaktion haben einen großen Einfluss auf verschiedene Eigenschaften des Bieres. Ihr auffälligstes Merkmal sind die farbgebenden Eigenschaften. Dadurch ist es möglich, durch die Auswahl eines geeigneten Malzes verschiedene Bierfarben zu erzeugen. Durch die Vielzahl der Verbindungen, die im Laufe der Maillard-Reaktion gebildet werden und zum Teil sehr aromaaktiv sind, kann zudem der Biercharakter gezielt beeinflusst werden. Einige der am Bier-Flavour beteiligten aromaaktiven Maillard-Produkte tragen auch zur Ausbildung eines Alterungsgeschmacks bei und beeinflussen so die Geschmacksstabilität des Bieres. Die Bildung reduzierender Maillard-Produkte geht somit einher mit der Genese von Substanzen, die im Zusammenhang mit einer geschmacklichen Beeinträchtigung des Bieres bekannt sind. Aus diesem Grund kann das Auftreten dieser reduzierenden

Substanzen nicht einzeln beurteilt, sondern die Maillard-Reaktion muss als Gesamtheit der positiven und negativen Einflüsse bewertet werden. Deswegen und aufgrund der großen Anzahl der bereits identifizierten und noch nicht identifizierten Maillard-Produkte wurden meist Globalanalysen angewendet, die allgemein zur Bewertung der Maillard-Reaktion üblich sind. Die Auswirkungen der Maillard-Reaktion auf die Analysenwerte dieser Methoden wurden in dieser Arbeit mit den Ergebnissen von gleichzeitig analysierten Einzelsubstanzen, wie dem antioxidativen Melanoidinstrukturelement Pronyl-L-Lysin und einzelnen Strecker-Aldehyden abgeglichen.

Da der Großteil der Maillard-Produkte während der Malzbereitung entsteht, wurde zunächst ein Überblick über das Ausmaß der Maillard-Reaktion während des Mälzungsprozesses gewonnen. Dies geschah, indem verschiedene Mälzungsparameter wie die Keimdauer, aber auch die Temperatur und die Dauer des Abdarrprozesses variiert wurden. Um den Einfluss der Maillardprodukte auf die Bierbereitung bewerten zu können, erfolgte eine Untersuchung verschiedener Brau- und Karamellmalze auf ihre Unterschiede bezüglich ihrer Maillard-beeinflussten Eigenschaften.

Durch den Malzeinsatz für einen Sud ist die Menge der Maillardprodukte, die in den Bierbereitungsprozess eingebracht wird, festgelegt. Zu dieser Menge zählen sowohl die Maillard-Produkte, die bereits im Malz enthalten sind und im Laufe der Bierbereitung weiterreagieren können, als auch das Potential dieses Malzes zur Neubildung dieser Substanzen. Aus diesem Grund wurden die Auswirkungen einer veränderten Malzschüttung durch Substitution eines Braumalzanteils durch andere Malztypen überprüft.

Die Maillard-Reaktion oder nicht-enzymatische Bräunung kann durch die Veränderung mehrerer Parameter beeinflusst werden. Dies sind nach der einschlägigen Literatur in der Hauptsache die Hitzebelastung und der Typ der zur Reaktion zur Verfügung stehenden Reaktanden, aber auch der Wassergehalt und der pH-Wert. Unter diesen Gesichtspunkten stehen während der Würzebereitung viele Variationsmöglichkeiten zur Beeinflussung von Maillardprodukten zur Verfügung. Von diesen Möglichkeiten wurden im Rahmen dieser Arbeit der Einfluss verschiedener Schrotfraktionen, das Gussverhältnis und der Einfluss des Maische-pH-Werts untersucht. In weiteren Versuchen erfolgte eine Untersuchung der

Einmischtemperatur, der Maischdauer und der Würzekochung und damit der Parameter, die den größten Einfluss auf den Umfang der Maillard-Reaktion ausüben. Darüber hinaus wurden die Effekte eines veränderten Angebots an Reaktanden während der Würzekochung in einer Modelllösung getestet. Die Auswirkungen einer Veränderung dieser Parameter wurden in Würze, aber auch im fertigen Bier erforscht. In diesem Zusammenhang erfolgte auch eine Überprüfung, ob zwischen der sensorisch ermittelten Geschmacksstabilität und den Maillard-Produkten aus dem Malz bzw. der Würze ein Zusammenhang hergestellt werden kann. Zuletzt wurde eine Beurteilung der Geschmacksstabilität anhand Maillard-beeinflusster Analysenmerkmale (TBZ, Strecker-Aldehyde) vorgenommen.

## 2 Kenntnisstand und Grundlagen

Die Qualität und die Haltbarkeit des Bieres sind durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Diese sind im Wesentlichen zusammengefasst in verschiedenen Stabilitätsbegriffen, wie der mikrobiologischen, der kolloidalen, der Schaum- und der Geschmacksstabilität. Während in früheren Jahren das Hauptaugenmerk dem Vermeiden von Bierverderbern und Trübungen galt, so ist heute die Geschmacksstabilität von größtem Interesse. [263]

Bier befindet sich nicht in einem chemischen Gleichgewichtszustand; es ist einer ständigen Veränderung unterworfen. [56] Dieser laufende Wechsel der chemischen Zusammensetzung kann sensorisch durch die Ausbildung eines Alterungsaromas wahrgenommen werden.

Als Hauptursache gilt die Bildung von Carbonylen. [62, 99] Die an diesen Geschmacksveränderungen beteiligten Carbonyle bzw. deren Vorläufer stammen aus dem Malz und der Würze [182] und können durch eine Vielzahl von Reaktionen gebildet werden. [96, 100, 126, 227]

In den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde frühzeitig erkannt, dass bei einer Vielzahl dieser Prozesse Oxidationsreaktionen eine Rolle spielen. Deswegen wurde bereits damals nach Möglichkeiten einer Verminderung der Sauerstoffaufnahme während des gesamten Brauprozesses, mit Ausnahme der Hefebelüftung beim Anstellen, gesucht. [89] Um Oxidationsreaktionen zu minimieren, kann entweder versucht werden, die Sauerstoffaufnahme auf die technisch mögliche Menge zu verringern oder vermehrt Substanzen und Stoffgruppen in die Würze und das Bier einzubringen, die diesen entgegenwirken. [155]

Verschiedene Antioxidantien oder reduzierend wirkende Strukturen können jedoch unter bestimmten Bedingungen, z. B. konzentrationsabhängig [222, 272] (wie von der Ascorbinsäure bekannt, die sonst als stark reduzierend gilt), zu Prooxidantien werden und dadurch Oxidationsreaktionen fördern. [3, 8, 84, 220] Diese prooxidative Wirkung von Antioxidantien wurde in mehreren Forschungsarbeiten für Polyphenole [81, 121, 220, 263] und für Maillardprodukte [7, 9, 63, 93, 92, 222, 272] festgestellt.

## 2.1 Reduzierend und antioxidativ wirkende Bierinhaltsstoffe

Im Bier gibt es viele verschiedene Stoffe und Stoffgruppen, die reduzierend wirken können (Reduktone). Die meisten von ihnen haben ihren Ursprung im Malz und im Hopfen. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang jedoch auch das antioxidativ wirksame Schwefeldioxid, das während der Gärung gebildet wird und im Bier eine nicht unerhebliche Wirkung und damit einen Einfluss auf die Geschmacksstabilität hat.

Grundsätzlich stehen dem Brauer mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die „Antioxidativität“ von Würze und Bier zu verbessern oder zu erhalten. Dies ist

- der Einsatz von exogenen Antioxidantien zur Steigerung des Oxidationsschutzes oder
- die gezielte Anreicherung und Bewahrung von endogenen Substanzen, die Oxidationsreaktionen entgegenwirken.

### 2.1.1 Begriffsbestimmung

In seiner ursprünglichen Bedeutung wird der Begriff „antioxidativ“ für jede Substanz verwendet, die in der Lage ist, eine andere an der Reaktion mit Sauerstoff zu hindern. Seitdem bekannt ist, dass in solchen Reaktionen oftmals Radikale eine Rolle spielen, steht der Begriff für die Verhinderung oder Verlangsamung einer Reaktion, an der freie Radikale beteiligt sind. [241] Ihnen gegenüber stehen die Prooxidantien, die im Gegensatz dazu Oxidationsreaktionen unterstützen (siehe Kapitel 2.4.3).

Reduktone sind aufgrund ihres chemischen Aufbaus definiert, wobei ihre Struktur in Form einer Endiolgruppe (Abbildung 1) vorliegen muss. Sofern die chemischen Eigenschaften es zulassen, werden auch Strukturen, die Thiol- oder Aminogruppen anstelle von Hydroxylgruppen enthalten (Abbildung 2) zu den Reduktonen (Heteroreduktone) gezählt. [68]

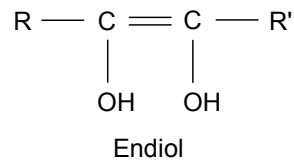


Abbildung 1: Redukton

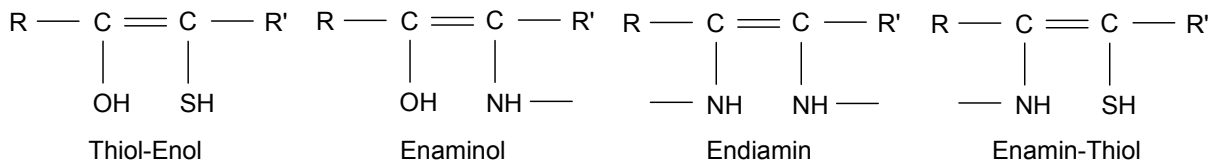


Abbildung 2: Heteroreduktone

Der Begriff des Reduktions wird jedoch in der Brauliteratur weiter gefasst. Hier werden beschwerende (= reduzierende) Stoffe häufig gleichgesetzt mit Substanzen, die mit Sauerstoff reagieren und diesen abfangen können. [19, 42, 57, 199]

### 2.1.2 Ursprung und Struktur

In Bier treten zahlreiche Stoffe und Stoffgruppen auf, die reduzierende und antioxidative Eigenschaften besitzen. Bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts waren mehrere Stoffgruppen bzw. Strukturelemente bekannt, die im Bier reduzierend wirken, darunter Reduktone, Maillardprodukte, Sulfhydrylgruppen, Tannine, Hopfenharze und  $\text{SO}_2$ . [58, 213] In jüngerer Zeit wurde zudem festgestellt, dass verschiedene Vitamine der B-Gruppe, und auch Terpene wie z. B. das Geraniol antioxidative Eigenschaften besitzen. [86, 241] Reduzierende Eigenschaften besitzen aber auch einzelne Aminosäuren und reduzierende Zucker. [3, 26, 121, 126, 222] Weiterhin werden ebenfalls der Hefe und verschiedenen Enzymen (z. B. Superoxid-Dismutase) antioxidative Eigenschaften zugeschrieben. [18, 31, 56, 67, 190, 230] Dem heutigen Forschungsstand zufolge sind in Malz, Würze und Bier hauptsächlich drei Hauptgruppen von Inhaltsstoffen für die antioxidative Wirkung verantwortlich: Maillardprodukte, phenolische Substanzen und  $\text{SO}_2$ .

## 2.1.2.1 Maillard-Produkte

Die Maillardreaktion wurde erstmalig 1912 von Louis-Camille Maillard beschrieben. Sie läuft zwischen Zuckern und Aminosäuren, Polypeptiden oder Proteinen und zwischen Polysacchariden und Polypeptiden oder Proteinen ab. [267]

Maillardprodukte entstehen während des Abdarrens des Malzes und während des Würzekochens. Einige dieser Produkte (Reduktone, Melanoidine) sind antioxidativ wirksam und beeinflussen durch diese Wirksamkeit die Stabilität von Lebensmitteln. [30, 148, 159, 169, 207] Die Maillardreaktion führt zu braungefärbten, hochmolekularen Produkten [109], aber auch zu flüchtigen, oft heterozyklischen Verbindungen. [137] Je höher die Prozesstemperatur ist, desto mehr Maillardprodukte werden gebildet. Da die Aktivierungsenergie für die Maillardreaktion nur bei 88–109 kJ/Mol liegt, kann die Bildung von Maillardprodukten jedoch auch bei Temperaturen von 5 °C, also bei Lagertemperatur von Bier, erfolgen. [20, 270, 277] Ab Temperaturen von 70 °C jedoch erfolgt ein exponentieller Anstieg an Strecker-Aldehyden und Stickstoffheterozyklen. [75, 74, 77] Durch eine Erhöhung der Abdarrtemperatur von 70 °C auf 100 °C konnte beispielsweise die 10-fache Menge an Stickstoffheterozyklen festgestellt werden. [148, 179, 180, 178]

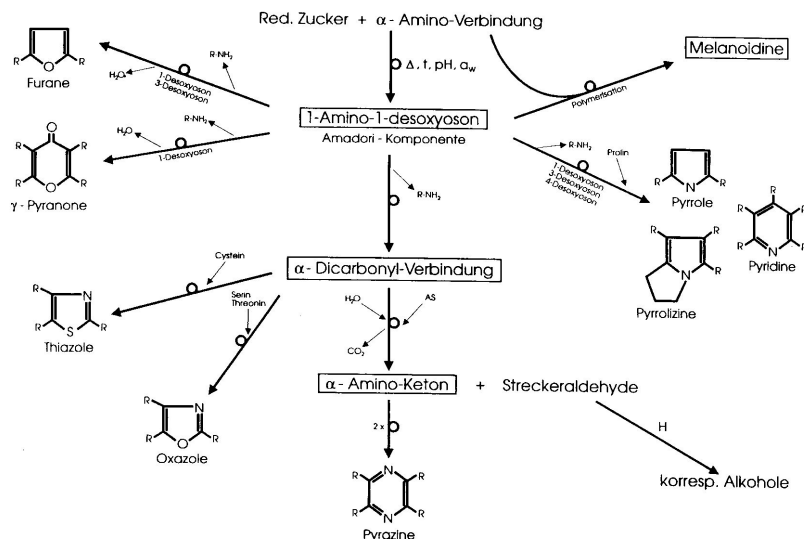


Abbildung 3: Bildungswege heterozyklischer Maillardprodukte

Maillardprodukte können anhand ihres Molekulargewichtes in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden, wonach bei Molekulargewichten unter 1000 Da von niedermolekularen Maillardprodukten gesprochen wird und Produkte größer 1000 Da



zu den Hochmolekularen gezählt werden, die Molekulargewichte von bis zu 100000 Da erreichen können. [112, 133, 240]

Bei der Maillardreaktion können aus den einzelnen Zwischenstufen verschiedene Stoffgruppen entstehen (Abbildung 3) [75]. Während die niedermolekularen Stoffe relativ gut erforscht sind und mehrere Arbeiten einen guten Überblick über die Struktur, die Entstehung, den Aromaeindruck und den Geschmacksschwellenwert geben [73, 99, 108, 137, 154, 157, 164, 163, 165, 223, 252, 247, 248, 262, 270], war es bislang kaum möglich, hochmolekulare, farbintensive Maillard-Produkte (Melanoidine) zu identifizieren oder zu charakterisieren. [72]

Melanoidine sind braungefärbte Pigmente, die im Endstadium der Maillardreaktion gebildet werden. Aufgrund der unbekanntenen Struktur der Melanoidine werden anhand von identifizierten Strukturelementen im Moment drei Vorschläge für die zu erwartende Melanoidinstruktur diskutiert, die im Folgenden erläutert werden:

- a) Melanoidine können gebildet werden durch die Quervernetzung von farblosen Proteinen mit farbigen niedermolekularen Substanzen über die  $\epsilon$ -Aminogruppe einer Lysin- oder Argininseitenkette (Abbildung 4). [111] Diesem Strukturvorschlag folgt das Pronyl-L-Lysin, ein Melanoidinstrukturelement, das in der Brotkruste eine antioxidative Wirksamkeit zeigte und sowohl im Malz als auch im Bier nachgewiesen werden konnte. Auf dessen Bildungsweg wird in Kapitel 2.4.3 näher eingegangen.

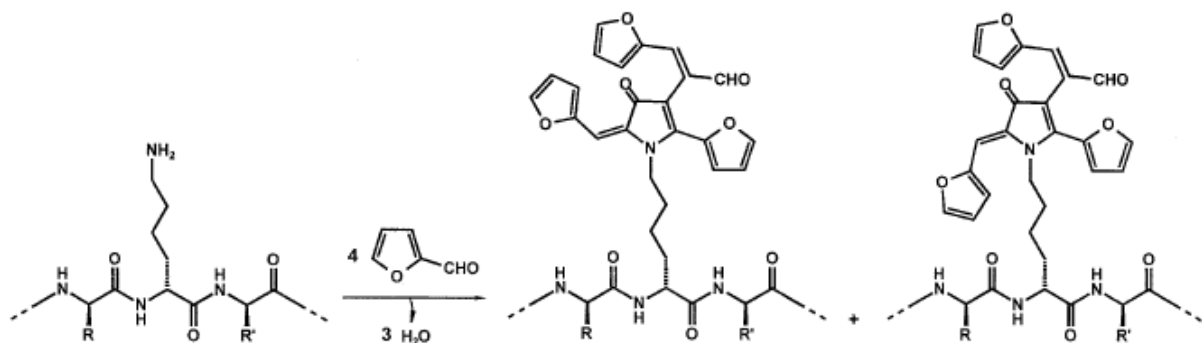


Abbildung 4: Melanoidinbildung durch Quervernetzung von Proteinen

- b) In einem zweiten Vorschlag ist der Melanoidingrundkörper hauptsächlich aus Zuckerabbauprodukten (3-Desoxyosone) aus der frühen Maillardreaktion aufgebaut, die durch Aminokomponenten verbunden sind (Abbildung 5). [44, 43, 127, 278]

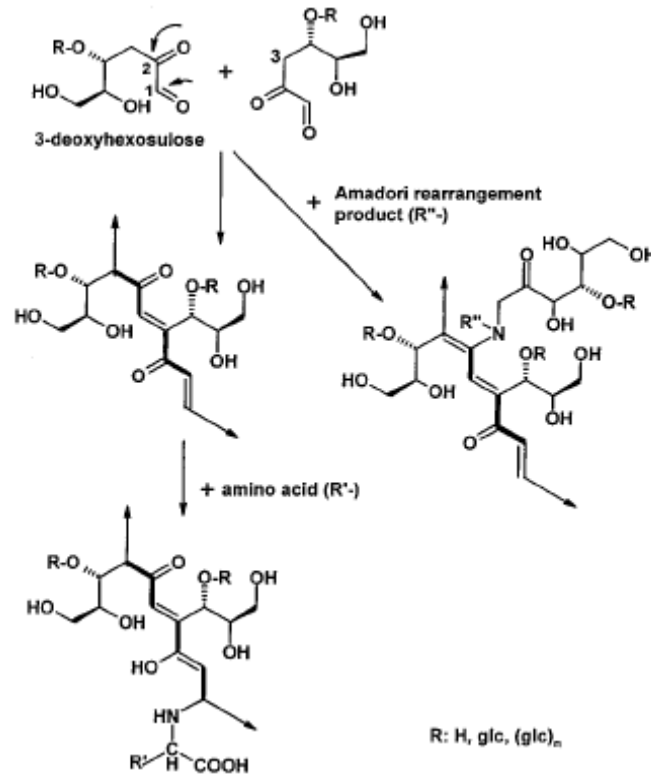


Abbildung 5: Melanoidingrundstruktur aus Zuckerabbauprodukten

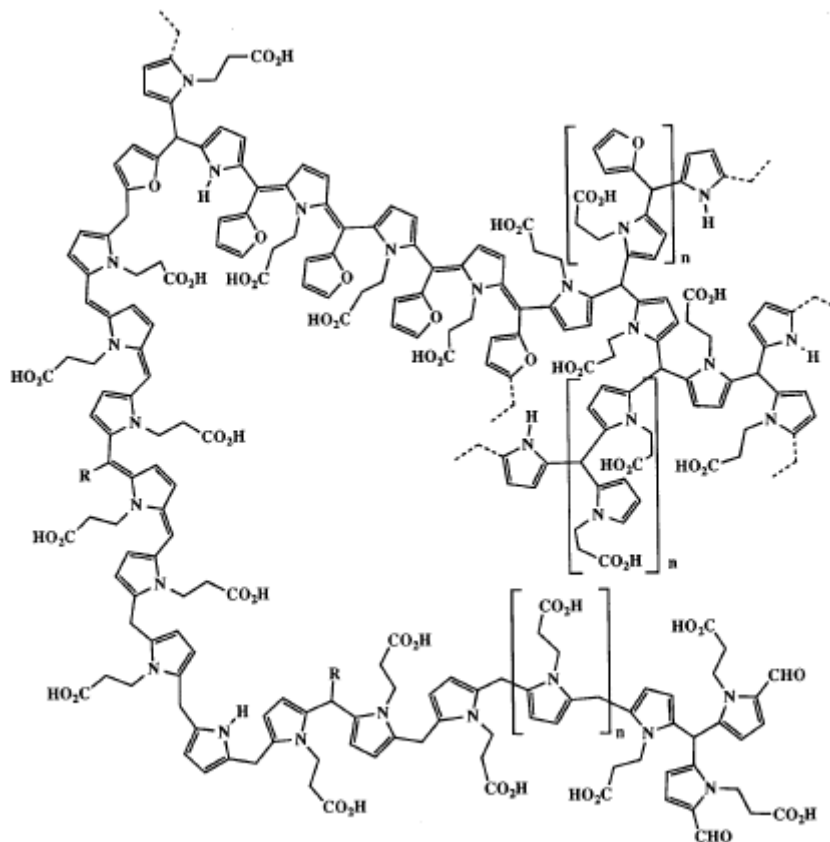


Abbildung 6: Makromolekulares Melanoidin aus sich wiederholenden Einheiten

- c) Ausgehend von Hexosen und Pentosen, die in der Maillardreaktion zu verschiedenartigen Pyrrolen führen, konnten zwei Polymere charakterisiert werden, von denen wiederum vermutet wird, dass es sich um Untereinheiten von Melanoidinen handelt. Mit Hilfe dieser zwei Polymere wurde eine komplexe makromolekulare Melanoidinstruktur formuliert (Abbildung 6). [254, 253]

### 2.1.2.2 Phenolische Substanzen

Der Begriff der Polyphenole umfasst ein breites Spektrum an Molekülen. Sie gehören zu den sekundären Pflanzenstoffen, dienen also nicht primär dem Wachstum der Pflanze. Sekundäre Pflanzenstoffe dienen der Pflanze als Farb-, Duft-, Bitter- und Aromastoffe, die vor Fraß schützen, aber auch Insekten zur Bestäubung anlocken sollen. Teilweise ist es auch ihre Aufgabe, die Pflanze vor schädlichen Umwelteinwirkungen wie z. B. UV-Strahlen oder Pilzbefall zu bewahren. [88, 201]

Phenolische Substanzen im Bier stammen zu etwa 80 % aus dem Malz, die restlichen 20 % werden mit dem Hopfen eingebracht. [134, 224, 263] Die in die Würze und das Bier eingebrachte Menge an Phenolen aus dem Malz ist sorten- und provenienzabhängig. Gersten, die aus maritimen, küstennahen Anbaugebieten stammen, beinhalten mehr Phenole, insbesondere Tannoide, als kontinental angebaute. [186]

Grundsätzlich werden die phenolischen Substanzen in die Gruppen der Polyphenole, die sich von einem Flavanmolekül ableiten (Abbildung 7), und der Phenolcarbonsäuren eingeteilt und diese wiederum nach verschiedenen Unterklassen geordnet (Tabelle 1). [3, 10, 67, 214]

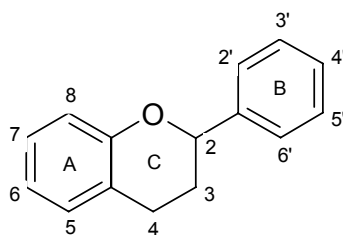


Abbildung 7: Flavan

Die Phenolcarbonsäuren entstehen enzymatisch aus dem Phenylalanin, woraus zunächst die Hydroxyzimtsäuren (Abbildung 8) gebildet werden. Aus diesen entstehen nach weiteren Reaktionen die Hydroxybenzoesäuren (Abbildung 9). [22] Je nachdem, welcher Substituent an welches C-Atom des Phenolrings gebunden ist, entstehen die verschiedenen Vertreter der Phenolcarbonsäuren. [84, 246]

Tabelle 1: Einteilung der phenolischen Substanzen

phenolische Substanzen		
Phenolcarbonsäuren	Polyphenole	
Hydroxyzimtsäuren Hydroxybenzoesäuren	Flavonoide	Catechin Anthocyanidine Proanthocyanidine
	Flavone Flavonone Flavonole Flavanole	

Die Biosynthese der Flavonoide, die von der Hydroxyzimtsäure ausgeht, ist ein komplexer Vorgang, bei dem durch Kondensation die verschiedenen Untergruppen der Flavonoide entstehen (Tabelle 1). [22] Flavonoide sind gekennzeichnet durch eine Keto-Gruppe am C4 des C-Rings. Im Gegensatz dazu sind Catechine mit einer Hydroxyl-Gruppe am C3 anstatt der Keto-Gruppe bei den Flavonoiden ausgestattet. Sie sind die Grundbausteine für weitere Polyphenole, die Anthocyanidine und Proanthocyanidine. [10]

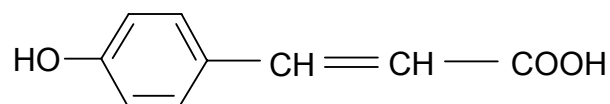


Abbildung 8: Grundgerüst der Hydroxyzimtsäuren

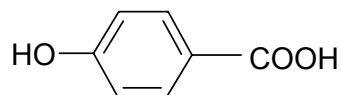


Abbildung 9: Grundgerüst der Hydroxybenzoesäuren

Polyphenole und Phenolcarbonsäuren können antioxidativ wirksam sein. [14, 151, 173, 268] Ihr antioxidatives Potential hängt dabei von der Anzahl der Hydroxygruppen am Phenolring [226, 246] und vom pH-Wert der untersuchten Probe ab. [148, 173] Aber auch die Position der angelagerten Gruppen bestimmt die

antioxidative Wirksamkeit. [226] Eine Hydroxyl-Gruppe in den Positionen 2', 3' oder 4' des B-Rings begünstigt beispielsweise die Radikalfängereigenschaften von Flavonoiden. Eine Hydroxyl-Gruppe an der Position 7 des A-Rings erhöht die Wirksamkeit einer Inhibierung der Superoxid-Dismutase. [3] Die Molekülgröße spielt ebenfalls eine große Rolle bezüglich der antioxidativen Wirksamkeit. Es wurde festgestellt, dass Moleküle kleiner 5 kDa (in der Hauptsache Phenolkarbonsäuren) für ungefähr 80 % der gesamten antioxidativen Aktivität verantwortlich sind. [71, 198] Phenolkarbonsäuren können in Bier sowohl frei als auch an Zellwandbestandteile gebunden vorliegen, wobei in gebundener Form eine doppelt so hohe antioxidative Aktivität nachgewiesen werden konnte. [155] Die Aktivität der einzelnen Phenolkarbonsäuren unterscheidet sich beträchtlich und ist von den Umgebungsbedingungen bestimmt. [84, 173] Flavonoide sind verantwortlich für die antioxidative Aktivität in vielen Lebensmitteln, einige von ihnen sind jedoch toxisch. [214]

### 2.1.2.3 SO<sub>2</sub>

Schwefeldioxid wurde bereits in den 1940er Jahren als Antioxidans in Bier erkannt [131] und kann sowohl auf natürlichem als auch auf künstlichem Wege ins Bier eingebracht werden, wobei der exogene Einsatz im Rahmen des Reinheitsgebotes nicht zulässig ist. Natürlicherweise stammt das SO<sub>2</sub> aus dem Hefestoffwechsel und wird während der Gärung gebildet.

In Bier liegt SO<sub>2</sub> pH-abhängig meist als HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Hydrogensulfit Anion) vor [195] und erreicht Konzentrationen von < 1 bis zu 30 mg/l. [119] Da SO<sub>2</sub> auch eine allergieauslösende Substanz ist, wurde die Deklarationspflicht für SO<sub>2</sub> im Jahr 2003 durch die EU-Richtlinie 2003/89/EG geändert. Danach dürfen Lebensmittel nur noch 10 mg/l SO<sub>2</sub> enthalten, ohne diesen Inhaltstoff auf dem Etikett deklarieren zu müssen. [1] Dadurch liegt die Konzentrationsobergrenze von SO<sub>2</sub> auch unterhalb des Gehaltes, durch den ein konservierender Effekt belegt werden kann. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass SO<sub>2</sub> auch bei Konzentrationen unter 10 mg/l einen positiven Einfluss auf die Geschmacksstabilität hat. [182] Da jedoch im abgefüllten Bier pro Monat bis zu 3 mg SO<sub>2</sub>/l aufgezehrt werden [14] und aus diesem Grund der SO<sub>2</sub>-Schutz des Bieres immer weiter abnimmt, wurden viele

Anstrengungen unternommen, den  $\text{SO}_2$ -Gehalt technologisch zu beeinflussen, um einen möglichst langen Oxidationsschutz durch das  $\text{SO}_2$  gewährleisten zu können. Dabei wurde festgestellt, dass der Sulfatgehalt im Brauwasser und der  $\text{SO}_2$ -Gehalt des Malzes keinen Einfluss auf die  $\text{SO}_2$ -Konzentration im Bier haben [177, 176], jedoch höhere Stammwürzekonzentrationen und pH-Werte zu erhöhten  $\text{SO}_2$ -Werten im Bier führen. [176, 177, 192] Durch erhöhte Mengen der schwefelhaltigen Aminosäuren Cystein und Methionin wird die  $\text{SO}_2$ -Bildung verringert. [176] Das  $\text{SO}_2$ -Bildungsvermögen ist stark vom verwendeten Hefestamm [186, 176, 177] und vom Zustand der Hefe [13, 276] abhängig. Aber auch die Gär- und Anstelltechnologie haben einen großen Einfluss auf die Schwefeldioxidkonzentration. Durch die richtige Auswahl der Gärtemperatur, der Anstellhefemenge und das Ausmaß sowie der Zeitpunkt der Würzebelüftung kann der  $\text{SO}_2$ -Gehalt gesteigert, ein dementsprechend höheres antioxidatives Potential festgestellt und eine Verbesserung der Geschmacksstabilität erzielt werden. [8, 14, 78, 176, 192, 276]

## 2.2 Wirkungsweise von Antioxidantien

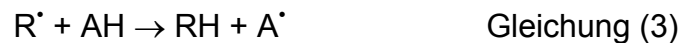
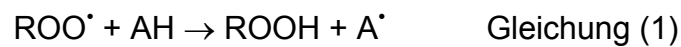
Die antioxidative Wirkung einzelner Stoffe kann auf verschiedenen Reaktionen beruhen [14, 196, 226], wobei viele Moleküle auf mehrere Arten wirken können: [196]

- Abfangen reaktiver Sauerstoffmoleküle (ROS)
  - Verhinderung von Kettenreaktionen durch Abfangen des Starterradikals
  - Unterbinden von Radikalkettenreaktionen durch Abfangen eines Intermediärradikals
- Abfangen freien Sauerstoffs oder Wasserstoffperoxids
- Auftreten als Reduktionsmittel (Wasserstoff- oder Elektronendonator)
- Chelatbildung

### 2.2.1 Klassifizierung von Antioxidantien

Nach ihrem Wirkmechanismus werden Antioxidantien (A) in Primär- und Sekundär-Antioxidantien (Typ-1- bzw. Typ-2-Antioxidantien) eingeteilt. [150, 214]

Primär-Antioxidantien verzögern oder inhibieren den Start oder unterbrechen das Radikalkettenwachstum. Als Wasserstoffdonatoren haben die Typ-1-Antioxidantien eine höhere Affinität für Radikale als z. B. Lipide und können aus diesem Grund die Radikale abfangen und diese in stabilere, nichtradikalische Produkte umwandeln (Gleichungen (1)–(3)).



Die dabei entstehenden Antioxidantien-Radikale sind stabiler und stehen deshalb Oxidationsreaktionen weniger leicht zur Verfügung. [241] Sie reagieren jedoch mit Peroxy-, Oxy- und anderen Antioxidantien-Radikalen in Radikalkettenabbruchreaktionen zu stabilen Endprodukten (Gleichungen (4)–(6)).



Typ-2-Antioxidantien können mehrere mögliche Reaktionsmechanismen aufweisen. Im Gegensatz zu den Primär-Antioxidantien wandeln diese nicht freie Radikale in stabilere Produkte um. Sekundär-Antioxidantien agieren als Metall-Chelatoren, Reduktionsmittel oder fangen Sauerstoff direkt ab. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Typ-1- und Typ-2-Antioxidantien treten zudem synergistische Effekte auf. Durch die Anwesenheit von Sekundär-Antioxidantien wird die antioxidative Aktivität der Primär-Antioxidantien gefördert, indem beispielsweise Typ-2-Antioxidantien ihrerseits als Wasserstoffdonatoren für die Primär-Antioxidantien dienen. [214]

## 2.2.2 Freie Radikale

Als freie Radikale werden Moleküle bezeichnet, die in der Lage sind, unabhängig von anderen zu existieren und ein oder mehrere ungepaarte Elektronen besitzen. [61]

In Bier ist eine Reihe von aktivierten Formen bekannt, die ihren Ursprung in molekularem Sauerstoff haben (reactive oxygen species, ROS). [126] Der Zusammenhang zwischen diesen aktivierten Sauerstoffformen ist schematisch in Abbildung 10 [3] dargestellt.

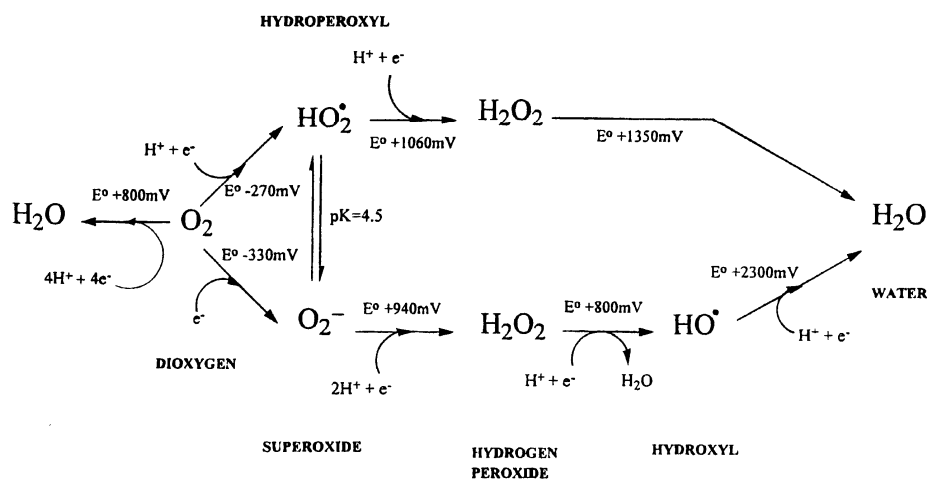


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Sauerstoff und ROS

Es wurde gezeigt, dass auch Metalle wie Eisen und Kupfer, selbst wenn sie nur in Spuren auftreten, an der Bildung der aktiven Sauerstoffformen beteiligt sind. Dabei katalysieren sie die Bildung von Hydroxyl-Radikalen ( $\text{HO}^\bullet$ ) aus Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) und den Superoxid-Anionen ( $\text{O}_2^-$ ) in der Fenton- oder der Haber-Weiss-Reaktion (Abbildung 11). [121, 196, 209]

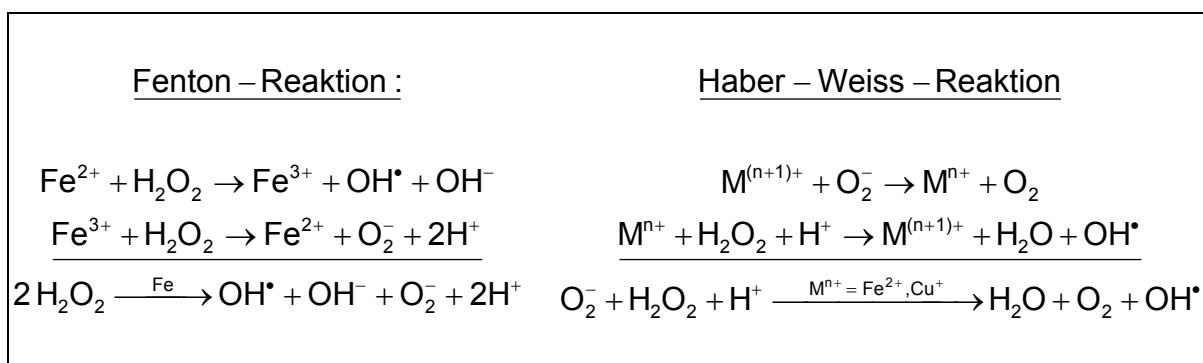


Abbildung 11: Fenton- und Haber-Weiss-Reaktion



### 2.2.3 Möglichkeiten der antioxidativen Wirkung von Maillard-Produkten

Aus der Maillardreaktion entstehen verschiedene Produkte mit antioxidativem Potential, die sich im Molekulargewicht und der chemischen Struktur unterscheiden, weshalb Maillardprodukte auf verschiedene Arten wirksam sein können (Tabelle 2). [7, 148]

Tabelle 2: Wirkmöglichkeiten von Maillardprodukten

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfangen freien Sauerstoffs</li> <li>• Abfangen aktiver Sauerstoffmoleküle             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Hydroxyl-Radikale (HO<sup>•</sup>)</li> <li>→ Superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>)</li> <li>→ Peroxyl-Radikale (ROO<sup>•</sup>)</li> </ul> </li> <li>• Reaktion als Reduktionsmittel</li> <li>• Chelatbildung</li> </ul> |
|--|

Aufgrund dieser unterschiedlichen Wirksamkeit darf das antioxidative Verhalten nicht an einem einzelnen Test festgemacht werden, es bedarf mehrerer Testsysteme, die die verschiedenen Wirkungsweisen berücksichtigen und beschreiben können (siehe Kapitel 2.5). [61, 81]

#### Abfangen freien Sauerstoffs

Maillard-Modellsysteme wurden auf ihre Fähigkeit, die Menge an freien Sauerstoff zu reduzieren, evaluiert. [147] Untersucht wurden verschiedene Aminosäuren, die mit Glukose, Fruktose oder Xylose reagieren konnten. Durch die gebildeten Maillardprodukte konnte der verfügbare Sauerstoff vermindert werden. Die größten antioxidativen Effekte wurden für Maillardprodukte aus den basischen Aminosäuren Histidin, Arginin und Lysin festgestellt. Außerdem wurde eine höhere Fähigkeit zur Sauerstoffaufnahme bei steigenden pH-Werten festgestellt. [149]

#### Abfangen aktiver Sauerstoffmoleküle

Sauerstoff ist in seinem Grundzustand sehr stabil und reaktionsträge. Um an verschiedenen Reaktionen teilzunehmen, muss er in eine reaktivere Form umgewandelt werden. [17, 196] Vertreter dieser aktiven Sauerstoffmoleküle, die

durch Maillardprodukte abgefangen werden können, sind Hydroxyl-Radikale, Superoxide, Peroxide und Peroxyl-Radikale. [7, 9, 171, 280]

Hydroxyl-Radikale sind hochreaktiv. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass Melanoidine in einer Konzentration von 0,3 % in der Lage sind, 86 % aller Hydroxyl-Radikale im Testsystem abzufangen. [103] An anderer Stelle konnte gezeigt werden, dass diese Fähigkeit vom eingesetzten Monosaccharid als Reaktant abhängt, von der Temperatur, bei der die Maillardprodukte hergestellt wurden und von der Dauer der Hitzebelastung. [273, 279]

Superoxid-Anionen entstehen durch die Addition eines Elektrons zu molekularem Sauerstoff. [59] Der Scavenging-Effekt von Maillardprodukten gegenüber Superoxiden ist ebenfalls von der Heizdauer der Reaktion anhängig. [279] Bei Vergleichstests wurde für Maillardprodukte eine höhere Effektivität beim Abfangen der Superoxid-Anionen gefunden als für Ascorbinsäure oder Superoxid-Dismutase. [103, 102] Peroxyl-Radikale entstehen während der Oxidation von Lipiden. Ein Abfangen dieser Sauerstoffform konnte bereits bei Melanoidinkonzentrationen von 0,005 % bewiesen werden. [102]

#### Reaktion als Reduktionsmittel

Die Wirkung von Maillardprodukten als Reduktionsmittel liegt in ihrer Fähigkeit, Wasserstoffatome abzugeben. Der abgegebene Wasserstoff reagiert dann direkt mit Sauerstoff, der dadurch im Produkt unschädlich gemacht wird. [214] Melanoidinen, die aus Glukose oder Fruktose hergestellt wurden, konnte eine reduzierende Wirkung nachgewiesen werden, die jedoch niedriger als die der Ascorbinsäure war. [272]

#### Chelatbildner

Einige Metalle wie beispielsweise Eisen und Kupfer fördern Oxidationen, indem sie als Katalysatoren für Radikalreaktionen wirken. [21] Die Metall-Chelatbildung verschiedener Antioxidantien vermindert deren prooxidativen Effekt, indem sie das Redoxpotential heruntersetzen und die oxidierte Form der Metalle stabilisieren. [214] Viele Chelatoren bilden auch Komplexe aus, was die Katalysatorwirkung der Metalle verändert. [59] Die Chelat-Bildungsfähigkeit von Maillardprodukten hängt stark von den Reaktionsbedingungen und von den eingesetzten Reaktanden ab. [172, 271]

## 2.3 Die Maillard-Reaktion

Für die Ausbildung der Farbe, des Geschmacks und des Aromas des Bieres ist die Maillard-Reaktion oder nicht-enzymatische Bräunung, die ihren Ursprung in der Reaktion zwischen reduzierenden Zuckern und Aminen hat, ein grundlegender Vorgang. Deshalb ist es unbedingt notwendig zu wissen, auf welche Art und Weise die Aromabildung gesteuert werden kann. Basis für eine Einflussnahme ist das Wissen um den Chemismus und die Einflussfaktoren auf die Reaktion. [132]

Neben der Maillard-Reaktion treten in Lebensmitteln noch zwei andere Typen an Bräunungsreaktionen auf. Die Karamellisierung, die abläuft, wenn Zucker auf Temperaturen von über 150 °C erhitzt wird [193] und zuletzt die enzymatische Bräunung, die durch Enzyme wie die Polyphenoloxidase, die Lipoxygenase und die Peroxidase katalysiert wird. [196]

### 2.3.1 Genese von Maillard-Produkten

Die Maillard-Reaktion ist ein allgemeiner Begriff, mit dem eine Serie von nacheinander und gleichzeitig ablaufenden Reaktionen zwischen einer freien Carbonylgruppe, beispielsweise eines reduzierenden Zuckers, und einer freien Aminogruppe, wie der einer Aminosäure, beschrieben wird, die letztlich zu einer Bräunung führt. [49, 80]

Diese Vielzahl an Reaktionen wurde erstmals 1953 in einem Reaktionsschema zusammengefasst [109] und seitdem durch neue Erkenntnisse ständig erweitert. [159]

Die Maillard-Reaktion wird in drei Phasen untergliedert:

- a) In der Anfangsphase (Initial- oder Early-Stage) reagieren zunächst reduzierende Zucker und Aminosäuren zu N-Glykosylaminen. Diese N-Glykosylamine sind sehr instabil und reagieren deshalb weiter zu Amadori-Verbindungen (Aminoketosen). Analog zu der in Abbildung 12 gezeigten Amadori-Umlagerung von Hexosen und 1,4-verknüpften Disacchariden [204] (z. B. Maltose) bezeichnet die Heyns-Umlagerung die ersten Reaktionsschritte von Pentosen. Die aus der Heyns-Umlagerung entstandenen Produkte sind

nicht stabil und reagieren in Folgereaktionen zu Amadori-Verbindungen weiter. [106]

Der limitierende Faktor für die Bildung von Amadori-Produkten ist die Reaktion des reduzierenden Zuckers mit der Aminokomponente. Um mit Aminosäuren reagieren zu können, muss der Zucker in seiner offenkettigen Form vorliegen. Der Großteil der Monosaccharide kommt in dieser azyklischen Form in weniger als 1 % der Gesamtzuckerkonzentration vor. Der prozentuale Anteil der offenkettigen Form kann jedoch durch höhere Temperaturen gesteigert werden. [277]

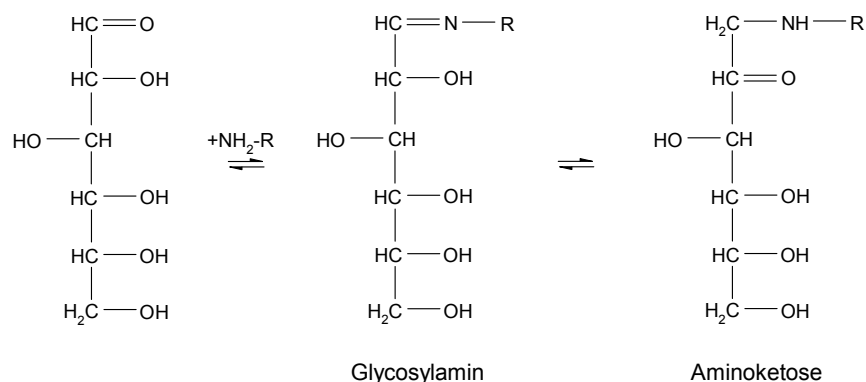


Abbildung 12: Bildungsweg von Amadori-Verbindungen

- b) Wird die Hitzebelastung weiter aufrechterhalten, bilden sich in der fortgeschrittenen Phase (Intermediate oder Advanced Stage) aus den Amadori-Verbindungen Desoxyosone (Abbildung 13).

Diese sind sehr reaktiv und viele haben reduzierende Eigenschaften (Reduktone). Welches Desoxyoson bevorzugt entsteht hängt vom pH-Wert und der Eigenschaft der Aminokomponente als Protonenakzeptor oder -donator ab. [49, 80] Alternativ werden Amadori-Verbindungen auch unter Metallkatalyse und Bildung aktiver Sauerstoffspezies durch Autoxidation zu  $\alpha$ -Dicarbonyl-Verbindungen abgebaut. [144]

Durch verschiedene Reaktionen (z. B. Zyklisierung, Wasserabspaltung) können die  $\alpha$ -Dicarbonyl-Verbindungen zu zahlreichen N-, O- und S-heterozyklischen Molekülen und kurzkettigen Dicarbonylen wie Diacetyl umgebaut werden. [191, 193] Die Art der entstehenden Produkte wird durch den in das Desoxyoson eingebauten Zucker beeinflusst, da sich die Reaktionswege bei Monosacchariden grundlegend von denen der Di-, Oligo-

und Polysaccharide unterscheiden [114, 115, 132, 139, 204] und auch unterschiedliche Wege für Pentosen und Hexosen bekannt sind. [80, 158] Die mit den Zuckern reagierenden Aminosäuren sind z. T. ebenfalls maßgeblich für die Struktur der gebildeten Heterozyklen verantwortlich. So entstehen beispielsweise schwefelhaltige Heterozyklen aus Cystein, während Pyrrole, Pyridine und Pyrrolidine aus Prolin und Pyrimidine aus Arginin entstehen (siehe auch Abbildung 3). [108, 143, 193, 249, 251, 252]

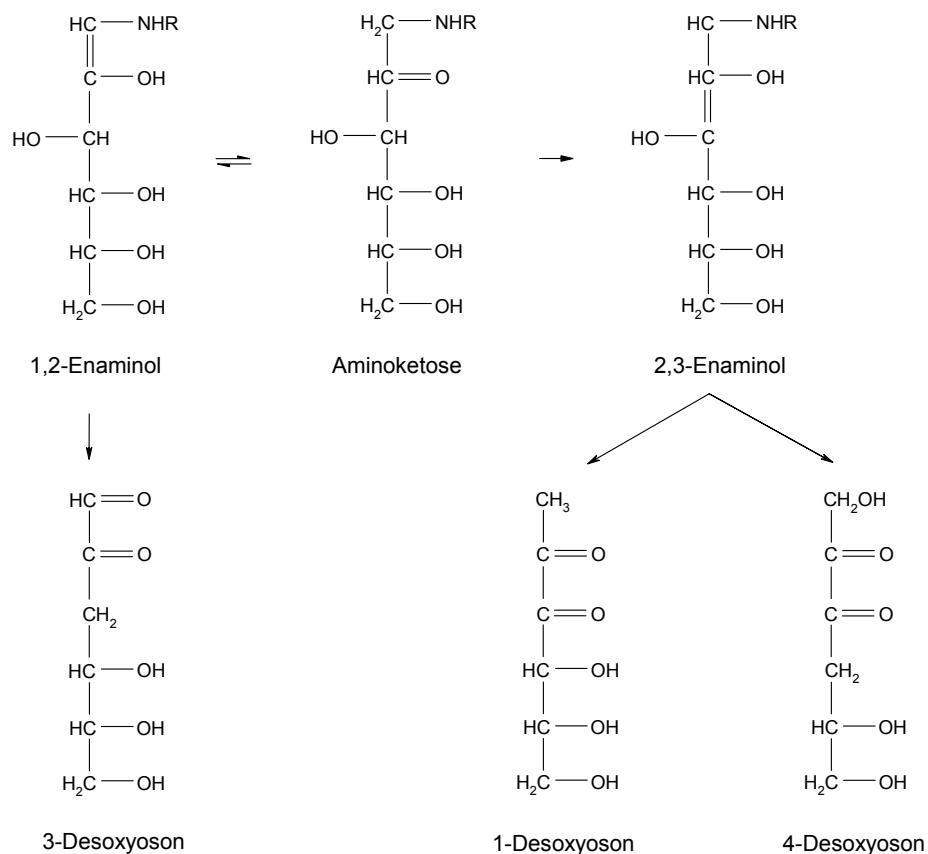


Abbildung 13: Bildung von Desoxyosonen

Ein weiterer Reaktionsweg der  $\alpha$ -Dicarbonyl-Verbindungen erfolgt in Kombination mit Aminosäuren: der Strecker-Abbau (Abbildung 14). Dieser führt unter Decarboxylierung und Transaminierung zu  $\alpha$ -Aminoketonen und Strecker-Aldehyden (Tabelle 3) und tritt bei höheren Aminosäurekonzentrationen und höheren Temperaturen auf. [22, 49, 244, 277]

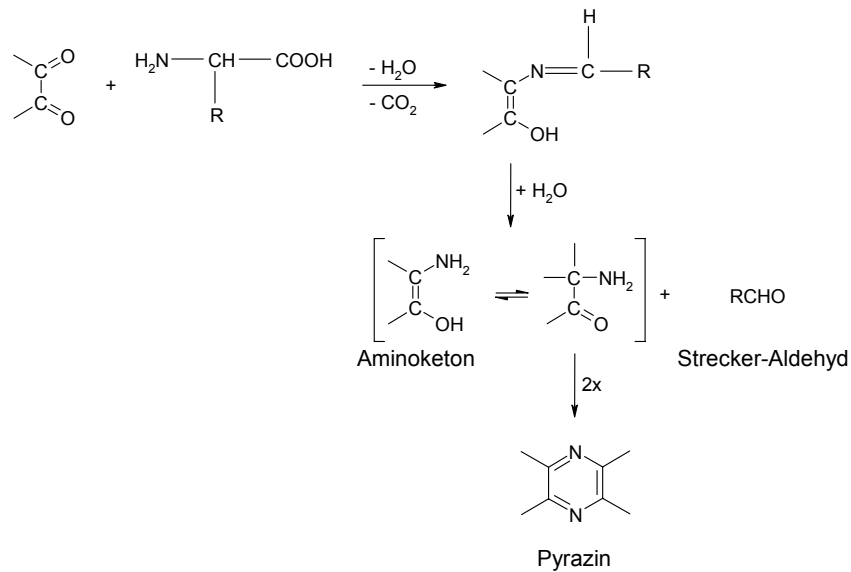


Abbildung 14: Strecker-Abbau

Strecker-Aldehyde sind sehr reaktiv und meist aromaaktiv. [12] Sie sind die wichtigsten Aromastoffe, die für den Off-Flavour in gealtertem Bier verantwortlich gemacht werden. [136]

Aus den gebildeten  $\alpha$ -Aminoketonen können durch Kondensation Pyrazine gebildet werden, die jedoch erst bei Temperaturen von über 100 °C entstehen und aus diesem Grund erst in höher abgedarrten Malzen oder Röstmalzen verstärkt auftreten. [80, 154]

Tabelle 3: Aminosäuren und daraus entstehende Strecker-Aldehyde

Aminosäure	Strecker-Aldehyd
Glycin	Formaldehyd (Methanal)
Alanin	Acetaldehyd
$\alpha$ -Aminobuttersäure	Propanal
Valin	2-Methylpropanal
Leucin	3-Methylbutanal
Isoleucin	2-Methylbutanal
Serin	2-Hydroxyethanal
Threonin	2-Hydroxypropanal
Methionin	3-Methylthiopropenal
S-Methylmethionin	2-Propenal
Cystein	2-Mercaptoacetaldehyd, Acetaldehyd
Phenylglycin	Benzaldehyd
Phenylalanin	2-Phenylethanal
Tyrosin	2-(p-Hydroxyphenyl)ethanal

- c) In der Endphase (Final Stage) der Maillard-Reaktion werden braune Verbindungen (Melanoidine) gebildet, die das Resultat von Polymerisationsreaktionen verschiedener Maillardprodukte sind, die in der zweiten Phase der Maillard-Reaktion gebildet werden. [144, 161] Die Struktur der Melanoidine ist weitgehend unbekannt, es liegen jedoch mehrere Strukturvorschläge vor (siehe Kapitel 2.1.2).

Neben dem oben beschriebenen Ablaufschema ist es auch möglich, dass Polyphenole und Lipidabbauprodukte an der Maillard-Reaktion teilnehmen. Polyphenole reagieren dabei mit Aminosäuren unter Bildung von Amino-Carbonyl-Verbindungen. Durch Kondensationsreaktionen entstehen aus diesen nach Abspaltung von Strecker-Aldehyden braune, stickstoffhaltige Polymere ähnlich dem Strukturvorschlag für Melanoidine. [118, 120, 136] Durch Oxidation von Lipiden werden ebenfalls Aldehyde gebildet, die auf einem Maillard-typischen Weg zu Heterozyklen wie z. B. Pyrazinen weiterreagieren können. [108, 206, 270]

### 2.3.2 Einflussfaktoren auf die Maillard-Reaktion

Das Reaktionsschema der Maillard-Reaktion ist, wie aufgezeigt, sehr komplex. Auf mehreren Wegen entstehen verschiedenste Produkte. Welcher Weg eingeschlagen wird und welches Molekül dabei gebildet wird, hängt von den Reaktionsbedingungen ab. [271]

Tabelle 4: Reaktivität der Einzelzucker und Aminosäuren

	Zucker	Aminosäure	
↑ Reaktivität	Ribose	Lysin, Tryptophan, Glycin, Tyrosin	↑ Reaktivität
	Arabinose		
	Xylose	Alanin, Valin, Prolin, Leucin, Isoleucin, Phenylalanin, Methionin, Asparagin, Glutamin	
	Galaktose		
	Mannose		
	Fruktose	Histidin, Arginin, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Serin, Threonin, Cystein	
	Glukose		

Der Art und der Konzentration der Reaktanden kommt, wie bereits erwähnt, eine Schlüsselrolle zu, welcher Reaktionsweg beschritten wird. Wichtig ist dabei nicht nur die Kettenlänge (Mono-, Di-, Oligo- oder Polysaccharid) der Zucker und die Anzahl der Kohlenstoffatome pro Zuckereinheit, sondern auch die Reaktivität der Einzelzucker (Tabelle 4). [20, 94, 95] Ein ähnlicher Einfluss kommt der reagierenden Aminosäure zu. Abhängig von der Aminosäure, die die Maillard-Reaktion durchläuft, ist die Reaktivität unterschiedlich und bilden sich verschiedene Produkte. [49]

Ein wichtiger Faktor, durch den die Maillard-Reaktion beeinflusst werden kann, ist der Wassergehalt bzw. die Wasseraktivität ( $a_w$ ). [22] Die maximale Reaktionsgeschwindigkeit für Bräunungsreaktionen liegt bei  $a_w$ -Werten zwischen 0,6 und 0,7 (Abbildung 15). [22]

Dieses Maximum ist dadurch zu erklären, dass bei zu niedriger Wasseraktivität die Mobilität der miteinander reagierenden Moleküle eingeschränkt ist und dadurch die Reaktionsgeschwindigkeit sinkt. Bei zu hohen  $a_w$ -Werten sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit ebenfalls ab, da die Verdünnung zu groß ist und eine längere Zeitspanne vergeht, bis sich die Reaktionspartner „finden“. [193] Ein Auftreten einer Bräunung während des Mälzungsprozesses kann erst unter einer relativen Feuchte von 5 % festgestellt werden. [53]

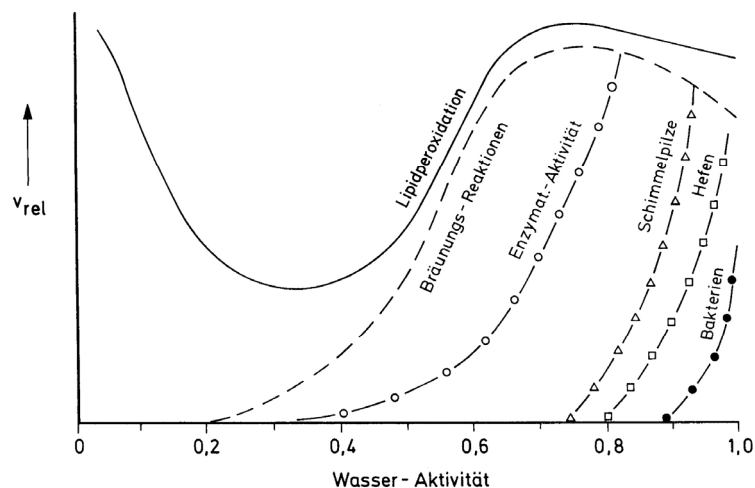


Abbildung 15: Einfluss des  $a_w$ -Wertes auf die Reaktionsgeschwindigkeit

Durch Einstellen des pH-Wertes wird der Reaktionsweg mitbestimmt. [15, 29] Bei niedrigerem pH verläuft die Reaktion bevorzugt über das 1,2-Enaminol, während höhere pH-Werte die Bildung des 2,3-Enaminol begünstigen (Abbildung 13). [204] Die Reaktionsgeschwindigkeit ist am niedrigsten im sauren Bereich und findet ihr



Maximum bei pH 10. Bei niedrigen pH-Werten sind die Aminokomponenten weniger reaktiv gegenüber Reaktionspartnern, weil die Aminogruppen protoniert sind. Die verminderte Reaktionsgeschwindigkeit bei zu hohem pH ist auf den Mangel an H<sup>+</sup>-Ionen zurückzuführen. [49] Die antioxidative Aktivität ist ebenfalls durch den pH-Wert beeinflusst, wobei der pH-Wert mit der höchsten Wirksamkeit wiederum von den beteiligten Reaktionspartnern abhängt. [147, 266]

Zusätzlich bestimmen die Prozessdauer und -temperatur den Ablauf der Maillard-Reaktion. Je länger und höher die Hitzebelastung ist, desto mehr Maillard-Produkte werden gebildet. [55, 160, 168] Eine Temperaturerhöhung um 10 °C resultiert dabei in einer zwei- bis dreifachen Reaktionsgeschwindigkeit. [47] Die spezifische Bildung von heterozyklischen Maillard-Produkten konnte um das 2–3fache gesteigert werden, indem die Temperatur von 200 auf 250 °C erhöht wurde. [196]

Dadurch dass Zwischenprodukte an andere Substanzen gebunden werden, ist eine Kontrolle der Maillard-Reaktion möglich. SO<sub>2</sub> und Thiole inhibieren die Maillard-Reaktion, indem sie sich mit Carbonylen verbinden, die dann für eine Weiterreaktion nicht mehr zur Verfügung stehen und somit keinen Off-Flavour mehr ausbilden können. [143, 162, 193] Weitere Inhibitoren der Maillard-Reaktion durch Abfangen von α-Dicarbonyl-Verbindungen sind Pyridoxamin [5] oder Aminoguanidin [35, 36, 212]. Der Zusatz des letztgenannten führt zu einer gehemmten Entstehung von Alterungsaromen im Bier und resultiert in einer erhöhten Geschmacksstabilität des Bieres infolge einer Abfangreaktion mit dem α-Dicarbonyl. Als Folge des Aminoguanidinzusatzes wurde eine leicht adstringierende Bittere, jedoch keine Veränderung des Bier-Flavours festgestellt. [36] Im Gegensatz dazu konnte eine Beschleunigung der Bräunungsreaktionen durch Phosphat- und Carboxylat-Ionen beobachtet werden. [218]

#### **2.4 Bedeutung der Maillard-Produkte in der Malz-, Würze- und Bierbereitung**

Bier enthält etwa 1,5–3,4 g Melanoidine pro Liter [142, 217], die meist negativ geladen sind. [47, 50] Das Molekulargewicht dieser farbgebenden Melanoidine ist umso höher, je dunkler ein Malz ist. [38, 50] Beim Maischen können rund 38 mg α-Dicarbonyl-Verbindungen pro 100 g Malz gefunden werden. Als Hauptkomponente

dieser  $\alpha$ -Dicarbonyl-Verbindungen wurde das Glukoson entdeckt. Vom 3- und 1-Desoxyoson, die über Enolisierungs-Reaktionen entstanden sind, wurde etwa dieselbe Menge wie vom Glukoson nachgewiesen, wobei das 1-Desoxyoson eine untergeordnete Rolle spielt. [144] Durch verschiedene Reaktionen reagieren diese Zwischenprodukte u. a. zu geruchsaktiven Heterozyklen und auch zu Strecker-Aldehyden weiter.

Während der Malz- und Bierbereitung, speziell während des Darr- und Kochprozesses, kommt es infolge der Hitzebelastung zu Zufärbungsreaktionen. Diese Bräunungsreaktionen sind nicht-enzymatischer Natur. Durch sie entstehen zahlreiche (stabile und instabile) Zwischenprodukte, angefangen von Amadori-Verbindungen über Strecker-Aldehyde bis hin zu den Melanoidinen. Im Laufe des Bierbereitungsprozesses reagiert nur ein geringer Anteil der Aminosäuren und Zucker in der Maillard-Reaktion. Diese Menge reicht jedoch aus, den Biercharakter und die Biereigenschaften stark zu beeinflussen. [116] Da sie das Aroma, den Geruch und die Farbe beeinflussen, werden sie häufig in Form von Spezialmalzen eingesetzt, um spezielle Biertypen herzustellen. Darüber hinaus beeinflussen sie das Bier, indem sie z. B. einen Beitrag zur Schaumstabilisierung liefern oder eine antioxidative Aktivität aufweisen.

#### 2.4.1 Flavour

Der Begriff des Flavours umfasst hauptsächlich den Geruch und den Geschmack der verkosteten Probe, jedoch sind auch der Tast- und der Hörsinn am Gesamteindruck beteiligt. [193] Geruchs- und Geschmackstoffe können verschiedene Zwecke erfüllen. [61] Einerseits verleihen sie dem Bier den typischen Geruch und Geschmack, andererseits ist es möglich, den Original-Flavour zu maskieren. Durch geschickten Einsatz von Spezialmalzen oder gezielt eingesetzter Technologie ist es zudem möglich, Geschmackseindrücke zu verstärken, zu komplettieren oder zu modifizieren. [104]

Im Allgemeinen sind die Geruchsschwellenwerte viel niedriger als die dazugehörigen Geschmacksschwellenwerte, wobei es auch viele Substanzen gibt, die nicht zum Flavoureindruck beitragen. Da die Geruchsschwellenwerte in der Regel niedriger sind, ist der Gesamtaromaeindruck meist durch flüchtige Substanzen dominiert. [193]

Durch die Maillard-Reaktion entstehen viele flüchtige Aromakomponenten [110, 197], die in drei Gruppen eingeteilt werden können. [194] Zum einen sind dies einfache Zuckerabbauprodukte wie z. B. Furane, Carbonyle oder auch Säuren. Weitere Aromastoffe wie (Strecker-)Aldehyde und Reaktionsprodukte schwefelhaltiger Aminosäuren ( $H_2S$ ) sind der Gruppe der Aminosäurenabbauprodukte zuzurechnen. Die dritte Gruppe umfasst flüchtige Aromastoffe wie Heterozyklen, die durch Weiterreaktion entstanden sind. Diese flavour-aktiven Substanzen sind sehr unterschiedlich in ihrem Aufbau. Sie besitzen allerdings die Gemeinsamkeit, dass alle ein Molekulargewicht von weniger als 300 Da besitzen [61] und zum Charakter von Malz und Bier beitragen. [38]

Maillard-Produkte sind aber nicht nur für ein angenehmes Bieraroma verantwortlich, sondern auch für die Produktion von Off-Flavour. [137, 161, 222] Ob ein Geruch oder Geschmack als Off-Flavour betrachtet wird, hängt bei Bier auch vom Biertyp ab. Während ein malziges, ins brotartige übergehendes Aroma im hellen Bier als störend oder gealtert empfunden wird, gilt es im dunklen Bier als typisch und erwünscht. [76] Strecker-Aldehyde sind sehr aromaaktiv und zählen daher zu den Hauptaromakomponenten. Ihr Flavour wird selten als angenehm bezeichnet und wird mit steigender Kettenlänge unangenehmer. [101] Speziell in hellen Bieren wird ihr Aroma mit dem Auftreten von Alterungsnoten in Verbindung gebracht. [64] Die aromaintensivsten, für einen Off-Flavour verantwortlichen Substanzen sind die Strecker-Aldehyde 2-Methylpropanal, 2- und 3-Methylbutanal und Phenylethanal. [136, 275] Der Aromaeindruck von Strecker-Aldehyden ist sehr vielfältig und reicht dabei von malzig, süß und fruchtig über blumig bis kartoffelartig. [108, 211]

Wichtige weitere Aromastoffe von Malz und Bier stellen auch stickstoff-, sauerstoff- und schwefelheterozyklische Verbindungen dar. [108] Sie entstehen in umso größerem Umfang, je höher ein Malz abgedarrt wird. [135, 180] Ihr Flavour kann sehr unterschiedlich sein. Während  $\gamma$ -Pyrone ein süßliches und karamellartiges Aroma haben [137, 178, 247], werden Stickstoff-Heterozyklen wie Pyrazine als nussig, röstaromatisch oder als crackerartig beschrieben [154, 161, 178, 248] und Thiazole mit altem Brot oder Getreide verbunden. [137]

Der Bier-Flavour ist einer ständigen Veränderung unterworfen. Diese Veränderungen sind auf verschiedene Reaktionen zurückzuführen, durch die flüchtige und nicht-flüchtige Substanzen generiert [69] und/oder auf solche, durch die bereits

bestehende Substanzen abgebaut werden, sodass diese nicht mehr sensorisch in Erscheinung treten. [187, 234] Alterungsrelevante Aromastoffe oder deren Vorläufer unterliegen bereits während der Malzlagerung einer Veränderung. Nach einer dreimonatigen Aufbewahrung eines dunklen Braumalzes konnte eine erhebliche Verbesserung der Geschmacksstabilität festgestellt werden. [77]

Als Ursache für die Ausbildung eines Alterungsgeschmacks werden oftmals Carbonyle verantwortlich gemacht. [94, 95, 184, 185] Ob ein Aroma als Alterungsnote oder Off-Flavour wahrgenommen wird, hängt, wie bereits erwähnt, vom Biertyp ab. Typische Alterungsaromen sind brenzlich, adstringierend, alkoholisch, metallisch und lakritz- oder lösungsmittelartig. [259, 261, 269] An anderer Stelle wird die Ausbildung weiterer Aromen wie Cardboard, beeren-, brot-, würze- und kartoffelartig oder malzig bis hin zu sherry- und whiskeyartigen Noten beschrieben. [14, 56, 179, 178, 250]

Bei dunklen Bieren werden diese Alterungsaromen oft durch einen sehr malzaromatischen Charakter maskiert. [263] Dieser Maskierungseffekt resultiert in einer erhöhten Geschmacksstabilität von dunklen Bieren. [45, 75, 211] Der Einsatz von Farbmalz führt jedoch zu wenig malzaromatischen Bieren und einer Verschlechterung der Geschmacksstabilität. [76]

#### 2.4.2 Farbe

Neben der Aromaausbildung ist die produzierte Farbe das auffälligste Charakteristikum der Maillard-Reaktion. [171]

Je nach Stufe der Reaktion werden durch sie farbige sowie farblose Reaktionsprodukte gebildet. [280] Das Absorptionsmaximum dieser Farbstoffe liegt bei Wellenlängen des sichtbaren Lichts zwischen 360 und 420 nm. [193] Die entstehende Farbe ist stark abhängig von der Prozesstemperatur und der Prozessdauer [170, 280], wobei auch die Reaktanden für das Ausmaß der Bräunung verantwortlich sind. So entsteht beispielsweise beim Einsatz basischer Aminosäuren oder von Glukose eine dunklere Farbe als durch andere Reaktionspartner. [94, 277]

Die Malz- und die Bierfarbe sind größtenteils Melanoidinen oder Produkten der Endphase der Maillard-Reaktion zuzuschreiben; frühe Maillard-Produkte sind farblos. [47, 193, 228] Die für die Bräunung verantwortlichen Maillard-Produkte

unterscheiden sich von Malz zu Malz stark hinsichtlich ihres Molekulargewichts. Die Braunstoffe des hellen Malzes sind meist niedermolekulare Substanzen bis 10 kDa. Farbstoffe von Karamellmalzen weisen Molekulargewichte zwischen 10 und 100 kDa auf, dagegen werden in Farb- und Röstmalzen und den daraus hergestellten Bieren Melanoidine über 100 kDa gefunden. [50, 53, 113] Die Bräunung während des Kochprozesses ist hauptsächlich verursacht durch die Amino-Carbonyl-Reaktion zwischen reduzierenden Zuckern und Aminosäuren, während Hopfeninhaltsstoffe und Polyphenole in einem geringeren Maße zu dieser Zufärbung beitragen. Die Maillard-Produkte, die im Sudhaus gebildet werden, erfahren im Laufe der Hauptgärung keine Entfärbung. Diese Aufhellung des Jungbieres ist farbigen Substanzen aus dem Hopfen zuzuordnen. [91] Für die während der Lagerung auftretende Zufärbung des Bieres sind ebenfalls Maillard-Produkte, nämlich Melanoidine mit niedrigem Molekulargewicht, verantwortlich. [92, 93]

### 2.4.3 Anti- und prooxidative Wirksamkeit

Die Entstehung von Maillard-Produkten hat ein erhöhtes Reduktionsvermögen zur Folge, aber nicht für alle Maillard-Produkte konnten antioxidative Eigenschaften nachgewiesen werden. [65] Je höher jedoch die antioxidative Aktivität des Malzes ist, desto höher ist sie auch im fertigen Bier. [221]

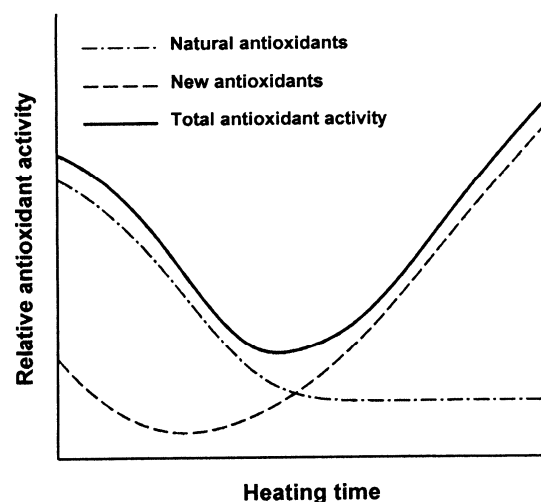


Abbildung 16: Veränderung der antioxidativen Aktivität durch Neubildung von Maillard-Produkten

Welches Ausmaß dieses erhöhte antioxidative Verhalten hat, hängt von mehreren Faktoren ab. Zum einen gibt es große Unterschiede in der Reaktivität und Ausbildung des antioxidativen Potentials zwischen den einzelnen Zuckern und Aminosäuren bzw. Peptiden, die zur Reaktion gebracht werden. Weitere Aspekte die hierbei berücksichtigt werden müssen, sind die Einsatzkonzentrationen der Reaktanden und die Eigenschaften der entstehenden Maillard-Produkte, sowie deren mögliche antioxidative Wirkmechanismen. [193] Außerdem ist die Prozessdauer von großer Bedeutung. Bei einer geringen Hitzebelastung (Maischen) kann aufgrund des Verlustes an natürlichen, beim Darren gebildeten Antioxidantien durch ständige Oxidationsprozesse oder die Bildung von Prooxidantien ein Rückgang des antioxidativen Potentials beobachtet werden. Bei genügender Hitzebelastung (Kochprozess) kann dieser Verlust durch die Neubildung von Maillard-Produkten der fortgeschrittenen Phase zumindest ausgeglichen werden (Abbildung 16). [189, 188] Der antioxidative Effekt hängt auch vom Molekulargewicht des Maillard-Produktes ab. Der größte antioxidative Effekt bei dunklem Malz wurde bei Molekulargewichten über 5 kDa festgestellt. [32, 46, 265] Maillard-Produkte mit niedrigen Molekulargewichten (< 1 kDa) zeigten eine geringere antioxidative Aktivität. [53, 103] Da diese höhermolekularen Melanoidine erst nach längerer Hitzebelastung entstehen, besteht zwischen dem Aroma bzw. der Farbe, die während einer thermischen Belastung gebildet werden, und der antioxidativen Aktivität ein enger Zusammenhang. Eine dunklere Farbe ergibt demnach einen stärkeren Aromaeindruck und auch eine höhere antioxidative Aktivität. [45, 156, 170, 275] Dieser Zusammenhang zwischen Farbe und antioxidativer Aktivität ist bei Malzen bis zu einer Farbintensität von etwa 400 EBC-Einheiten zu finden. Für Malze mit darüber hinaus gehenden Farben konnte kein weiterer Anstieg des antioxidativen Potentials gefunden werden. [49] Bei hellen Malzen dagegen liefern niedermolekulare Maillard-Produkte (Reduktone) den wichtigsten Beitrag zum antioxidativen Potential. [239, 275]

Über die Struktur der antioxidativ wirksamen Melanoidine ist wenig bekannt. Es konnte jedoch ein Strukturelement eines Melanoidins identifiziert werden, das sowohl in Malz, als auch in Bier zu finden ist [70] und darüber hinaus eine antioxidative Aktivität aufweist. [145] Das Pronyl-L-Lysin (I in Abbildung 17) entsteht durch eine Anlagerung des reaktiven Zuckerabbauprodukts Acetylformoin (II) an eine

$\epsilon$ -Aminogruppe eines proteingebundenen Lysins. [146, 231] Es folgt somit dem Strukturvorschlag aus Abbildung 4 für Melanoidine.

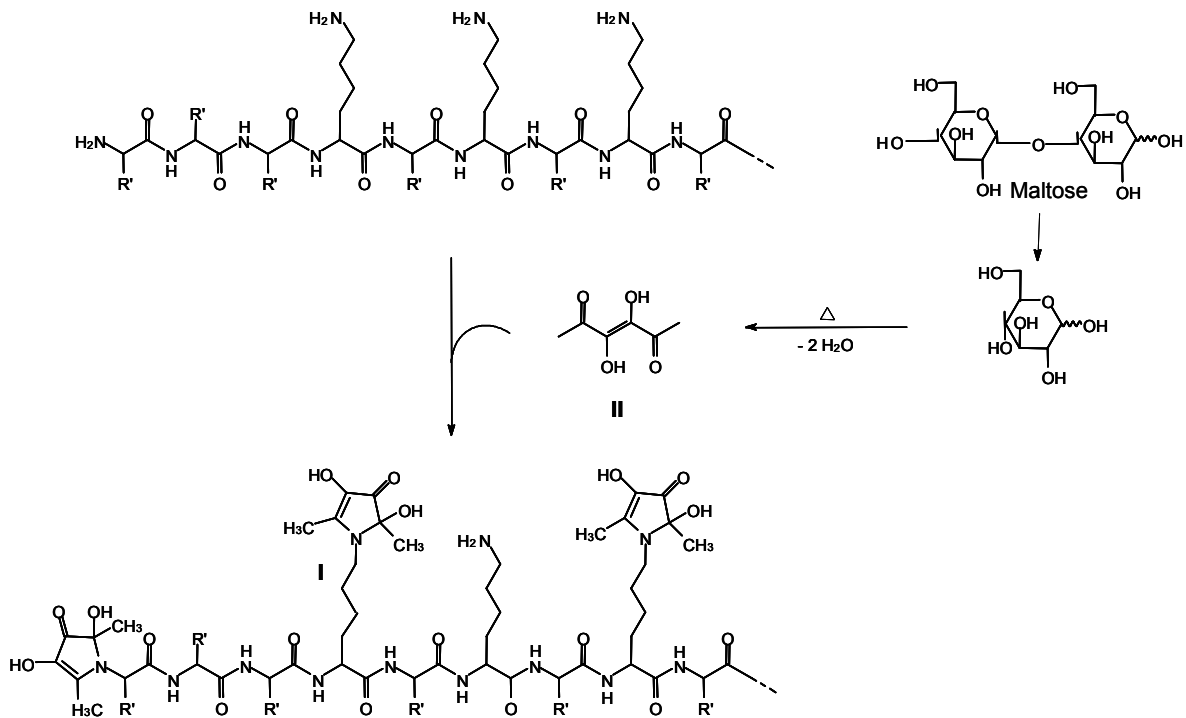


Abbildung 17: Bildung von Pronyl-L-Lysin

Wie bereits erwähnt (siehe Kapitel 2), können verschiedene Antioxidantien oder reduzierend wirkende Substanzen unter bestimmten Bedingungen (Konzentration, Anwesenheit von Sauerstoff oder Ionen von Übergangsmetallen) prooxidativ wirksam werden und dadurch Oxidationsreaktionen fördern. [3, 8, 84, 220, 222, 272] Prooxidantien definieren sich aufgrund ihrer Fähigkeit zur Förderung oder Erhöhung der Geschwindigkeit von Oxidationsreaktionen. [7] Auch im Laufe der Maillard-Reaktion gebildete Produkte können sowohl antioxidativ als auch prooxidativ wirksam sein. [7, 9, 63, 93, 92, 222, 272] Dies gilt speziell für frühe Maillard-Produkte vor der Amadori-Umlagerung, durch die freie Radikale generiert werden. [113, 174, 175, 205] Melanoidine niedrigen Molekulargewichts können als Prooxidantien agieren, indem sie höhere Alkohole oxidieren. [93, 92, 97] Die größte Reaktivität konnte in diesem Zusammenhang für die neutralen Aminosäuren und zuckerseitig für die Maltose und die Fruktose ermittelt werden. Bemerkenswerterweise verursachen die Melanoidine der Zucker, die am wenigsten zur Bräunung beitragen, keine Oxidation höherer Alkohole. [92, 93] Dabei agieren die Melanoidine als Wasserstoffakzeptoren und bilden Strecker-Aldehyde [98], die für die Ausbildung

eines Alterungsgeschmacks mitverantwortlich sind. [17] Auslöser dafür sind Maillard-Produkte mit einem Molekulargewicht von weniger als 1000 Da. Substanzen mit einem Molekulargewicht zwischen 1000 und 10000 Da weisen dagegen deutlich niedrigere prooxidative Aktivitäten auf. Bei der Herstellung von Modellmelanoidinen konnte beispielsweise Fruktose-Lysin-Melanoidinen ein prooxidatives Verhalten nachgewiesen werden [273], wobei dieses Verhalten auf die Carbonyl-Gruppen der Maillard-Produkte zurückgeführt wurde. [92] Neuere Arbeiten am Beispiel von [<sup>2</sup>H<sub>3</sub>]-markiertem Methionol zeigten jedoch auf, dass keine Oxidation höherer Alkohole und damit eine Rückbildung von Strecker-Aldehyden stattfindet. [136]

#### 2.4.4 Schaum

Die Schaumeigenschaften eines Bieres werden unterteilt in Schäumfähigkeit, Schaumstabilität und Schaumqualität. [54]

Mit der Schäumfähigkeit wird die Neigung eines Bieres zum Aufschäumen während des Einschenkens verstanden. Die Schaumstabilität hingegen bezeichnet das Aufrechterhalten einer Schaumkrone über eine bestimmte Zeit, während die Schaumqualität das Erscheinungsbild (z. B. Blasengröße, einheitliche Blasen) eines Schaums beschreibt.

Die Schaumeigenschaften werden durch Melanoidine, wenngleich in geringerem Umfang als durch Proteine, mitbestimmt. [6, 66, 193, 207] Die schaumstabilisierenden Maillard-Produkte entstehen wahrscheinlich beim Darren und werden durch das Malz in den Brauprozess eingebracht. [16, 52] Melanoidine spielen bei der Verbesserung des Schaums eine unterstützende Rolle, indem sie polare Komplexe mit Proteinen bilden und dadurch die Drainage des Schaums verringern und dem negativen Effekt von Lipiden entgegenwirken. [16, 122]

#### 2.4.5 Lipoxygenase, Polyphenoloxidase

Durch das Malz werden mehrere Substanzen in die Würze eingebracht, die prooxidative Wirkung haben. Ungesättigte Fettsäuren beispielsweise können durch



die Lipoxygenase (LOX) unter Bildung von Hydroxyfettsäuren oxidiert werden, woraus letztendlich Carbonyle entstehen, die an der Bieralterung beteiligt sind. [14] Durch die höhere Hitzebelastung ist die LOX-Aktivität in dunklem Malz um das zwei- bis sechsfache (je nach Abdarrdauer und -temperatur) niedriger als in hellem Malz. [48] Durch die Zugabe von 10 % Karamell- oder 2 % Farbmalz zur Schüttung konnte eine mehr als 50%ige Abnahme der LOX-Aktivität festgestellt werden. [232] Durch Maillard-Produkte kann auch die Aktivität der Polyphenoloxidase (PPO) gehemmt und damit die enzymatische Bräunung reduziert werden. Maillard-Produkte, die aus Glukose gebildet werden, zeigen dabei eine größere Inhibierungseffektivität als solche aus Fruktose. [26, 27] Als Inhibierungs-Mechanismus wird eine Metallkomplexbildung des Maillard-Produktes mit dem Kupfer-Ion des aktiven Zentrums des Enzyms diskutiert. [40]

#### 2.4.6 Hefe

Im Zuge der Maillard-Reaktion entstehen während des Darr- und/oder Kochprozesses 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) aus Hexosen und Furfural aus Pentosen. [143, 208] Diese Maillard-Produkte haben physiologische Effekte auf die Bierhefe (*Saccharomyces cerevisiae*), indem sie das Zellwachstum und den Gärungsprozess stark verringern. [238] HMF und Furfural werden während der aeroben und der anaeroben Phase durch die Hefe aufgenommen und in 5-Hydroxymethylfurfurylalkohol bzw. Furfurylalkohol abgebaut. [236, 237, 238] Furfurylalkohol bildet zusammen mit Ethanol Vorläufersubstanzen für die Bildung von Furfurylethylether, der ein lösungsmittelartiges Alterungsaroma in das Bier einbringt. [259, 260, 261]

#### 2.4.7 Textur, Mundgefühl

Auswirkungen von Maillardprodukten auf Lebensmittel und insbesondere auf das Bier wurden zahlreichen Untersuchungen unterzogen. Einem möglichen Einfluss von Maillard-Produkten auf die Textur wurde bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Ein ausgeprägter Unterschied im Mundgefühl kann beim Vergleich von Bieren aus dunklen und hellen Malzen festgestellt werden. [210] Melanoidine beeinflussen die Textur durch eine Quervernetzung von Proteinen im Rahmen der Maillard-Reaktion, indem mit steigendem Polymerisierungsgrad ihre Löslichkeit sinkt. [72, 193, 206]

## 2.5 Möglichkeiten zur analytischen Erfassung von Maillard-Produkten

Die Auswirkungen von Maillardprodukten auf Malz, Würze und Bier können auf verschiedene Arten bestimmt werden. Eine Möglichkeit stellt die sensorische Bewertung einer Probe dar (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beurteilungsmöglichkeiten bei der Sensorik

<b>Analysenmethode</b>	<b>Literatur</b>
DLG-Verkostung, frisch/forciert	[152, 167]
Alterungsverkostung	[64]
Farbe	
Textur	
Schaum	

Tabelle 6: Analysen zur Bewertung des Gehaltes an Maillard-Produkten in Malz, Würze und Bier

<b>Analysenmethode</b>	<b>Literatur</b>
Aromastoffe	[64, 152, 153]
Alterungsindikatoren	[64, 152]
(Koch-)Farbe	[167, 203]
TBZ	[28, 90, 167, 242]
N-Heterozyklen	[75, 135]
Schaum	[167]
Anilinzahl	[33, 243]
Absorptionsintegral	[130, 129]

Ein anderer Weg der Bewertung ist die analytische Aufnahme mehrerer Merkmale anhand verschiedener Methoden. Dies kann zum einen über eine direkte quantitative Bestimmung der Einzelsubstanzen geschehen, zum anderen auf indirektem Weg über Globalanalysen (summarische Analysen). Bei den Globalanalysen gilt es weiterhin zu unterscheiden zwischen Analysen, die zur allgemeinen Bewertung von

Malz, Würze und Bier dienen und solchen, durch die eine Wirksamkeit oder ein Effekt (antioxidativ, reduzierend) bewertet werden soll. Eine Auswahl dieser Analysen ist in den Tabellen 6 und 7 angeführt.

Tabelle 7: Analysen zur Bestimmung der antioxidativen Aktivität von Maillard-Produkten in Malz, Würze und Bier

<b>Analysenmethode</b>	<b>Literatur</b>
Lag-Time	[123, 257, 256]
antiradikalisches Verhalten (ARV)	[84, 83]
antiradikalisches Potential (ARP)	[84, 83]
Reduktionsvermögen	[58, 89, 167, 213]
Stabilitätsindex	[84, 83]
Elektrochemischer Indicator Time Test	[42, 229]
Chemilumineszenz	[124, 125]
Ferric reducing antioxidant power (FRAP)	[25, 215]
Total reactive antioxidant potential (TRAP)	[11, 215, 216, 275]
antioxidatives Potential (AOXP)	[39]
prooxidative Aktivität	[37, 255]

Da Maillard-Produkte durch mehrere Mechanismen auf Malz, Würze und Bier wirken können und es viele unterschiedliche Maillard-Produkte mit verschiedenen Wirkmechanismen gibt, sollte ihre Bewertung nie nur aufgrund einer einzelnen Analysenmethode erfolgen. [61] Vielmehr sollte vorher das zu analysierende System betrachtet und die Analysenmethode nach mehreren Gesichtspunkten ausgewählt werden: [81]

- Welche Aussage soll getroffen werden?
- Welche Wirkmechanismen besitzen die enthaltenen Maillard-Produkte?
- Gegen welche Inhaltstoffe schützen die enthaltenen Maillard-Produkte?
- Welche Substanzen werden oxidiert und welche inhibiert?
- Gibt es Wechselwirkungen mit anderen Inhaltstoffen?

Nur durch eine sinnvolle Kombination der ausgewählten Einzelanalysen ist es möglich, die Auswirkungen von Maillard-Produkten zu erfassen. Im Speziellen gilt das für die Aussagen zur antioxidativen Aktivität, da deren vielfältige Wirkmechanismen nur schlecht durch eine einzelne Analyse beschrieben werden

kann. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden zur Vorhersage der Geschmacksstabilität mehrere Analysemethoden entwickelt wie zum Beispiel der Stabilitätsindex [83], dessen Ergebnis sich aus vier Einzelanalysen errechnet. Der beste Weg zur Abschätzung der Geschmacksstabilität ist aber immer noch eine Verkostung des Bieres im frischen und im forciert gealterten Zustand.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Malzbereitung

##### 3.1.1 Eigenproduktion von Malzen

Der Großteil der selbst hergestellten Malze wurde nach dem Kleinmälzungsverfahren (Standardverfahren) der MEBAK-Analysenvorschriften produziert. [203] Ausgangsmaterial für diese Versuche war die zweizeilige Sommergerstensorte 5 der Ernte 2003 mit einem Rohproteingehalt von 11,5 %. Dabei wurde die Gerste bei 15 °C geweicht und unterschiedlich lange gekeimt mit einer maximalen Keimgutfeuchte von 45 %. Diese wurde durch zwei Nassweichen von je 5 h erreicht. Es wurde 24 h bei 50 °C geschwelkt und anschließend je eine Stunde bei 60 und 70 °C und 5 h bei 80 °C gedarrt. Vor der Weiterverarbeitung der verschiedenen Malze, schloss sich eine mindestens einwöchige Lagerung des Darrrmalzes an.

In mehreren Versuchen kam es zu Abweichungen von diesem Schema:

- a) Keimdauer: Für das Kapitel 4.1.1 wurde die Keimung nach 0,5 (bei Erreichen des maximalen Wassergehaltes), drei, fünf und sieben Keimtagen unterbrochen. Abgedarrt wurde wie oben beschrieben.
- b) Abdarrdauer und Abdarrtemperatur: Für die Malze, die in den Versuchen des Kapitels 4.1.2 Verwendung fanden, wurde das Weichen und Keimen nach einem Standardmälzungsverfahren (Kleinmälzung) durchgeführt.

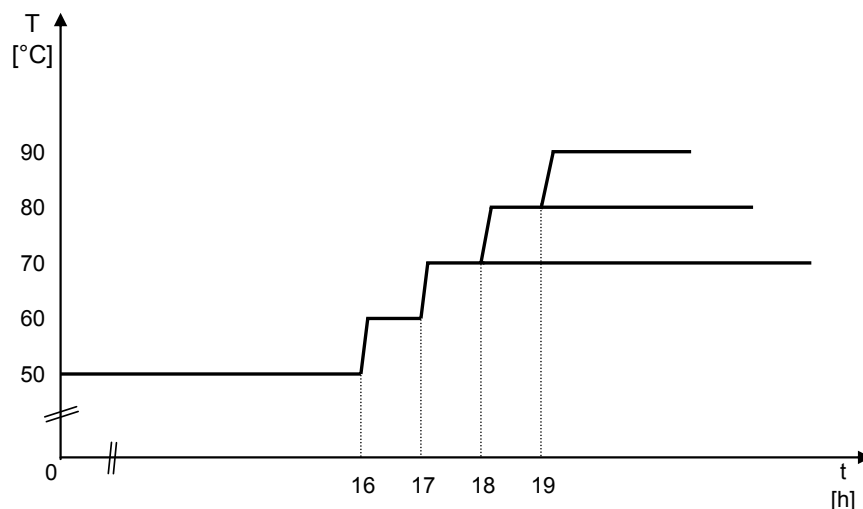


Abbildung 18: Darrschema der „Iso-TBZ“-Malze

Der Darrprozess wurde, wie in Abbildung 18 gezeigt, durchgeführt. Außerdem wurde die Abdarrdauer variiert und der Darrprozess auf jeder Temperaturstufe zu jeweils drei verschiedenen Zeitpunkten unterbrochen.

Probenahmezeitpunkte: 70 °C: 5,25 h, 10,5 h, 15,25 h

80 °C: 2,5 h, 5,0 h, 7,5 h

90 °C: 1,25 h, 2,5 h, 3,75 h

- c) „Iso-TBZ“ (Kapitel 4.6.5): Die Weich-, Keim- und Schwelkprozedur wurde nach Kleinmälzungsstandard durchgeführt. Die endgültige Abdarrtemperatur wurde erreicht, nachdem eine Stunde bei 60 °C gehalten und dann auf die jeweilige Abdarrtemperatur aufgeheizt wurde. Die Probenahme erfolgte bei jeder Temperaturstufe zu drei verschiedenen Zeitpunkten.

Eine Ausnahme bilden die Malze, die für die Kapitel 4.4.1 (Schrotfraktionen), 4.4.3 (pH-Wert der Maische) und 4.4.4 (Kochen) verwendet wurden. Diese Malze wurden so gemälzt, dass sie in die Spezifikation eines für Hoch-Kurz-Maischverfahren tauglichen Malzes [14] passten. Die Herstellung der Malze erfolgte in einer Keimstrasse nach dem System Lausmann.

Die Mälzungssysteme, die zur Herstellung der selbst produzierten Malze dienen, sind in der angegebenen Literatur beschrieben. [41]

### 3.1.2 Handelsmalze

Alle Handelsmalze, die im Zuge dieser Arbeit eingesetzt wurden, sind mit BM (Braumalz) oder KM (Karamellmalz) bezeichnet.

Tabelle 8: Beschreibung der Mälzungssysteme

Malzsorte	Mälzungssystem
1a	Keimdarrkasten (2-Horden-Darre), Darrzyklus 36 h, Abdarrtemperatur 85 °C, Verwendung von Rückluft, um CO <sub>2</sub> während der Keimung anzureichern
1b	1-Horden-Hochleistungsdarre, Darrzyklus 20 h, Abdarrtemperatur 85 °C
3	1-Horden-Hochleistungsdarre, Darrzyklus 20 h, Abdarrtemperatur 83 °C
5	1-Horden-Hochleistungsdarre, Darrzyklus 20 h, Abdarrtemperatur 83 °C
6	Keimtrommel, 200 kg Chargengröße, Abdarrtemperatur 78 °C
7	keine weiteren Daten verfügbar

Eine Ausnahme bilden die Malze, die für Kapitel 4.6.7 verwendet wurden. Sie wurden in verschiedenen Mälzungssystemen produziert, die in Tabelle 8 beschrieben sind. Die Weich- und Keimprozedur war ähnlich und betrug sieben Vegetationstage.

## 3.2 Würzebereitung

Zur Herstellung der verschiedenen Würzen kamen verschiedene Maischverfahren zur Anwendung, die im Nachfolgenden beschrieben sind. Während der Versuche wurden unterschiedliche Chargengrößen verwendet. Das Temperatur-/Zeitprofil war in allen Produktionsmaßstäben gleich, das Schüttungsverhältnis jedoch unterschiedlich (Kongressmaßstab 1 : 5, andere Chargengrößen jeweils 1 : 4).

Eine Ausnahme bildete die Standardmalzanalyse (Kongressmaisverfahren), die nach MEBAK ebenfalls in einem Schüttungsverhältnis von 1 : 4 eingemaischt wurde. [203]

### 3.2.1 Maischverfahren

#### Infusion 45, 52 und 62

Die Maischverfahren Infusion 45, 52 und 62 sind drei Infusionsmaisverfahren. Ihr Temperatur/Zeit-Profil ist in Abbildung 19 angegeben. Alle Würzeuntersuchungen sind, soweit nicht anders angegeben, auf Grundlage von Infusion 62 durchgeführt.

Bei der Herstellung von Bieren wurde das Maischprogramm Infusion 52 lediglich für die in Kapitel 4.6.2 beschriebenen Versuche verwendet. Allen anderen Bieren lag das Maischverfahren Infusion 62 zugrunde. Für die Sude, die in Kapitel 4.6.7 beschrieben sind, kam ebenfalls das Maischverfahren Infusion 62 zur Anwendung, jedoch in verkürzter Form. Die Rastdauer bei 62 °C betrug lediglich 35 Minuten, anstatt der in Abbildung 19 angegeben 45 Minuten.

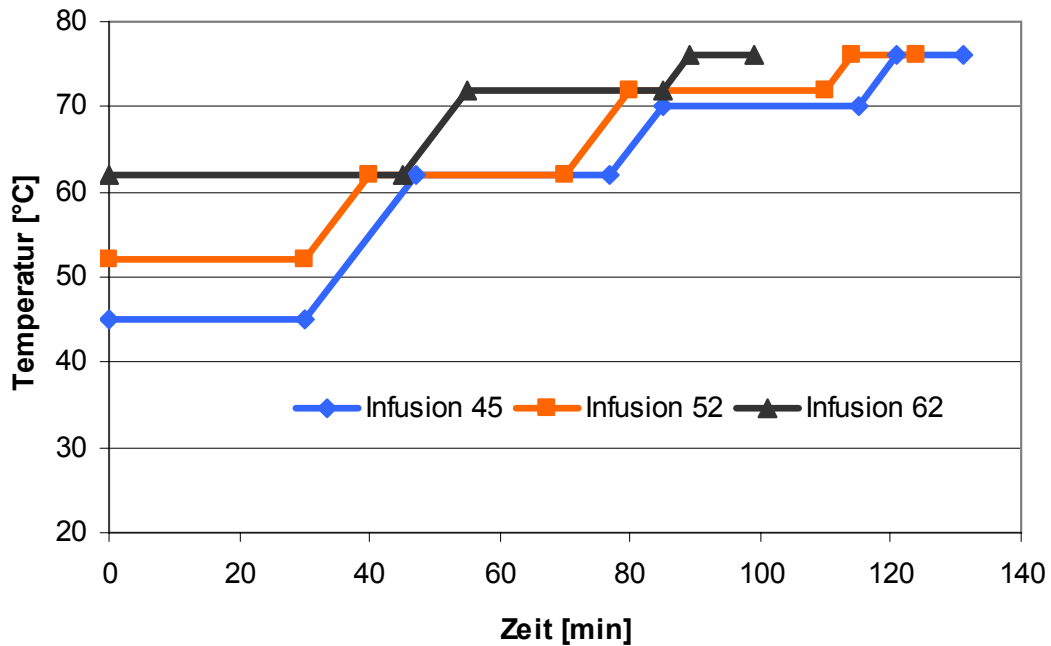


Abbildung 19: Temperatur/Zeit-Profil der Maischverfahren Infusion 45, 52 und 62

### Kongressmaisverfahren

Die Durchführung des Kongressmaisverfahrens erfolgte nach MEBAK, Band I, Abschnitt 4.1.4.2. [203]

### Malz-Kaltauszug:

Die Kaltauszüge wurden im Kongressmaßstab hergestellt. Dazu wurden im Kongressmaisbad 50 g Feinschrot mit 250 g  $H_2O_{dest.}$  bei 25 °C und einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 100 Upm gemischt. Die Maischdauer betrug 30 Minuten. Am Maischende wurde die Maische auf 20 °C abgekühlt und durch einen Faltenfilter filtriert.

### Fraktioniertes Maischen:

In Anlehnung an das Maischverfahren Infusion 62 wurde das Verfahren zum fraktionierten Maischen durchgeführt.

Dazu wurde eine Schrotsortierung durchgeführt und am Maischbeginn nur das Mehl und Pudermehl eingemischt. Die restlichen Fraktionen wurden, wie in Abbildung 20 dargestellt, im späteren Verlauf des Maischens zugegeben.



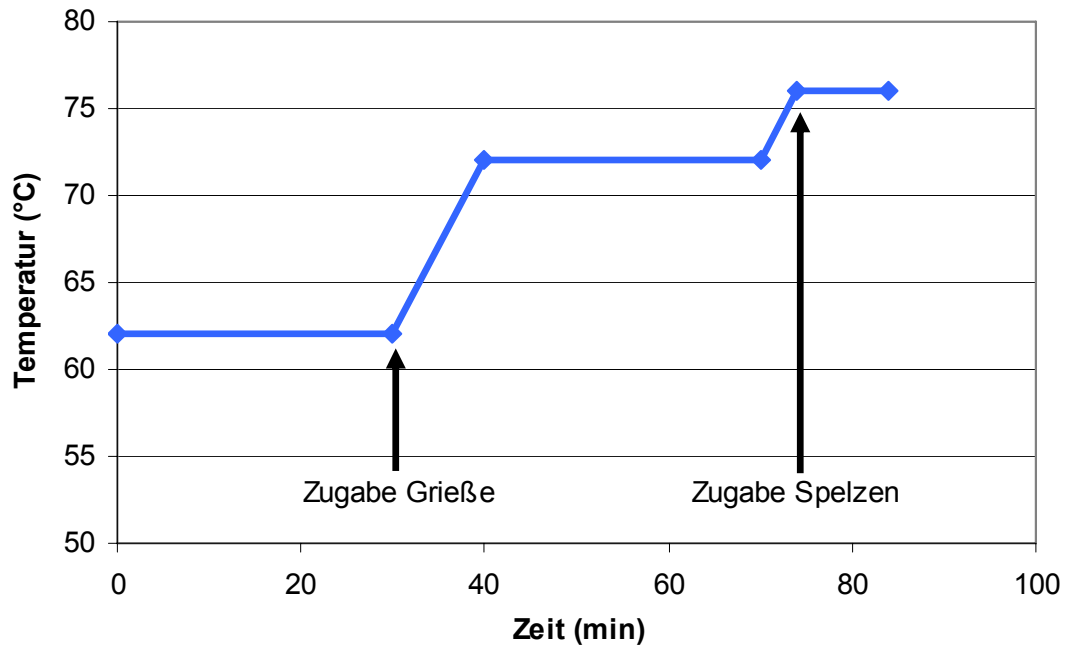


Abbildung 20: Maischverfahren mit Fraktionentrennung

### 3.3 Brauverfahren bei der Herstellung von Bieren

Alle Biere wurden im 10-l-Maßstab hergestellt, mit Ausnahme der Biere, die in Kapitel 4.6.7 beschrieben sind. Deren Produktion erfolgte im 50-l-Maßstab. Einen Überblick über die Produktionsschritte der verschiedenen Biere inkl. der Kapitelangabe ihrer Erwähnung gibt die Tabelle 9. Der Würzekochung erfolgte in allen beschriebenen Fällen atmosphärisch.

Tabelle 9: Überblick über die Prozessschritte der produzierten Biere mit Kapitelangabe

	4.4.3	4.4.4	4.6.2	4.6.3	4.6.4	4.6.5	4.6.6	4.6.7
HG/NG	1 : 1							
Kochung	70 min		90 min		75 min		90 min	70 min
Hopfengabe	10 Minuten vor Kochende							
Hopfen (Ziel: BE in Bier)	HPE, 5,9 % $\alpha$ -Säure, 25 BE		HPE, 5,9 % $\alpha$ -Säure, 20 BE		HPE, 8,0 % $\alpha$ -Säure, 25 BE			HTU, 16 % $\alpha$ -Säure, 22 BE
Whirlpoolrast	20 min							
Hauptgärung	7 Tage, 10 °C							10 Tage, 8 °C
Reifung	7 Tage, 16 °C		3 Tage, 16 °C		7 Tage, 16 °C		4 Tage, 16 °C	7 Tage, 16 °C
Lagerung	2 Wochen, 0 °C		2 Tage, 6 °C; 2 Tage, 4 °C; 10 Tage, 0 °C		3 Wochen, 0 °C			
Filtration	Schichtenfilter							
Abfüllung	Langrohrfüller CO <sub>2</sub> -Vorspülung und zweimaliger Vorevakuierung							

### 3.4 Maisch-, Läuter- und Kochsysteme

Die Herstellung der Würzen und Biere erfolgte in drei verschiedenen Produktionsmaßstäben.

Zur Evaluierung der Malze wurde unter Einsatz verschiedener Maischverfahren in Kongressmaisbädern gemischt. Sollten über die Pfannevoll-Würze hinausgehend Proben genommen werden, erfolgte die Produktion der übrigen Würzen (ab Pfannevoll-Würze) und Biere im 10- oder im 50-l-Maßstab. Die zur Würze- und Bierproduktion verwendeten Gefäße und Einrichtungen weisen eine gute Reproduzierbarkeit auf und sind unter [41] beschrieben.

### 3.5 Modelllösungen für spezifische Maillard-Reaktionen

Um den Beitrag von Aminosäuren und Zuckern zu verschiedenen Maillard-beeinflussten Analysenmerkmalen zu untersuchen, wurden Modelllösungen aus der Mischung von zwei Phosphatpuffern unterschiedlichen pH-Werts hergestellt (Puffer A: 0,05 M  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ -Puffer (pH-Wert  $\sim 9,0-9,2$ ), Puffer B: 0,05 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ -Puffer (pH-Wert  $\sim 4,3$ )). Der pH-Wert der Mischung aus beiden Puffern wurde auf pH 5,5 eingestellt. Um den Ausgangspunkt festzustellen, erfolgte eine Analyse der Modelllösung sofort nach dem Zusammenmischen (Probenbezeichnung: ungekocht). Die Modelllösung wurde 90 Minuten bei 104 °C in einem Glycerinbad gekocht, um eine Würzekochung zu simulieren, sofort abgekühlt und wiederum analysiert (Probenbezeichnung: gekocht). An die Kochung schloss sich eine viertägige Lagerung der restlichen, gekochten Modelllösung bei 50 °C an (Probenbezeichnung: gekocht, gelagert).

Die Reaktionen der einzelnen Zucker und Aminosäuren wurde in zwei Abschnitten untersucht. Im ersten Teil wurden die vier am höchsten konzentrierten Zucker der Würze mit jeweils einer Aminosäure gemischt, während im zweiten Teil des Experiments jeweils ein Zucker mit allen vorher untersuchten Aminosäuren versetzt wurde. Die Konzentration der Zucker und Aminosäuren, die der Modelllösung zugesetzt wurden, sind in den Tabellen 10 und 11 angegeben. Die Konzentrationen

entsprechen dabei den durchschnittlichen Zucker- und Aminosäurekonzentrationen der Würze. [141]

Tabelle 10: Art und Konzentration der eingesetzten Aminosäuren

Aminosäure	Konzentration (mg/l)
Leucin	208
Valin	146
Phenylalanin	145
Arginin	140
Alanin	134
Tyrosin	131
Lysin	130
Asparagin	109
Isoleucin	102
Serin	90
Glutaminsäure	84
Threonin	74
Asparaginsäure	72
Histidin	72
$\gamma$ -Aminobuttersäure	67
Glutamin	63
Methionin	44
Glycin	40
Tryptophan	21

Tabelle 11: Art und Konzentration der eingesetzten Zucker

Zucker	Konzentration (g/l)
Maltose	58,0
Glukose	8,5
Saccharose	4,0
Fruktose	2,0
Xylose	0,07
Arabinose	0,06
Ribose	0,05
Galaktose	0,04

### 3.6 Herstellung eines Modellmelanoidins

Ein zum Brauprozess zugesetztes Modellmelanoidin wurde an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster am Institut für Lebensmittelchemie hergestellt. Dazu wurden 160 g Glukose sowie 40 g Kasein mit 150 ml H<sub>2</sub>O vermischt und 60 Minuten einer Temperatur von 220 °C ausgesetzt.

## 3.7 Analysenmethoden

### 3.7.1 Chemisch-physikalische Analysen

#### 3.7.1.1 Klassische Gersten-, Malz-, Würze- und Bieranalyse

Eine Beurteilung der Maillard-Reaktion ist aufgrund der Vielzahl an Maillard-Produkten nur anhand von Globalanalysen möglich. Dies hat jedoch auch den Vorteil, dass zum Teil noch nicht identifizierte Substanzen ebenfalls erfasst werden. Maillard-beeinflusste, nasschemische Analysenmethoden sind die Messung des Reduktionsvermögens, der TBZ und der Farbe.

#### Reduktionsvermögen [58, 89, 167, 213]

Das Reduktionsvermögen erfasst alle in der Probenflüssigkeit vorliegenden, schnell reduzierenden Reduktone. Die langsam-reduzierenden Polyphenole werden im Rahmen dieser Analyse nicht berücksichtigt. Damit ist die Analyse des Reduktionsvermögens die einzige nasschemische Methode, die Aufschluss über das reduzierende Potential von Maillard-Produkten in Würze oder Bier gibt.

Dazu wird eine Flüssigkeitsprobe mit einer Menge Tillmanns-Reagenz (2,6-Dichlorphenol-Indophenol) versetzt. Nach 60 s Reaktionszeit wird die Entfärbung des Reagenzes spektralphotometrisch ermittelt und die prozentuale Entfärbung berechnet.

$$RV = 100 \times \left( 1 - \frac{E}{0,96} \right) \quad \text{Gleichung (7)}$$

mit E = Extinktion bei 520 nm

RV = Reduktionsvermögen

#### Thiobarbitursäurezahl (TBZ) [28, 90, 167, 242]

Die TBZ ist ein Maß zur Beurteilung der Hitzebelastung von Malz, Würze und Bier während des Produktionsprozesses. Dabei wird eine große Anzahl an Maillard-Produkten erfasst.

Das Analysenprinzip beruht auf einer Gelbfärbung der Probenflüssigkeit durch die Reaktion mit essigsaurer Thiobarbitursäurelösung. Die Extinktion dieser nach einer

Hitzebehandlung (70 °C, 70 min.) entstandenen Gelbfärbung wird bei 448 nm spektralphotometrisch gemessen.

$$\text{TBZ} = (E_H - E_L) \times 10 \times F \quad \text{Gleichung (8)}$$

mit TBZ = Thiobarbitursäurezahl  
 $E_H$  = Extinktion des Hauptwertes  
 $E_L$  = Extinktion des Leerwertes  
 10 = Umrechnungsfaktor  
 F = Verdünnungsfaktor

### Farbe [167, 203]

Da die Maillard-Reaktion eine Bräunungsreaktion darstellt, wird durch sie auch die Malz-, Würze- und Bierfarbe beeinflusst. Aus diesem Grund wird auch die Farbe zur Beurteilung der Maillard-Reaktion herangezogen.

Die Farbbestimmung erfolgt durch die spektralphotometrische Messung der Extinktion der Probenflüssigkeit bei einer Wellenlänge von 430 nm.

$$\text{Farbe} = E \times 25 \times F \quad \text{Gleichung (9)}$$

mit E = Extinktion bei 430 nm  
 25 = Umrechnungsfaktor  
 F = Verdünnungsfaktor

Alle weiteren Gersten-, Malz-, Würze- und Bieranalysen wurden nach den Analysenvorschriften der MEBAK-Bände I–III durchgeführt. [167, 202, 203]

#### 3.7.1.2 Antiradikalisches Potential

Zur Beurteilung der antiradikalischen Aktivität wurde die Abnahme des stabilen, freien Radikals 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) mittels Elektronenspinresonanz-Spektroskopie (ESR) verfolgt. [173]

#### 3.7.1.4 Chemilumineszenz

Zur Simulation des Einmischvorgangs und der damit verbundenen Oxidationsreaktionen wurde eine Messung der Chemilumineszenz angewendet. Die Probenvorbereitung und die Analysendurchführung erfolgten wie angegeben. [84]

#### 3.7.2 GC-Analysen

Die Variationskoeffizienten der GC-Analysen wurden durch eine 10fach-Bestimmung ermittelt. Die Werte für die Einzelanalysen schwanken zwischen 1 und 13 %. [105]

##### 3.7.2.1 Malz-, Würze- und Bieraromastoffe

Mit der Ermittlung der Malz- und Würze aromastoffe werden durch Wasserdampfdestillation flüchtige Produkte aus der Maillardreaktion, wie Strecker-Aldehyde, aber auch aromaaktive Lipidabbauprodukte bestimmt, die Indikatorfunktion z. B. für die thermische Belastung während des Abdarrens und des Würzekochens besitzen. Die Analyse der Bieraromastoffe erfasst Verbindungen, die schwererflüchtig sind und u. a. den physiologischen Zustand der Hefe widerspiegeln. Die Durchführung der Analysen erfolgte nach den lehrstuhleigenen Prüfverfahren GC015/06, GC005/05 und GC011/05. [64, 152, 153]

##### 3.7.2.3 Höhere Alkohole

Höhere Alkohole werden als Gärungsnebenprodukte während der Hauptgärung aus Aminosäuren gebildet. Die Bildung ist abhängig von der Heferasse, der Würzezusammensetzung und den Gärbedingungen. Aus diesem Grund lässt die Bildung der höheren Alkohole einen Rückschluss auf die Gärungsparameter zu. Die Analyse wird nach lehrstuhlinterner Vorschrift GC008/05 durchgeführt.

#### 3.7.2.4 Alterungsindikatoren

Die Bestimmung der Alterungsindikatoren im Bier erfolgt mittels Wasserdampfdestillation. Dabei werden flüchtige Verbindungen detektiert, die aufgrund einer Sauerstoff- und/oder Wärmebelastung während der Lagerung des Bieres signifikant ansteigen. Die Grundlage für die Durchführung der Analyse bildet die Prüfmethode GC007/05 des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I. [64, 152]

#### 3.7.2.5 Dimethylsulfid (DMS) in Malz, Würze und Bier

Höhere Konzentrationen an DMS ( $> 100 \mu\text{g/l}$ ) verursachen in Bier ein Fehl aroma, das an gekochtes Gemüse (Sellerie) erinnert. Aus diesem Grund ist es notwendig, DMS-Vorläufersubstanzen (SMM) in DMS umzuwandeln und freies DMS während des Würzekochens soweit auszutreiben, dass die Geschmacksschwelle nicht überschritten wird. Die DMS-Konzentration wird nach MEBAK bestimmt. [202]

#### 3.7.2.6 Pronyl-L-Lysin

Die quantitative Bestimmung des Pronyl-L-Lysins wurde an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster am Institut für Lebensmittelchemie durchgeführt. Die Probenvorbereitung und die entsprechende Durchführung der Analysen sind in verschiedenen Publikationen beschrieben. [145, 233]

### 3.7.3 HPLC-Analysen

#### 3.7.3.1 Bestimmung der vergärbaren Zucker

Die vergärbaren Zucker werden durch HPAEC/PAD analysiert. Es erfolgt eine Ionisierung der Kohlenhydrate mittels NaOH mit einer darauf folgenden Trennung an

einer Ionenaustauschersäule. Die Kohlenhydrate werden mittels Pulsamperometrie detektiert. [128] Die Variationskoeffizienten der Zucker wurden durch eine 10fach-Bestimmung ermittelt und sind in Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 12: Variationskoeffizienten der Zuckeranalyse

	Würze	Bier
Maltose	5,5	7,3
Glukose	5,3	9,3
Fruktose	6,4	-
Saccharose	5,3	12,8
Maltotriose	5,1	11,0
vergärbare Zucker	5,3	8,5

### 3.7.3.2 Ermittlung des Aminosäurespektrums

Aminosäuren sind im nativen Zustand polar und besitzen nur in wenigen Fällen UV-absorbierende Chromophore. Durch die Zugabe von Orthophtaldialdehyd (OPA) im Überschuss entstehen fluoreszierende Derivate, die an der HPLC aufgetrennt und mit einem Fluoreszenzdetektor detektiert werden. [166] Die Variationskoeffizienten der Aminosäuren sind in Tabelle 13 angeführt.

Tabelle 13: Variationskoeffizienten der Aminosäureanalyse

	Würze
Leucin	2,1
Valin	2,5
Phenylalanin	2,0
Arginin	0,7
Alanin	3,4
Tyrosin	2,0
Lysin	5,0
Asparagin	3,4
Isoleucin	2,4
Serin	13,7
Glutaminsäure	3,7
Threonin	3,2
Asparaginsäure	5,4
Histidin	3,8
$\gamma$ -Aminobuttersäure	2,1
Glutamin	13,6
Methionin	3,2
Glycin	8,1
Tryptophan	3,0
Gesamt	2,9



### 3.7.4 Sensorische Analysen

Die sensorischen Analysen der frischen und forciert gealterten Biere werden nach DLG-Schema verkostet. Zusätzlich erfolgt eine Alterungsverkostung der Biere.

Um eine Beurteilung der Geschmacksstabilität vornehmen zu können, werden die Biere einer künstlichen Alterung unterzogen. Dazu werden die Proben 24 Stunden geschüttelt und anschließend vier Tage bei 40 °C gelagert. Dadurch wird eine Alterung simuliert, die etwa einer natürlichen Alterung von drei Monaten entspricht. Die Verkostung nach DLG (Abbildung 21) wird mittels eines 5-Punkte-Schemas durchgeführt, wobei fünf Punkte die höchste Wertung bedeuten und eine Benotung in Halbnotenschritten zulässig ist. Die Alterung des Bieres wird anhand einer 4-Punkte-Skala bewertet. Dabei entspricht die Note 1,0 einem nicht gealterten Bier. Zusätzlich wird die Akzeptanz des Bieres bezüglich der Alterung angegeben. Dieser Wert stellt den subjektiven Eindruck eines Verkosters dar. Eine Akzeptanz von 100 % entspricht einem frischen Bier.

#### Verkostung nach DLG:

**Bewertung in Halbnotenschritten von 1 bis 5**

**Bitte Aromaeindruck angeben !**

Nr.	Probe	Geruch	Trunk	Vollm.	Rezenz	Bittere
A	A frisch	4,0	4,5	4,0	4,0	4,0
B	A forciert	3,0	3,0	4,0	4,0	3,5
C	B frisch	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
D	B forciert	2,5	2,5	3,5	4,0	3,5

#### Alterungsverkostung nach EICHHORN:

1 = frisch

2 = leicht gealtert

3 = stark gealtert

4 = extrem gealtert

**Die Akzeptanz  
bezieht sich nur auf  
die Alterung des  
Bieres!**

Nr.	Probe	Geruch	Trunk	Bittere	Akzeptanz [%]						
					100	80	60	40	20	0	
A	A frisch	1,0	1,0	1,0	x						
B	A forciert	2,0	2,5	2,0			x				
C	B frisch	1,0	1,0	1,0	x						
D	B forciert	3,0	3,0	2,5						x	

Abbildung 21: Muster eines Verkostungsschemas für DLG- und Alterungsverkostung mit Werten

Die Ergebnisse der DLG- und Alterungsverkostung werden wie folgt berechnet:

$$\text{gewichtete Note DLG-Verkostung} = \frac{2 \times \text{Geruch} + 2 \times \text{Trunk} + \text{Vollmundigkeit} + \text{Rezenz} + 2 \times \text{Bittere}}{8}$$

Gleichung (10)

$$\text{gewichtete Note Alterungsverkostung} = \frac{2 \times \text{Geruch} + 2 \times \text{Trunk} + \text{Bittere}}{5}$$

Gleichung (11)

### 3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der gewonnenen Analysendaten wurde unter Zuhilfenahme der Computerprogramme Microsoft Excel 2003 und WinSTAT für Microsoft Excel Version 1999.2 durchgeführt.

#### 3.8.1 Mittelwert

Der Mittelwert einer Datenreihe dient als Orientierungs- oder Repräsentanzgröße. Dazu wird meist das arithmetische Mittel  $\bar{x}$  nach Gleichung (12) bestimmt: [87]

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Gleichung (12)}$$

mit  $\bar{x}_i$  = arithmetisches Mittel

$x_i$  = Wert eines unabhängigen Einzelergebnisses

$n$  = Anzahl der unabhängigen Einzelergebnisse

### 3.8.2 Streuungskennzahlen

Während der Mittelwert  $\bar{x}$  als Maß für die Richtigkeit Anwendung findet, werden Streuungsgrößen als Maß für die Präzision verwendet. Die am häufigsten benutzten Streuungskennzahlen sind die Standardabweichung  $s_x$  und die Varianz  $s_x^2$ . Der Vertrauensbereich um einen Mittelwert wird angegeben durch die Streuung des Mittelwertes. [87]

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \quad \text{Gleichung (13)}$$

$$\bar{x}_i \pm \frac{s \times c}{\sqrt{n}} \quad \text{Gleichung (14)}$$

mit  $\bar{x}_i$  = Mittelwert der Verteilung

$n$  = Anzahl der unabhängigen Einzelergebnisse

$x_i$  = Wert eines unabhängigen Einzelergebnisses

$s$  = Standardabweichung

$c$  = Faktor aus Tabelle der Student-t-Verteilung für den jeweiligen Freiheitsgrad  $f$

$f$  = die Anzahl  $n$  der Daten, verringert um 1

Da die Standardabweichung als alleinige Kenngröße zur Beschreibung der Präzision aufgrund der Nichtberücksichtigung des Mittelwertes ungeeignet sein kann, wird die Standardabweichung auf den Mittelwert bezogen und der Variationskoeffizient  $V$  errechnet. Der Variationskoeffizient stellt in der Statistik eine sehr wichtige und aussagekräftige Kennzahl zur Beschreibung einer Analyse dar. [87]

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \% \quad \text{Gleichung (15)}$$

mit  $V$  = Variationskoeffizient

$s$  = Standardabweichung

$x_i$  = Wert eines unabhängigen Einzelergebnisses

### 3.8.3 Regressionsanalyse

Bei einer Fragestellung, ob lineare Abhängigkeiten zwischen einem Variablenpaar  $x$  und  $y$  vorliegt, wurde mittels des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten  $r$  untersucht. Die Werte des Korrelationskoeffizienten können dabei zwischen  $-1$  und  $+1$  liegen, je nachdem, ob eine Gerade ab- oder aufsteigend ist. In Abhängigkeit der Freiheitsgrade  $f$  und der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  wird die Güte eines Korrelationskoeffizienten angegeben (Tabelle 14). [87]

$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Gleichung (16)}$$

mit  $r$  = Korrelationskoeffizient

$x_i$  = Konzentrationswert

$y_i$  = Signalwert

$\bar{x}$  = Mittelwert der Konzentrationswerte

$\bar{y}$  = Mittelwert der Signalwerte

Tabelle 14: Signifikanzniveau und Irrtumswahrscheinlichkeit

Signifikanzniveau	Irrtumswahrscheinlichkeit
$r^*$	$\alpha = 0,05$
$r^{**}$	$\alpha = 0,01$
$r^{***}$	$\alpha = 0,001$

### 3.8.4 Vergleich von Verteilungen

Um beim Vergleich von Mittelwerten verschiedener Sorten und Standorte signifikante Unterschiede zwischen denselben bewerten zu können, wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Aus den Verteilungen wird eine kritische Mittelwertsdifferenz berechnet, die mit den Mittelwerten verglichen wird. Wenn die Differenz zwischen zwei Mittelwerten größer ist als die berechnete Mittelwertsdifferenz, so liegt bei einem vorher gewählten Signifikanzniveau ein Unterschied zwischen den Mittelwerten vor (Abbildung 22). [24]

Kritische Mittelwertdifferenz: 9,5      **Signifikanz (p): 0,05**

Standort		E	D	I	B
	(Mittelwert)				
E	21,8	----			
D	22,9	nein	----		
I	25,9	nein	nein	----	
B	27,4	nein	nein	nein	----

↑      ↑      ↑  
Signifikanzwertung

Abbildung 22: Ausgabemaske der Varianzanalyse

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Einfluss der Malzbereitung auf die Bildung von Maillard-Produkten

Der erste Verarbeitungsschritt der Gerste, bei dem eine Hitzebelastung gegeben ist und somit die Maillard-Reaktion in verstärktem Maße ablaufen kann, ist die Malzbereitung. Ausgangsmaterial für die Versuche zur Malzbereitung war die Gerstensorte 5 der Ernte 2003 mit einem Rohproteingehalt von 11,5 %. Die Mälzung erfolgte in Anlehnung an das Kleinmälzungsverfahren nach MEBAK.

#### 4.1.1 Keimdauer

Um den Einfluss der Keimdauer auf die Bildung von antioxidativen Melanoidinen (Pronyl-L-Lysin) und deren Vorläufersubstanzen aus der Maillard-Reaktion zu untersuchen, wurde der Keimprozess in verschiedenen Stadien unterbrochen und das Grünmalz abgedarrt.

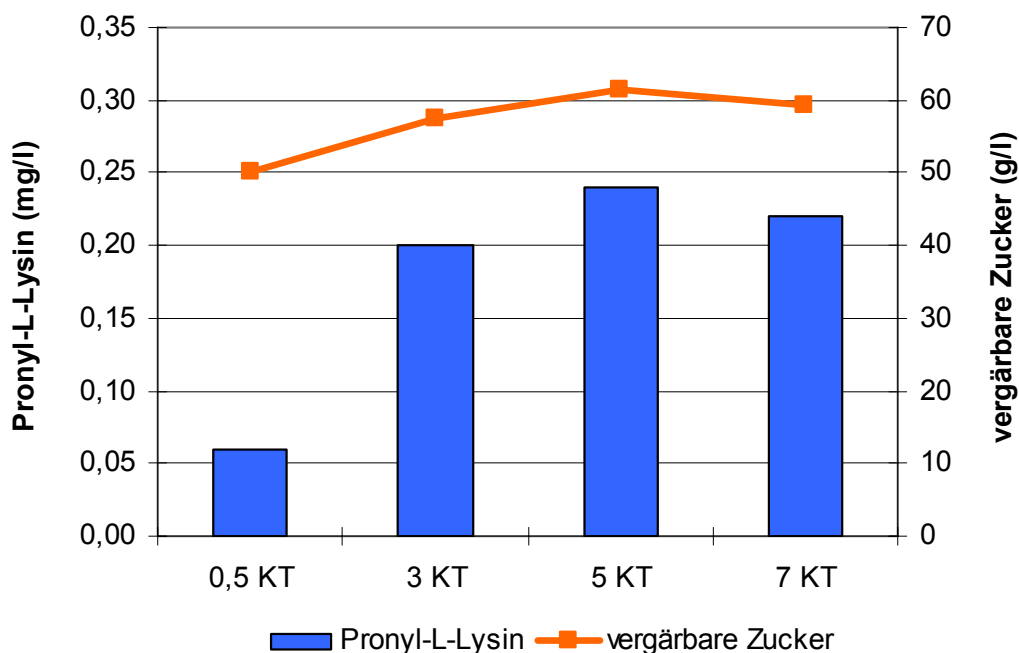


Abbildung 23: Einfluss der Keimdauer auf den Pronyl-L-Lysin-Gehalt

Der Pronyl-L-Lysin-Gehalt der abgedarrten Gerste beträgt 0,01 mg/l und steigt, wie in Abbildung 23 zu sehen ist, mit fortschreitender Keimdauer auf einen Maximalgehalt von 0,24 mg/l nach fünf Keimtagen an. Durch eine weitere Verlängerung der Keimdauer steigt der Pronyl-L-Lysin-Gehalt nicht mehr weiter an, sondern unterliegt einem leichten Rückgang.

Da bekannt ist, dass reduzierende Zucker Vorläufersubstanzen bei der Bildung von Pronyl-L-Lysin darstellen, wurden die Mengen an vergärbaren Einzelzuckern in den Malzproben quantitativ bestimmt. Tabelle 15 zeigt die Menge dieser durch die Hefe verwertbaren Zucker, deren Konzentrationsverlauf dem des Pronyl-L-Lysins ähnlich ist. Dieselbe Entwicklung kann ebenfalls für die Aminosäuren gefunden werden. Auch hier ist ein Anstieg bis zum fünften Keimtag, mit einem darauf folgenden, leichten Rückgang nach sieben Tagen Keimzeit, festzustellen.

Tabelle 15: Einfluss der Keimdauer auf die vergärbaren Zucker

Zucker \ Keimtag	0,5	3	5	7
Fruktose	0,3	0,5	1,0	0,6
Glukose	3,2	5,5	7,3	7,7
Saccharose	1,0	1,5	2,5	2,6
Maltose	40,3	42,9	41,7	40,6
Maltotriose	5,4	7,0	8,8	7,7
vergärbare Zucker	50,2	57,4	61,3	59,2

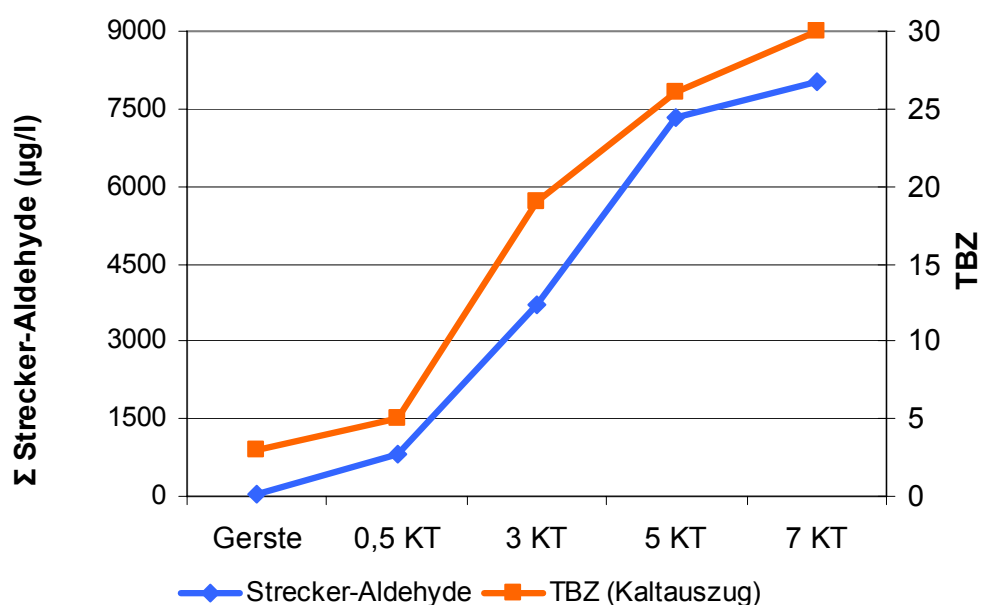


Abbildung 24: TBZ und Strecker-Aldehyde während der Keimung

Die Bildung von Produkten aus der zweiten Phase der Maillard-Reaktion geht einher mit einer fortschreitenden Lösung des Korns, was anhand des TBZ-Wertes des Kaltauszuges und der Analyse der gebildeten Strecker-Aldehyde über die Keimzeit dargestellt werden kann (Abbildung 24).

Ausgehend von niedrigen Werten, die in abgedarrter Gerste zu finden sind, steigen die TBZ und die Summe der Strecker-Aldehyde des abgedarrten Malzes durch die Keimung stark an. Die höchste Zunahme beider Größen ist dabei zwischen dem Erreichen des endgültigen Weichgrades und dem fünften Keimtag zu verzeichnen. Die Summe an Strecker-Aldehyden wird dabei klar vom 3-Methylbutanal dominiert, dessen Menge zum Teil zu mehr als 50 % zur Gesamtkonzentration beiträgt.

#### 4.1.2 Abdarrdauer und Abdarrtemperatur

Die Hitzebelastung des Malzes (Abdarrdauer, Abdarrtemperatur) spielt eine wichtige Rolle bei der Bildung von Maillard-Produkten. Dazu wurde das Grünmalz bei verschiedenen Temperaturen abgedarrt und der Darrprozess zu verschiedenen Zeitpunkten unterbrochen.

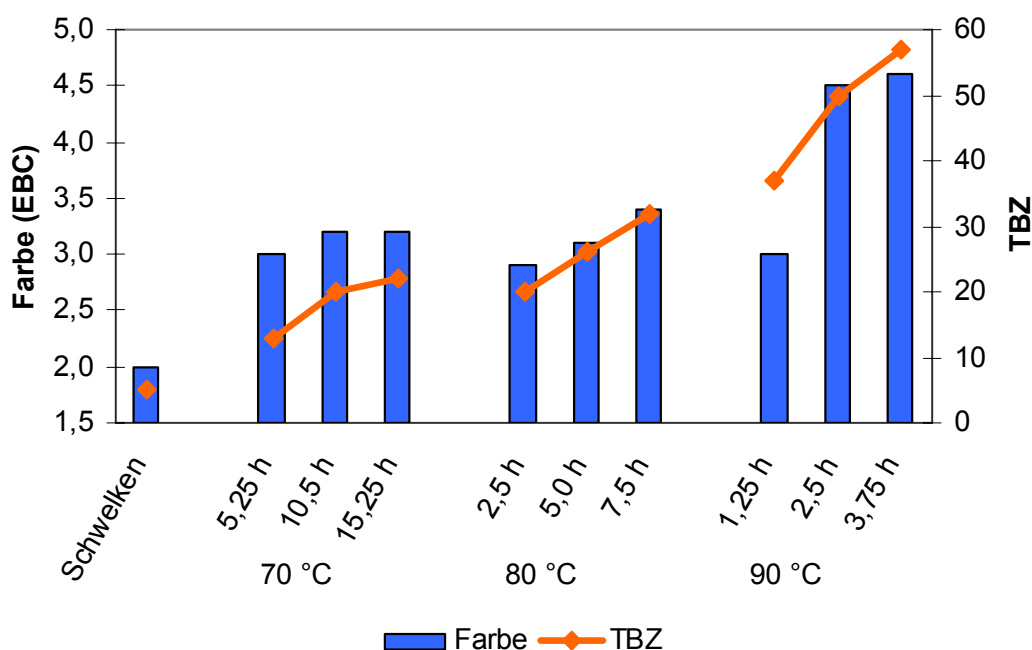


Abbildung 25: Farb- und TBZ-Bildung während des Darrprozesses



Wie in Abbildung 25 zu sehen ist, werden die niedrigsten Farb- und TBZ-Werte in der Probe gefunden, die nach dem Schwelkprozess entnommen wurde. Durch die im Laufe des Darrprozesses entnommenen Proben wird deutlich, dass eine steigende Darrdauer und eine gesteigerte Abdarrtemperatur in dunkleren Farben und einer höheren TBZ resultieren. Je höher die Abdarrtemperatur ist, desto steiler ist auch der Anstieg der TBZ. Während bei Temperaturen von 70 °C innerhalb von zehn Stunden zwischen der ersten und der letzten Probenahme die TBZ lediglich um neun Einheiten anstieg, konnte bei 90 °C innerhalb einem  $\frac{1}{4}$  dieser Zeit eine doppelt so hohe Zunahme festgestellt werden.

Gleichzeitig mit der Farbe und der TBZ steigen auch die Werte für die Kochfarbe und die Pronyl-L-Lysin-Konzentration an. Zwischen den Farben und dem Pronyl-L-Lysin (gezeigt am Beispiel der Kochfarbe in Abbildung 26) besteht ebenso wie zwischen dem Pronyl-L-Lysin und der TBZ ein hochsignifikanter Zusammenhang ( $\alpha = 0,001$ ).

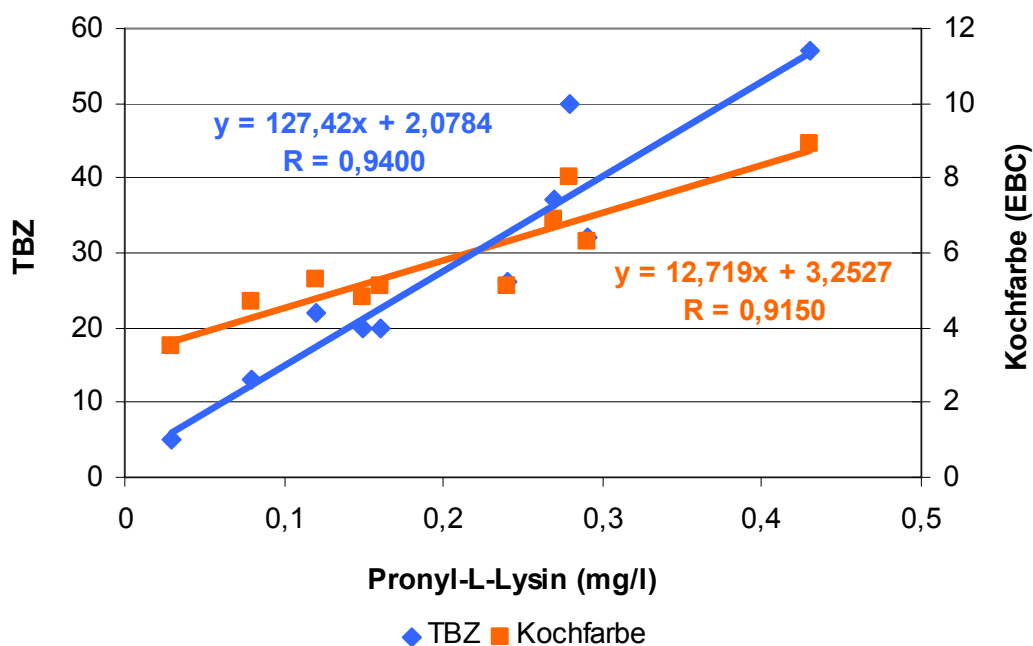


Abbildung 26: Korrelation zwischen der TBZ, der Kochfarbe und dem Pronyl-L-Lysin Gehalt.

Weitere Zusammenhänge werden beim Abgleich zwischen der TBZ und dem L-Glutamin bzw. der  $\gamma$ -Aminobuttersäure gefunden. Ein umso größerer Rückgang der beiden Aminosäuren kann beobachtet werden, je höher die Hitzebelastung und damit die TBZ ist (Abbildung 27). Aufgrund der zugrunde liegenden Anzahl an Proben ( $n = 10$ ) und den Korrelationskoeffizienten von 0,8866 bzw. 0,9093, die sich aus der

Konzentrationsabnahme der Aminosäuren errechnen, ergibt sich in beiden Fällen ein Signifikanzniveau von 99,9 %.

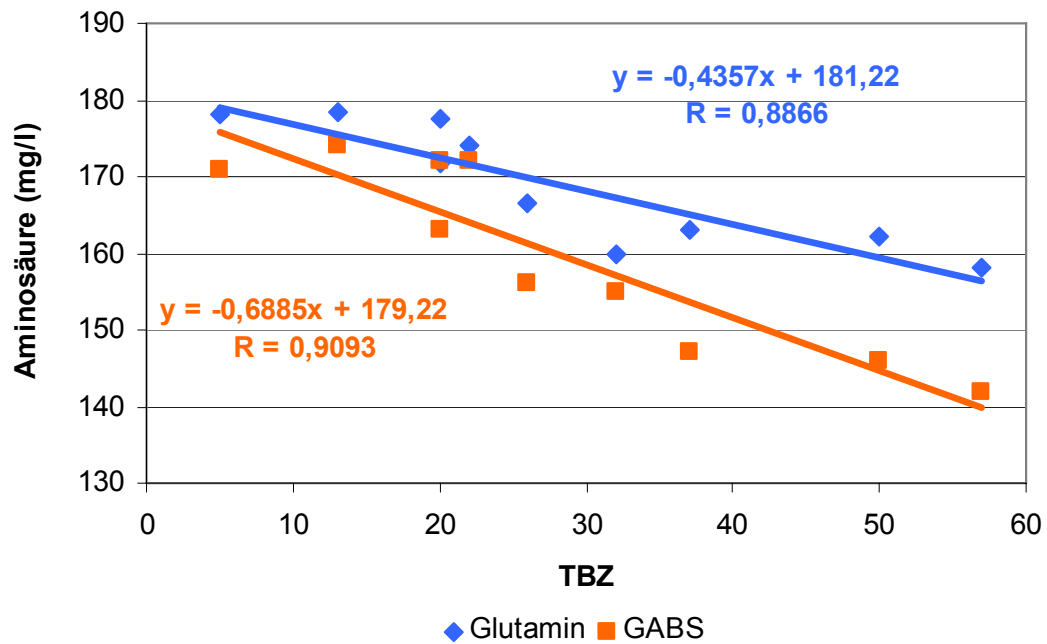


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Glutamin bzw.  $\gamma$ -Aminobuttersäure (GABS) und der TBZ

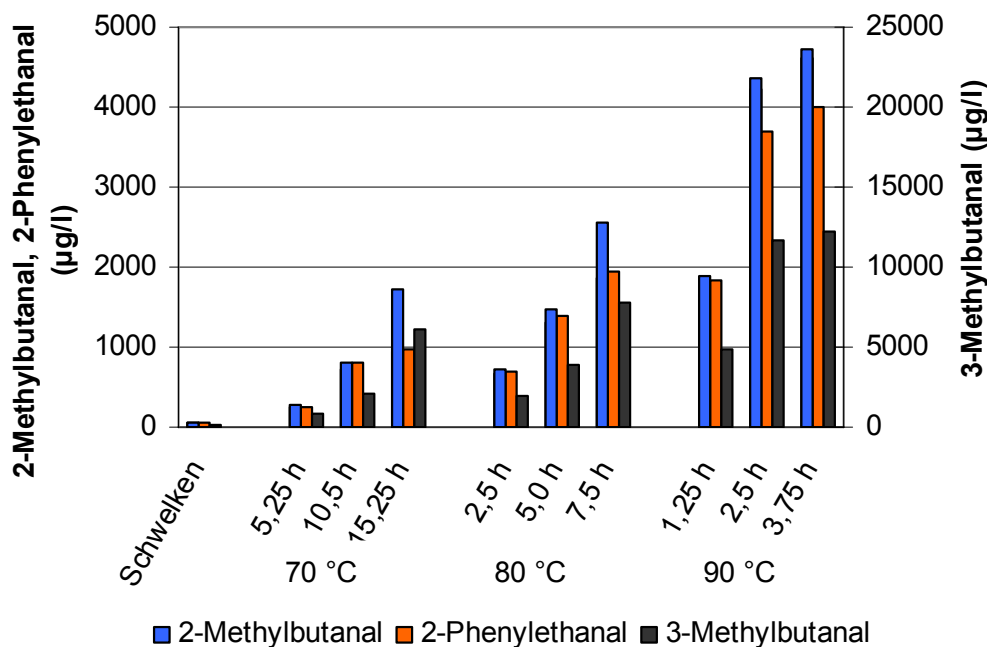


Abbildung 28: Entwicklung der Strecker-Aldehyde während des Darrprozesses

Mit dem Anstieg der Farbe, der TBZ und des Pronyl-L-Lysins ist mit steigender Abdarrdauer, aber auch mit steigender Abdarrtemperatur, ein Anstieg der Strecker-

Aldehyde verbunden. Die drei Aldehyde, die mengenmäßig den größten Anteil einnehmen, sind das 3-Methylbutanal, das 2-Methylbutanal und das 2-Phenylethanal (Abbildung 28). Dominierend ist jedoch das 3-Methylbutanal, das über 50 % der Gesamtsumme der analysierten Strecker-Aldehyde ausmacht.

Die Menge des ebenfalls analysierten Methional liegt bei Abdarrtemperaturen von 70 °C bei 6–10 % der Gesamtsumme der Strecker-Aldehyde. Wird die Abdarrtemperatur auf 80 °C oder mehr gesteigert, liegt dessen Anteil an der Summe der Strecker-Aldehyde konstant bei Werten von 10 %. Eine mengenmäßig gänzlich untergeordnete Rolle für die Summe der Strecker-Aldehyde spielt der Acetaldehyd mit Konzentrationsanteilen von weniger als 1 %.

#### 4.2 Einfluss von Standort und Sorte auf das Reduktionsvermögen von Malz

Witterungs- und standortbedingte Einflüsse, aber auch die Gerstensorte spielen eine wichtige Rolle im Hinblick auf die spätere Malz- und Bierqualität. Aus diesem Grund wurden sechs verschiedene Gerstensorten (Abbildung 29) aus acht unterschiedlichen Standorten (Abbildung 30) nach MEBAK-Standard (Kleinmälzung) vermälzt und die Malzkaltauszüge auf ihre Reduktionskraft hin untersucht.

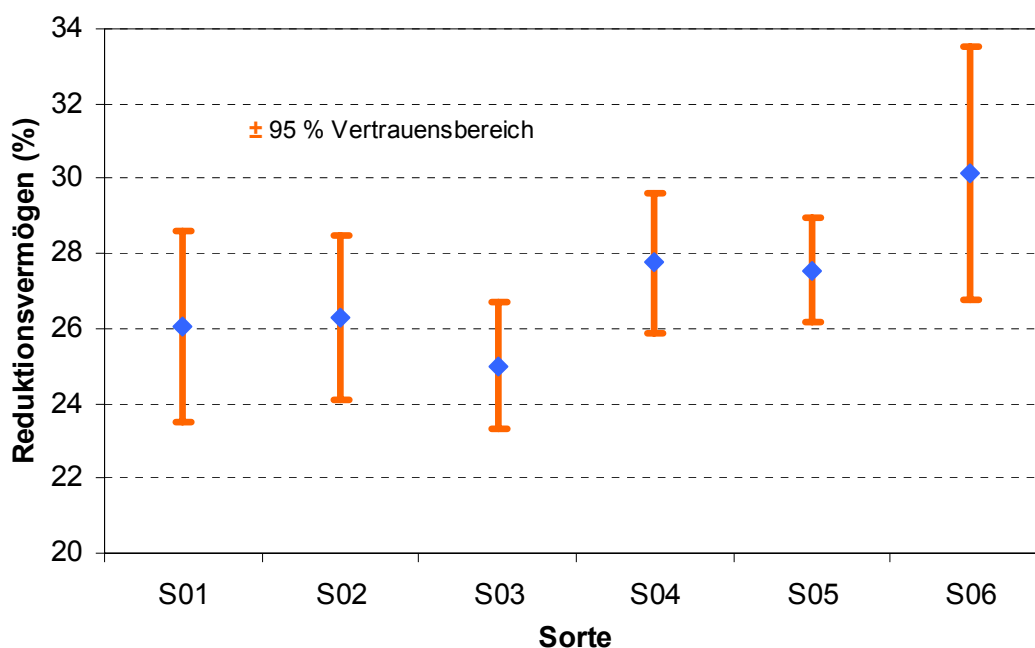


Abbildung 29: Reduktionsvermögen verschiedener Malzsorten

Beim Vergleich der Mittelwerte des Reduktionsvermögens über alle Malzsorten zeigen sich analytisch gesehen mit Ausnahme der Sorte 6, die tendenziell höher liegt, keine Unterschiede. Durch die Berechnung des 95 %-Vertrauensintervalls und die Durchführung einer Varianzanalyse kann bestätigt werden, dass zwischen den Sorten keine Unterschiede feststellbar sind. Eine Ausnahme stellt die Sorte 6 dar, die sich statistisch von der Sorte 3 unterscheidet.

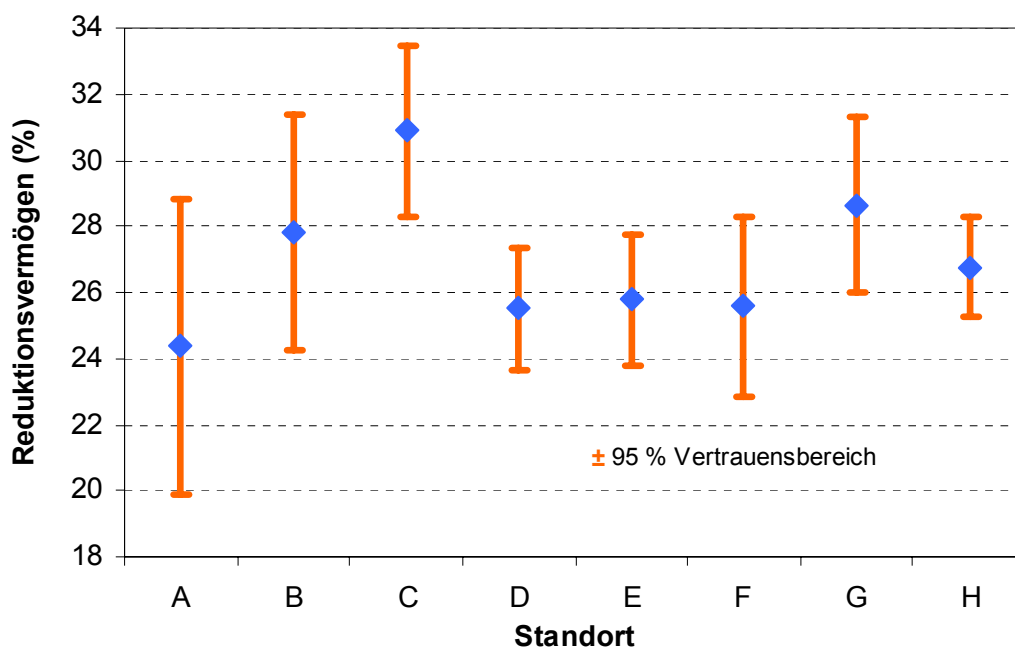


Abbildung 30: Reduktionsvermögen von Malz aus unterschiedlichen Gerstenanbaugebieten

Die Evaluierung mehrerer Anbaugebiete ergibt ebenso wie die Sortenuntersuchung lediglich tendenzielle Unterschiede der einzelnen Standorte. Die Unterschiede der Mittelwerte im Reduktionsvermögen für die verschiedenen Anbaugebiete sind zwar größer als bei der Sortenbetrachtung, anhand der Berechnung des 95%-Vertrauensbereichs kann aber gezeigt werden, dass sich die verschiedenen Standorte nicht voneinander unterscheiden. Lediglich Standort C weicht von diesem Schema ab und zeigt statistische Unterschiede zu den Standorten D, E und F.

### 4.3 Einfluss des Malztyps auf den Gehalt an Maillard-Produkten und das antioxidative Potential (Handelsmalz)

Durch die geeignete Auswahl von hellen und dunklen Brau- bzw. Spezialmalzen können unterschiedlichste Bierfarben und Biercharaktere erzeugt werden. Der Einfluss der verschiedenen Malze auf das Bier definiert sich dabei über seine Einsatzmenge und über die Malzeigenschaften.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Malzen liegen hauptsächlich in dem Ausmaß der Hitzebelastung während des Darrens begründet. Durch die Höhe der Abdarrtemperatur kann die Bildung bestimmter Aromakomponenten gesteuert werden. Unterschiede in den Malzen ergeben sich auch aus unterschiedlichen Keimverfahren. Die Steuerung der Proteolyse und der Amylolyse spielen in diesem Zusammenhang ebenfalls eine wichtige Rolle, da durch sie die Menge und die Art der Ausgangsstoffe für die Maillard-Reaktion festgelegt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass umso dunklere Farben zu erwarten sind, je höher die Hitzebelastung, ausgedrückt durch die Höhe der TBZ, ist. Dies gilt nicht nur bei der Herstellung heller Braumalze (Abbildung 25), sondern auch für die Produktion verschiedener Malztypen, wie z. B. für Karamellmalze (Abbildung 31).

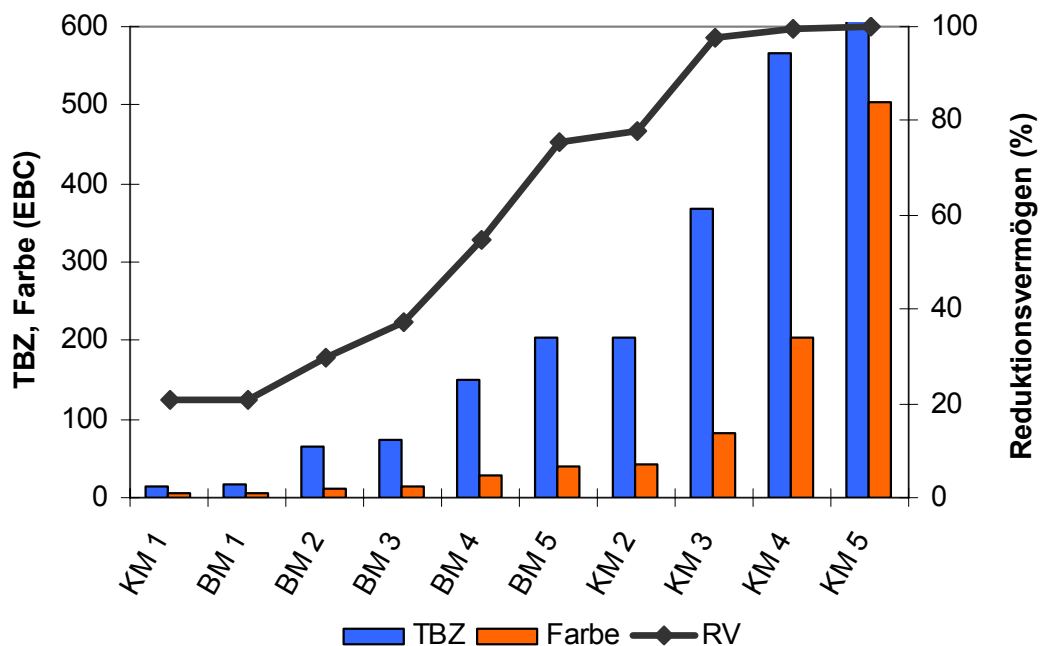


Abbildung 31: TBZ, Farbe und Reduktionsvermögen unterschiedlicher Malztypen im Kaltauszug

Mit dem Anstieg der TBZ und der Farbe kann zugleich ein Anstieg des Reduktionsvermögens beobachtet werden. Das Reduktionsvermögen wird ermittelt durch die Menge eines zur Probe zugegebenen Farbstoffes, die nach einer Zeitspanne nicht entfärbt (reduziert) worden ist. Bei zu dunklen Malzfarben können aufgrund der Höhe des Reduktionsvermögens und der Schnelligkeit der Entfärbung einzelne Proben nicht voneinander unterschieden werden, wodurch eine Probenbeurteilung unmöglich wird. Eine Verdünnung des Probenmaterials ist ebenfalls nicht möglich, da sich das Reduktionsvermögen nicht linear zur jeweiligen Verdünnung verhält, sondern logarithmisch mit der Stammwürze ansteigt. Aus diesem Grund ist die Analyse des Reduktionsvermögens nur bei Proben sinnvoll anwendbar, deren Farbwerte 65 EBC-Einheiten nicht überschreiten.

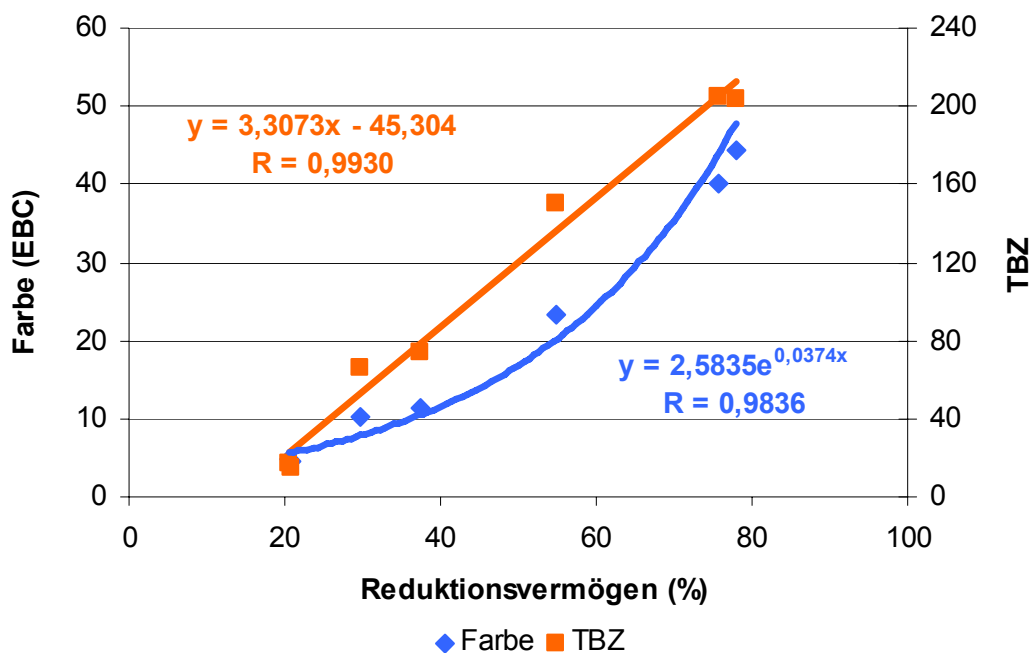


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Farbe, TBZ und Reduktionsvermögen

Dieser Umstand wird in Abbildung 32 berücksichtigt. Sie zeigt den Zusammenhang zwischen Farbe, TBZ und Reduktionsvermögen der Kaltauszüge verschiedener Brau- und Karamellmalze für Farben unter 65 EBC-Einheiten (in Abbildung 31 bis einschließlich KM 2). Dabei ergibt sich ein positiver linearer Zusammenhang von TBZ und Reduktionsvermögen mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R = 0,9836^{***}$ . Darüber hinaus kann hier ein exponentieller Anstieg der Farbe mit steigendem Reduktionsvermögen ermittelt werden.

Mit diesem Anstieg sind gleichzeitig höhere Konzentrationen an Malzaromastoffen feststellbar. In Tabelle 16 ist die Menge der Strecker-Aldehyde und des 2-Furfurals in ausgewählten Malzen aufgetragen. Hier wird deutlich, dass mit einer steigenden Farbe des Brau- und auch des Karamellmalzes eine Konzentrationserhöhung von Malzaromastoffen, die aus der Maillard-Reaktion stammen, einhergeht. Auffallend ist jedoch, dass die Bildung nicht nur von der Temperatur abhängt, sondern auch von den im Malz vorliegenden Ausgangsprodukten wie Aminosäuren und Zuckern und damit vom Produktionsverfahren des Malzes (Kapitel 2.3.2 und 4.1).

Tabelle 16: Vergleich einzelner Aromastoffe verschiedener Malztypen

Malzaromastoffe ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	BM 1	BM 2	BM 5
3-Methylbutanal	2088	12054	35754
2-Methylbutanal	693	4564	16860
Phenylethanal	671	2756	2429
Methional	Sp.	216	1863
Benzaldehyd	48	83	166
$\Sigma$ Strecker-Aldehyde	3500	19673	57072
2-Furfural	593	1314	3525

	KM 1	KM 2	KM 4
3-Methylbutanal	934	6735	36008
2-Methylbutanal	366	4185	32939
Phenylethanal	265	433	1140
Methional	Sp.	92	1323
Benzaldehyd	25	88	163
$\Sigma$ Strecker-Aldehyde	1590	11533	71573
2-Furfural	128	779	10844

Während das Braumalz 2 viel niedrigere Werte bezüglich der TBZ, der Farbe und des Reduktionsvermögens aufweist als Karamellmalz 2, konnten für das dunklere Braumalz weitaus höhere Konzentrationen an aromaaktiven Strecker-Aldehyden nachgewiesen werden. Beim Vergleich von Braumalz 1 und Karamellmalz 1, die bezüglich der in Abbildung 31 gezeigten Analysenergebnisse sehr ähnlich sind, fällt auf, dass die Maillard-spezifischen Malzaromastoffe in Karamellmalz 1 nur etwa die Hälfte des Braumalzes 1 betragen. Die Aromastoffkonzentrationen von Karamellmalz 4 liegen deutlich über denen von Braumalz 5, was aufgrund der in Abbildung 31 gezeigten Analysen zu erwarten ist. Die Unterschiede in der TBZ, der Farbe und dem Reduktionsvermögen sind jedoch weitaus größer als dies durch die Analyse der Malzaromastoffe deutlich wird. Lediglich anhand des 2-Furfurals wird die deutlich höhere Hitzebelastung widerspiegelt.

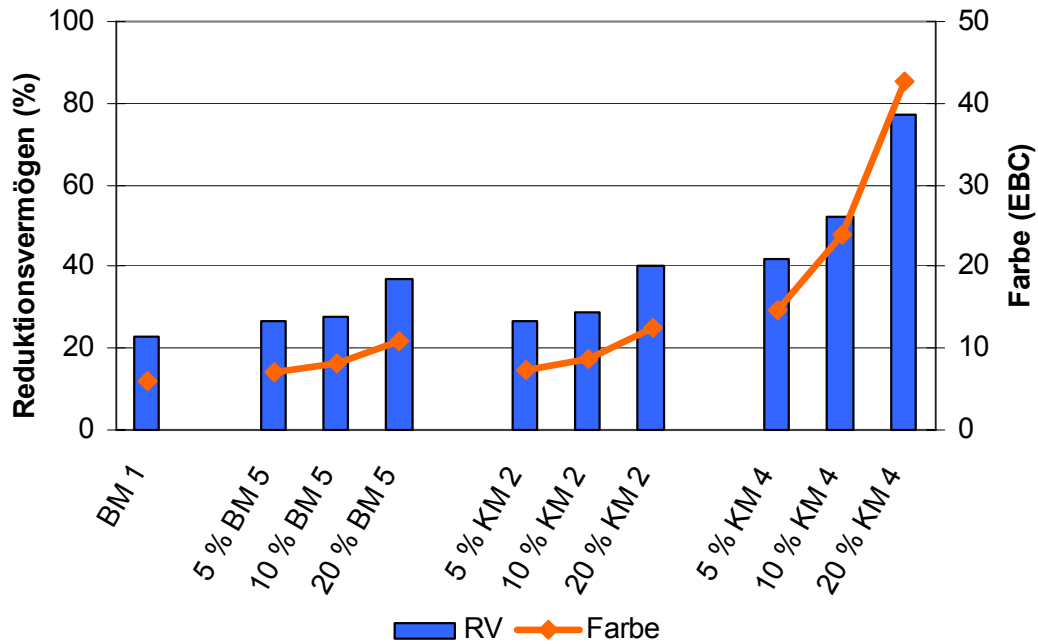


Abbildung 33: Veränderung des Reduktionsvermögens und der Farbe durch Zumischen von dunklem Malz unterschiedlicher Konzentrationen im KA

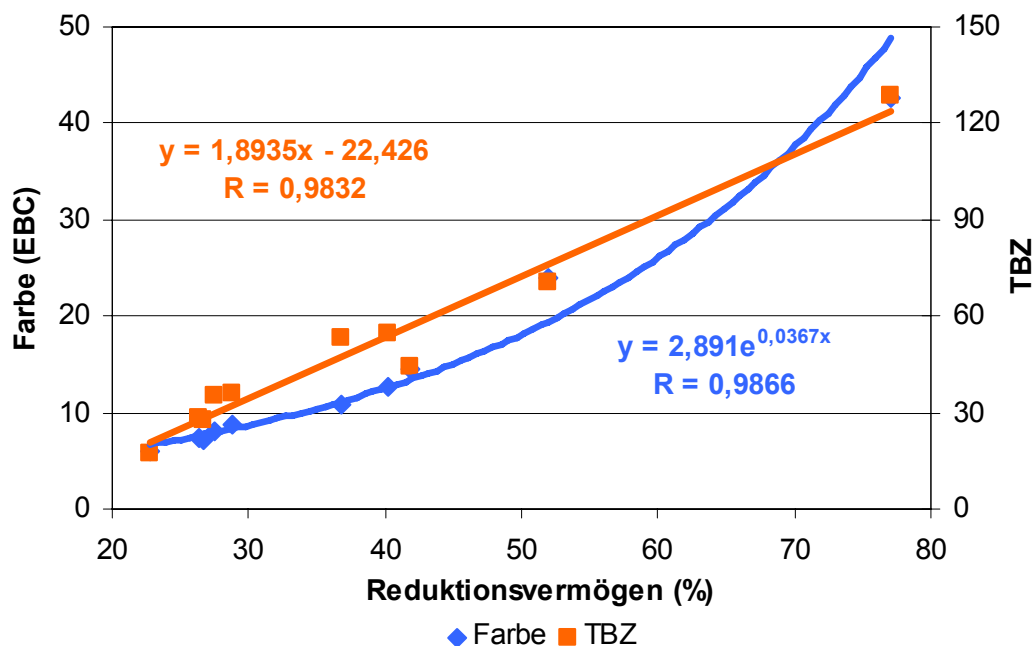


Abbildung 34: Zusammenhang Maillard-beeinflusster Analysenmerkmale durch Zumischen dunklen Malzes unterschiedlicher Konzentrationen im KA

Wie bereits in Abbildung 31 gezeigt, weisen dunklere Malze eine höhere TBZ und ein höheres Reduktionsvermögen auf. Werden zum Erzielen einer dunkleren Farbe zwei oder mehrere Malze gemischt, addieren sich die Farbe und die TBZ und auch das Reduktionsvermögen steigt an. Je höher der prozentuale Anteil des dunklen Malzes



an der Gesamtschüttung ist, desto stärker steigen die genannten Analysenmerkmale an (Abbildung 33). Für den Anstieg des Reduktionsvermögens und der TBZ ist eine positive lineare Korrelation ( $R = 0,9832^{***}$ ) festzustellen (Abbildung 34), die analog zu der verläuft, die bereits für die einzelnen Malze festgestellt werden konnte. Ein vergleichbarer Zusammenhang konnte ebenfalls für die Farbe und das Reduktionsvermögen ermittelt werden.

#### **4.4 Einfluss von Würzebereitungsparametern auf die Maillard-Reaktion**

Die Menge und die Art der Maillard-Produkte, die in den Brauprozess eingebracht werden und währenddessen entstehen können, sind durch die mit dem Malz eingebrachten Reaktanden vorbestimmt. Während der Würzebereitung ändert sich jedoch das Milieu (z. B. der pH-Wert) und es entstehen viele Reaktanden, die im Rahmen der Maillard-Reaktion miteinander reagieren können.

Da die Maillard-Reaktion während des Maischens und des Läuterns nicht zum Stillstand kommt, sondern, im Vergleich zum Abdarren, verlangsamt abläuft, können diese Maillard-Produkte auch während der Maischarbeit entstehen oder bereits bestehende reagieren weiter zu höhermolekularen Substanzen.

Den letzten Schritt im Rahmen der Würzebereitung stellt die Kochung dar. Im Laufe des 1–1 ½stündigen Kochprozesses kann die Maillard-Reaktion verstärkt ablaufen und es werden viele aromaaktive Substanzen gebildet, wieder ausgedampft und die endgültige Würzezusammensetzung festgelegt.

##### **4.4.1 Schrot**

Damit die Enzyme ihre volle Wirkung entfalten und optimal wirken zu können, muss das Malz vor Beginn des Maischens zerkleinert werden. Je nach Malzqualität und Sudhausausstattung wird dazu der Abstand der Walzenpaare der Schrotmühle verändert, was Veränderungen in der Zusammensetzung der Schrotfraktionen zur Folge hat. Im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit der Würze, kommt der

Walzeneinstellung und somit der Verteilung der Schrotfraktionen eine besondere Rolle zu.

Tabelle 17 zeigt die Unterschiede der einzelnen Fraktionen bei isothermen Maischen von 25, 40 und 60 °C. Auffällig ist, dass das Reduktionsvermögen in allen Fraktionen der zugehörigen Maischen gleich groß ist. Lediglich das der Mehlfraktion ist bei den 40- und 60-°C-Maischen etwas niedriger. Eine Erhöhung der Maischtemperatur von 25 auf 40 °C bewirkt keine Veränderung des Reduktionsvermögens. Erst wenn die Temperatur auf 60 °C erhöht wird, kann ein Anstieg des Reduktionsvermögens festgestellt werden. Bei den Farben können die höchsten Werte für die Spelzen- und die Grobgrießmaische ermittelt werden, während die Farben der Feingrieße und des Mehls deutlich darunter liegen. Eine Temperaturerhöhung bewirkt für die Gesamtmaische lediglich eine geringe Veränderung der TBZ. Größere Unterschiede können bei den Einzelfraktionen gemessen werden. Die bei weitem niedrigsten TBZ-Werte sind für die Feingrießfraktion zu ermitteln, gefolgt von der Mehlfraktion. Die Werte für die Grobgrieße und die Spelzen sind bei jeder Temperaturstufe die Höchsten.

Tabelle 17: Analysenwerte einzelner Schrotfraktionen

		Gesamt	Spelzen	Grobgrieße	Feingrieße	Mehl
25 °C	Reduktionsvermögen (%)	26	26	27	29	27
	Farbe (EBC)	4,6	5,5	6,2	4,8	4,9
	TBZ	30	40	42	31	36
40 °C	Reduktionsvermögen (%)	25	26	25	25	22
	Farbe (EBC)	5,5	5,9	6,5	4,8	5,4
	TBZ	28	36	40	29	33
60 °C	Reduktionsvermögen (%)	38	39	39	39	34
	Farbe (EBC)	6,1	6,2	6,1	4,2	5,9
	TBZ	28	36	38	28	33

Um die Auswirkungen der verschiedenen Schrotfraktionen zu untersuchen, wurden Maischversuche (Infusion 62) mit einer Fraktionentrennung durchgeführt, bei denen nur mit der Mehlfraktion eingemaischt und die übrigen Fraktionen im Laufe des Maischprozesses zugegeben wurden (Abbildung 20). Ein in Brauereien angewandtes Verfahren der Fraktionentrennung ist die Spelzentrennung. Dabei werden die Spelzen erst am Ende des Maischprozesses zugegeben, um eine zu starke Auslaugung unedler Geschmacksstoffe aus den Spelzen zu verhindern und um hellere Würze- und Bierfarben zu erzielen. Für das Schrotten stand eine

2-Walzenmühle zur Verfügung, wodurch die Spelzenfraktion jedoch nur ungenügend von anhaftenden Grießen ausgemahlen wurde.

Das zeitversetzte Einmischen verschiedener Schrotfraktionen wirkt sich stark auf die Aromastoffkonzentration, aber auch auf andere Analysenmerkmale der Würze aus (Tabelle 18). Die Extraktgehalte in Pfannevoll-Würze und Anstellwürze sind mit Fraktionentrennung rund 0,3 % niedriger als bei dem Maischverfahren, bei dem das gesamte Schrot am Anfang eingemaischt wird. Infolge der Fraktionentrennung kann sowohl in der Pfannevoll- als auch in der Anstellwürze eine Aufhellung der Würzefarbe und ein Rückgang der TBZ festgestellt werden.

Tabelle 18: Auswirkung der Fraktionentrennung auf Pfannevoll- und Anstellwürze

Analyse	Pfannevoll-Würze		Anstellwürze	
	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung
Extrakt (GG-%)	8,08	7,81	12,60	12,29
Farbe (EBC)	4,5	4,2	9,5	8,6
TBZ	22	19	58	56
3-Methylbutanal (µg/l)	90	186	67	54
2-Methylbutanal (µg/l)	26	60	21	19
Methional (µg/l)	21	21	12	9
Benzaldehyd (µg/l)	4,4	5,7	3,4	5,1
2-Phenylethanal (µg/l)	109	116	87	76
Σ Strecker-Aldehyde (µg/l)	250	389	191	164

Die Summe der Strecker-Aldehyde in der Pfannevoll-Würze steigt durch die Fraktionentrennung stark an (siehe auch Kapitel 5.2), wobei dieser Anstieg auf die Konzentrationszunahme des 2- und 3-Methylbutanals zurückzuführen ist. Aufgrund der Kochung werden viele Aromastoffe aus der Würze ausgetrieben, weshalb in der Anstellwürze deutlich geringere Aromastoffkonzentrationen aufzufinden sind. In der Anstellwürze werden jedoch umgekehrte Verhältnisse zu denen der Pfannevoll-Würze gefunden; infolge der Fraktionentrennung sind weniger Strecker-Aldehyde in der Würze vorhanden, als ohne diese Trennung.

#### 4.4.2 Temperaturführung beim Maischen

Aufgrund der Temperaturführung während des Maischprozesses (bis knapp 80 °C) liegt die Vermutung nahe, dass auch während des Maischens Maillard-Produkte neu gebildet oder zu anderen Substanzen um- und abgebaut werden.

Abbildung 35 zeigt am Beispiel von Zumischversuchen in wieweit die Analysenmerkmale Farbe und Reduktionsvermögen durch den Maischprozess beeinflusst werden. Zum Vergleich herangezogen werden dazu die ermittelten Analysenwerte des Infusionsmaischverfahrens 62 gegenüber denen des jeweiligen Kaltauszugs.

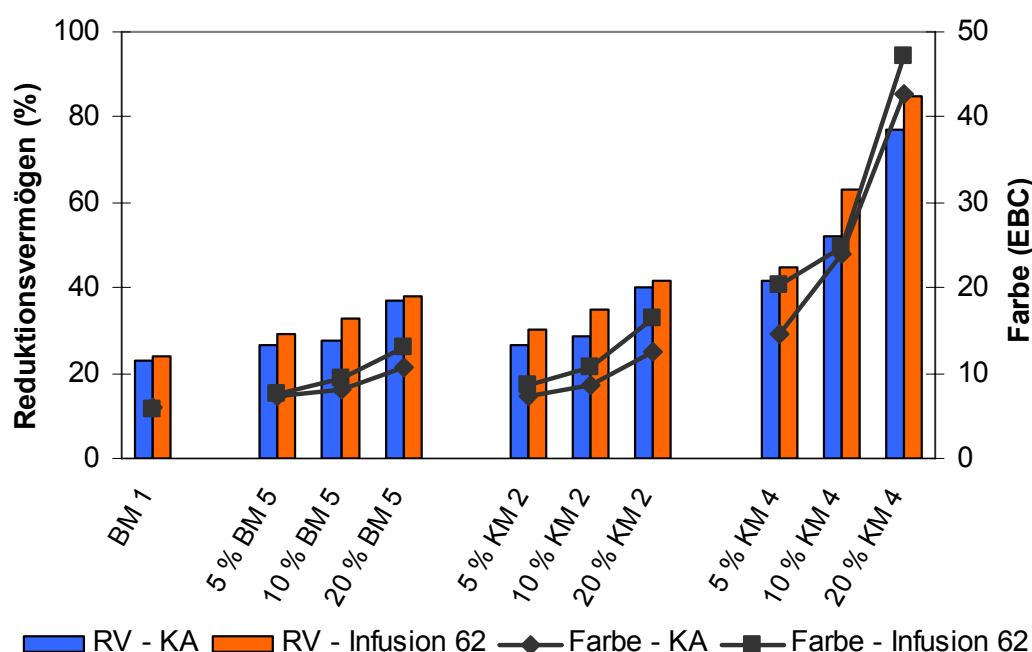


Abbildung 35: Zunahme des Reduktionsvermögens und der Farbe durch Zugabe verschiedener Malze in unterschiedlichen Schüttungsanteilen

Es fällt auf, dass der durch die Zumischung gefundene Anstieg der Farbe und des Reduktionsvermögens nach einem Infusionsmaischverfahren ähnlich zu dem für den jeweiligen Kaltauszug ermittelten verläuft (Abbildung 35). Je höher der Schüttungsanteil und die Farbe des zugemischten Malzes ist, kann eine umso größere Zunahme der Analysenmerkmale festgestellt werden. Auffallend ist weiterhin, dass der größte Anteil der für die Farbe, das Reduktionsvermögen und für die TBZ (Tabelle AH 5) ermittelten Analysenwerte nach dem

Infusionsmischverfahren bereits im Kaltauszug aufzufinden ist. Die Zunahme dieser Analysenmerkmale ist, ausgehend von den Kaltauszügen, meist kleiner als 20 %. Beim Vergleich der durch die Kaltauszüge ermittelten Trendkurven mit denjenigen, die aufgrund der Analysenwerte nach dem Infusionsmischverfahren zu finden sind, wird deutlich, dass sie beinahe deckungsgleich verlaufen (Abbildung 36). Lediglich die Korrelationskoeffizienten sind in allen Fällen etwas geringer. Es ergeben sich jedoch nach der Durchführung des Infusionsmischverfahrens dieselben Beziehungen wie durch die Kaltauszüge. Die Korrelationen (Signifikanzniveau 99,9 %) zwischen der TBZ und dem Reduktionsvermögen bzw. zwischen der TBZ und der Farbe sind linear, während der Zusammenhang zwischen der Farbe und dem Reduktionsvermögen exponentieller Art ist.

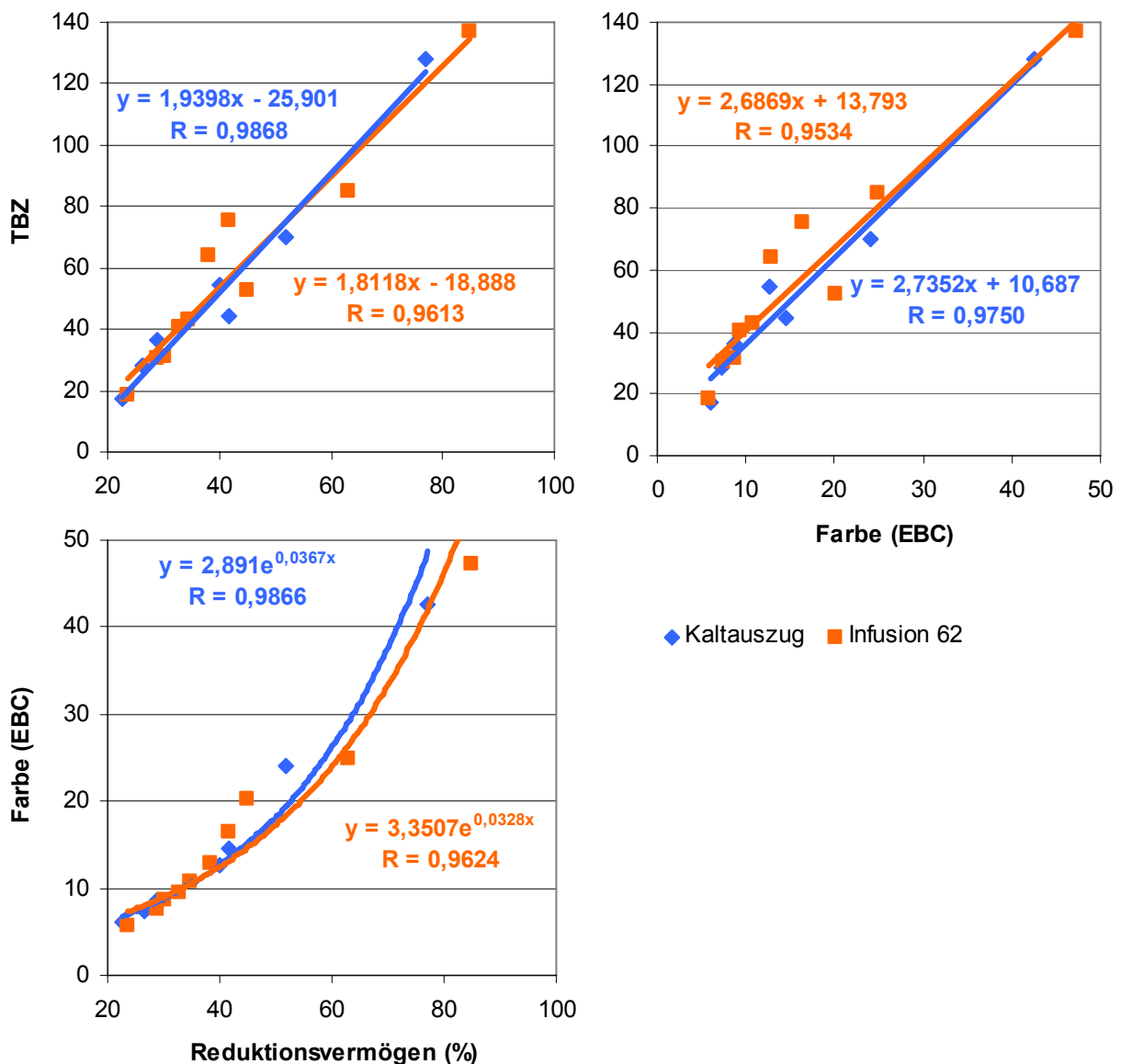


Abbildung 36: Vergleich von Trendkurven der Kaltauszüge mit denen der Infusionsmischverfahren

Um einen Einblick auf die Auswirkung verschieden intensiver Maischverfahren auf die Bildung von Maillard-Produkten zu gewinnen, werden zwei Infusionsmaischverfahren miteinander verglichen, die sich sowohl in der Einmaischtemperatur, als auch in der Maischdauer stark voneinander unterscheiden (Abbildung 37). Die Einmaischtemperatur des mit Infusion 45 bezeichneten Maischverfahrens beträgt 45 °C und dauert inklusive Abmaischen 131 Minuten. Infusion 62 ist ein weniger intensives Verfahren. Es wird bei 62 °C eingemaischt und die Maischdauer beträgt 99 Minuten (Abbildung 19).

In Abbildung 37 ist der Pronyl-L-Lysin-Gehalt von drei verschiedenfarbigen Malzproben nach dem jeweiligen Maischverfahren aufgezeigt. Die quantitative Analyse des Pronyl-L-Lysins zeigt, dass je dunkler das verwendete Malz ist, desto mehr Pronyl-L-Lysin kann darin gefunden werden. Die höchsten Konzentrationen an Pronyl-L-Lysin enthalten die Maischen des Karamellmalzes 4, gefolgt vom Braumalz 4, wohingegen das Braumalz 1 nur sehr geringe Mengen dieses Melanoidinstrukturelements enthält.

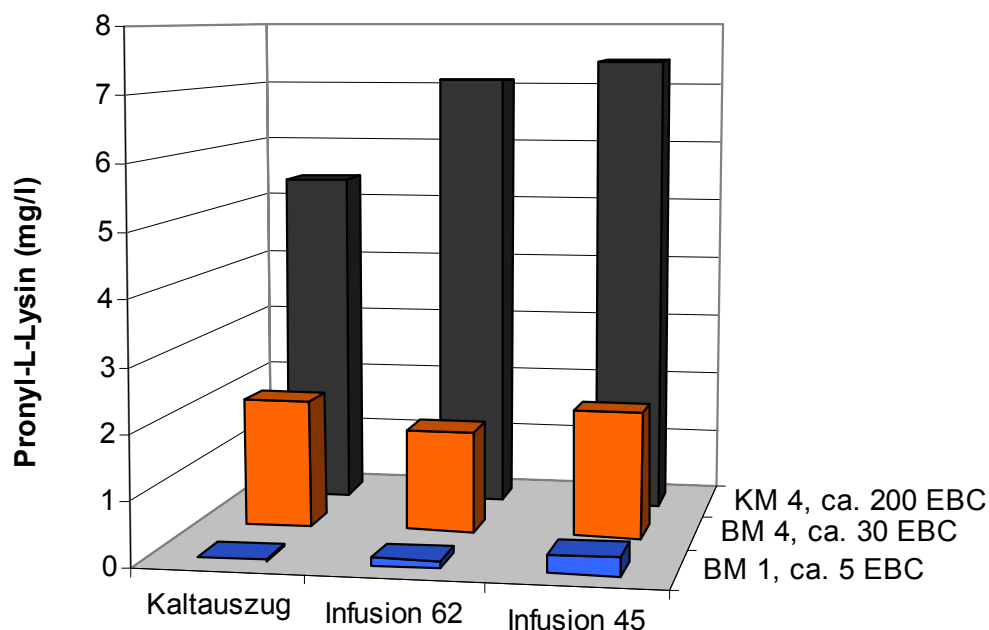


Abbildung 37: Pronyl-L-Lysin-Gehalt nach verschiedenen Maischverfahren

Verglichen mit den Infusionsmaischverfahren wird die größte Menge an Pronyl-L-Lysin bereits durch einen Malzkaltauszug in Lösung gebracht. Zwischen den beiden Infusionsmaischverfahren kann lediglich ein geringer Unterschied zugunsten des intensiveren Maischverfahrens festgestellt werden.

Wie sich die durch die Maillard-Reaktion mitbeeinflussten Analysen Farbe und TBZ aufgrund der unterschiedlichen Maischverfahren ändern, ist in Abbildung 38 dargestellt. Angegeben ist dabei das Verhältnis der Analysenwerte von Infusion 45 zu Infusion 62.

Auffällig ist, dass in allen Fällen für das Infusionsmaischverfahren, bei dem mit 45 °C eingemaischt wurde, höhere Farbwerte nachzuweisen sind, als bei dem Verfahren mit einer Einmischtemperatur von 62 °C. Die Veränderung der TBZ ist dagegen uneinheitlich und es kann keine Tendenz in irgendeine Richtung festgestellt werden. Vielmehr scheint es, dass die TBZ infolge der beiden Maischverfahren mit unterschiedlichen Einmischtemperaturen keiner Veränderung unterliegt.

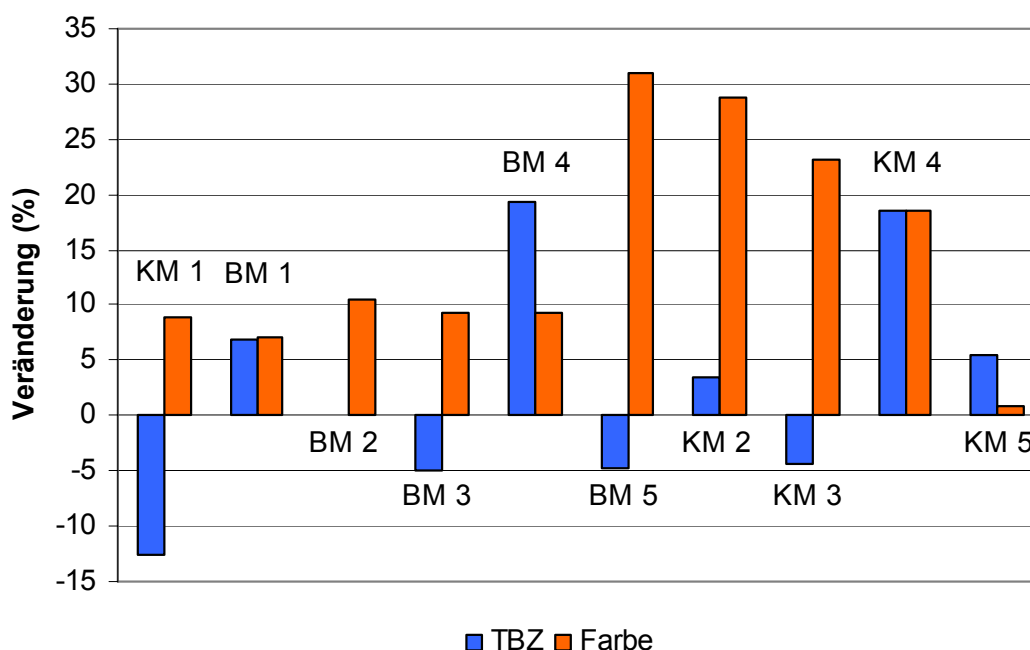


Abbildung 38: Prozentuale Veränderung der TBZ und der Farbe (Infusion 45/Infusion 62)

Dass die TBZ keine Veränderung erfährt, konnte durch weiterführende Versuche bestätigt werden. Dazu wurde das Braumalz 1 im 10-l-Maßstab mit 52 und mit 62 °C eingemaischt und die TBZ bis ins fertige Bier verfolgt.

Tabelle 19: Veränderung der TBZ bei unterschiedlichen Einmischtemperaturen

Einmischtemperatur	Maischende	VW	PfV	AW	Bier
52 °C	40	40	26	55	40
62 °C	39	39	26	54	41

Tabelle 19 macht deutlich, dass sich die TBZ aufgrund einer niedrigeren Einmischtemperatur nicht verändert. Über alle Prozessschritte hinweg bis ins fertige Bier können keine Unterschiede zwischen den beiden Würzen bzw. Bieren festgestellt werden.

Werden die hier vorliegenden Ergebnisse für das Pronyl-L-Lysin mit den dazugehörigen Ergebnissen für die Farbe und für die TBZ in Zusammenhang gebracht, ergeben sich zwischen diesen Analysenmerkmalen und dem Pronyl-L-Lysin lineare Zusammenhänge mit Korrelationskoeffizienten von 0,9746 bzw. 0,9932 mit Irrtumswahrscheinlichkeiten von  $\alpha = 0,001$  (Abbildung 39).

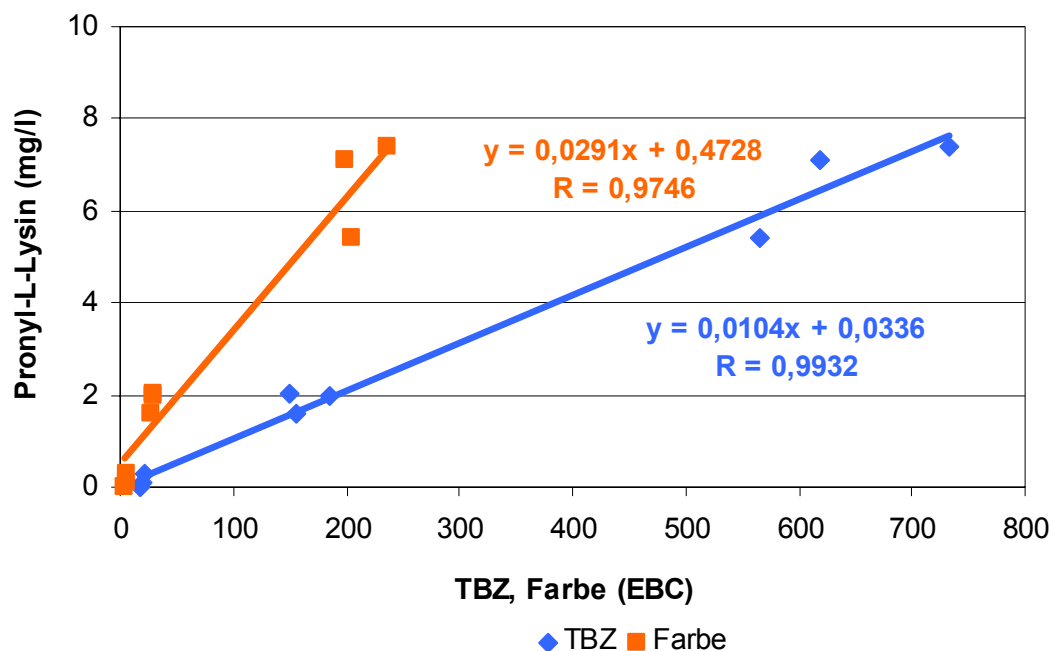


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Pronyl-L-Lysin und Farbe bzw. TBZ am Maischende

Aufgrund des bereits beschriebenen Problems der zu dunklen Farben bei der Analyse des Karamellmalzes 4 ist eine Bestimmung des Reduktionsvermögens hier nicht sinnvoll. Die in Abbildung 39 dargestellten Korrelationen zwischen dem Pronyl-L-Lysin und der Farbe bzw. der TBZ am Ende eines Maischverfahrens bestätigen aber die Zusammenhänge, die bereits für die Produktion heller Malze gefunden wurden (vgl. Kapitel 4.1.2).



#### 4.4.3 Gussverhältnis und pH-Wert der Maische

Aus der Literatur (vgl. Kapitel 2.3.2) geht hervor, dass die im Medium zur Verfügung stehende Menge an Wasser die Intensität der Maillard-Reaktion stark beeinflussen kann. Tabelle 20 zeigt den Einfluss verschiedener Gussverhältnisse auf den pH-Wert, die Farbe und das Reduktionsvermögen. Die Grundlage für die Versuche zum Gussverhältnis bildete das Infusionsmaisverfahren 62, das mit drei verschiedenfarbigen Handelsmalzen durchgeführt wurde. Um die unterschiedlichen Wassermengen auszugleichen, wurde, ähnlich dem Kongressmaisverfahren, am Ende des Maischprozesses auf dasselbe Gewicht aufgewogen.

Tabelle 20: Auswirkung unterschiedlicher Gussverhältnisse

		1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 6
BM 1	pH	5,82	5,77	5,78	5,80
	Farbe (EBC)	3,4	3,5	3,6	3,6
	Reduktionsvermögen (%)	17	15	17	17
BM 2	pH	5,73	5,73	5,73	5,73
	Farbe (EBC)	7,2	7,3	7,1	7,1
	Reduktionsvermögen (%)	25	25	25	25
BM 4	pH	5,51	5,57	5,58	5,58
	Farbe (EBC)	16	16	16	17
	Reduktionsvermögen (%)	43	39	38	41

Beim Vergleich der für die verschiedenen Gussmengen ermittelten Werte wird deutlich, dass sich bei keinem Malz Unterschiede bezüglich der gezeigten Analysenmerkmale ergeben. Es kann lediglich festgestellt werden, dass je dunkler das verwendete Malz ist, ein umso niedrigerer pH-Wert und ein umso höheres Reduktionsvermögen zu erwarten ist.

Um den Einfluss des pH-Wertes auf die Maillard-Reaktion während des Maischprozesses zu untersuchen, wurden mit dem Braumalz 4 Maischversuche unternommen. Dazu wurden die Maischen mit technischer Milchsäure bzw. mit NaOH versetzt und so auf die pH-Werte von 4,02, 5,01 und 5,98 eingestellt. Die pH-Werte am Ende des Maischprozesses betrugen 4,11, 5,24 und 5,79.

Eine quantitative Analyse des Pronyl-L-Lysins ergab, dass höhere Konzentrationen dieses Melanoidinstrukturelements am Maischende (Infusion 62) bei dem niedrigsten hier eingestellten pH-Wert zu finden sind. Abbildung 40 zeigt weiterhin, dass mit steigendem pH-Wert der Maische ein geringer Anstieg der Würzefarbe, aber keine

Veränderung des Reduktionsvermögens festgestellt werden kann. Keine Unterschiede ergeben sich außerdem für die TBZ (Tabelle AH 13).

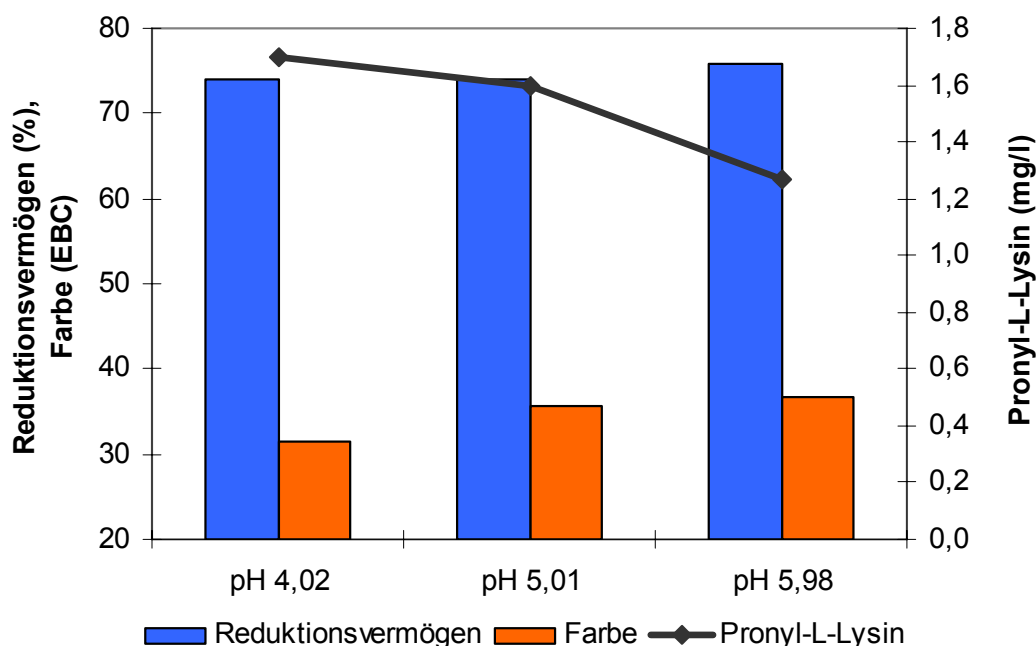


Abbildung 40: Auswirkung unterschiedlicher pH-Werte beim Maischen mit Braumalz 4

Da jedoch eine Maischesäuerung auf den pH-Wert von 5,0 oder sogar auf 4,0 nicht praktikabel ist, wurden zwei Sorten Malz bei unterschiedlichen pH-Werten (6,0, 5,7, 5,4) mit dem Verfahren Infusion 62 gemaischt und die Farbe, das Reduktionsvermögen und die TBZ bis ins fertige Bier verfolgt (Tabelle 21).

Tabelle 21: Auswirkung einer Maischesäuerung auf Maillard-beeinflusste Analysenmerkmale

	Sorte 2/6,0	Sorte 2/5,7	Sorte 2/5,4	Sorte 8/6,0	Sorte 8/5,7	Sorte 8/5,4
Farbe ME (EBC)	6,6	5,6	5,6	5,8	5,7	5,7
Farbe PfV (EBC)	5,8	6,0	4,8	5,6	5,8	4,7
Farbe Bier (EBC)	5,3	5,5	4,9	5,2	5,2	5,4
RV ME (%)	25	23	23	22	22	26
RV PfV (%)	34	62	62	26	56	63
RV Bier (%)	17	23	20	17	22	20
TBZ ME	22	19	20	20	23	21
TBZ PfV	14	16	14	14	15	16
TBZ Bier	24	26	23	24	27	25
Σ Strecker-Aldehyde PfV (µg/l)	640	642	686	564	570	590
Σ Strecker-Aldehyde AW (µg/l)	146	152	142	139	135	178

Die Ergebnisse bestätigen die Analysenwerte am Maischende aus Abbildung 40 zum größten Teil. Bereits durch eine moderate Säuerung der Maische kann bei Sorte 2 eine Aufhellung der Farbe erreicht werden. Die Farbe der Sorte 8 bleibt durch die

Säuerung unbeeinflusst. Dieses Verhalten der Farbe zieht sich durch alle Produktionsstufen und kann auch im fertigen Bier beobachtet werden. Das Reduktionsvermögen und die TBZ bleiben am Ende des Maischprozesses bei beiden Sorten unverändert. In der Pfannevoll-Würze sind bei beiden Säuerungsstufen erhöhte Werte für das Reduktionsvermögen zu finden. Diese Erhöhung verschwindet jedoch wieder und ist im Bier nicht mehr feststellbar. Die TBZ in der Pfannevoll-Würze und im fertigen Bier bleibt konstant und ist keiner Veränderung durch eine Säuerung unterworfen. Die Summe der Strecker-Aldehyde ist jeweils sehr ähnlich. Es ist jedoch die Tendenz zu einer höheren Strecker-Aldehyd-Konzentration bei den auf pH 5,4 gesäuerten Pfannevoll-Würzen zu erkennen. Die Werte für die Anstellwürzen sind, mit Ausnahme der Sorte 8 mit einem auf 5,4 eingestellten Maische-pH-Wert, als gleich zu bewerten.

#### 4.4.4 Würzekochung

Die Kochung ist, abgesehen von einer möglichen Kurzzeiterhitzung, der letzte Verfahrensschritt vor der Abfüllung und der Pasteurisation, bei dem eine Hitzebelastung stattfindet bzw. die Maillard-Reaktion ablaufen und somit eine Anreicherung dieser Substanzen erfolgen kann. Viele während der Kochung gebildeten Maillard-Produkte sind jedoch leicht flüchtig und werden im Laufe der Kochung zusammen mit anderen Aromastoffen (z. B. DMS) ausgedampft.

Tabelle 22: Einfluss des Kochprozesses auf die Bildung von Maillard-Produkten

	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Farbe PfV (EBC)	5,8	5,0	5,9	6,0
Farbe KB (EBC)	5,9	5,2	5,7	6,4
Farbe vH (EBC)	7,6	6,3	7,9	7,3
Farbe KE (EBC)	9,3	8,1	9,6	9,1
Farbe AW (EBC)	9,4	8,2	9,7	9,1
Reduktionsvermögen PfV (%)	62	26	34	55
Reduktionsvermögen KB (%)	70	36	33	64
Reduktionsvermögen vH (%)	61	51	46	62
Reduktionsvermögen KE (%)	47	46	41	38
Reduktionsvermögen AW (%)	42	36	33	34
TBZ PfV	14	14	13	14
TBZ KB	16	15	20	17
TBZ vH	31	28	39	28
TBZ KE	34	34	43	34
TBZ AW	34	35	43	36

Während der Kochung steigt die Würzefarbe um 3–4 EBC-Einheiten an (Tabelle 22). Durch eine 15 Minuten dauernde Whirlpoolrast kann keine Zufärbung mehr beobachtet werden. Auffallend ist jedoch, dass die Erhöhung der Farbe während der letzten 10 Minuten Kochzeit (ab der Hopfengabe) genauso groß, zum Teil sogar größer ist, als durch die ersten 80 Minuten Kochung. Das Reduktionsvermögen sinkt, gerechnet von Kochbeginn an, ab bzw. bleibt auf einem ähnlichen Niveau und ist in der Anstellwürze bei allen Versuchen mit Ausnahme der Sorte 2 ähnlich. Das Reduktionsvermögen kann dabei durch eine atmosphärische Kochung ansteigen oder auch vermindert werden.

Die Werte für die TBZ steigen während einer 90minütigen Kochung vom Kochbeginn bis zur Anstellwürze um 18–23 Einheiten an. Der größte Anteil dieser Zunahme ist im Laufe der 80minütigen Kochung bis zur Hopfengabe zu verzeichnen. Bei Betrachtung der TBZ-Differenzen bezogen auf die Kochzeit zwischen Kochbeginn und Hopfengabe auf der einen Seite und Hopfengabe und Anstellwürze auf der anderen, ergibt sich jedoch eine um das 2–4fach beschleunigte TBZ-Zunahme nach der Hopfengabe.

Tabelle 23: Einfluss der Kochdauer auf Farbe, TBZ und Reduktionsvermögen

	75 min	90 min
Farbe PfV (EBC)	5,0	5,0
Farbe AW (EBC)	7,3	9,0
Reduktionsvermögen PfV (%)	34	34
Reduktionsvermögen AW (%)	65	70
TBZ PfV	13	13
TBZ AW	26	32

Die Kochdauer beeinflusst die Entwicklung der verschiedenen Analysenmerkmale sehr stark. Tabelle 23 zeigt die Unterschiede in der Farbe, der TBZ und dem Reduktionsvermögen bei 75 und 90 Minuten Kochdauer unter Verwendung des Braumalzes 1. Die Farben der Anstellwürzen unterscheiden sich um 1,7 EBC-Einheiten. Das Reduktionsvermögen ist nach 90 Minuten Kochdauer leicht höher als nach 75 Minuten. Darüber hinaus bewirkt eine um 15 Minuten längere Kochdauer, dass der Wert für die TBZ um sechs Einheiten ansteigt.

#### 4.5 Einfluss einzelner Zucker und Aminosäuren auf die Melanoidinbildung während des Kochens (Modelllösung)

Würze ist ein sehr komplexes Gemisch unterschiedlichster Substanzen, die verschiedene Wirkungen und Wechselwirkungen miteinander aufweisen können. Aus diesem Grund wurden Kochversuche in einer Modelllösung durchgeführt, um das Ausmaß der Maillard-Reaktion feststellen zu können, das von den einzelnen Zuckern und Aminosäuren verursacht wird, und um die Veränderung der für die Maillard-Reaktion wichtigen Reaktanden erfassen zu können. Beim Vergleich der Ergebnisse einzelner Reaktanden muss jedoch berücksichtigt werden, dass die einzelnen Zucker und Aminosäuren in den Konzentrationen eingesetzt werden, wie sie in einer realen Würze vorliegen (Tabelle 4). Die Maillard-Reaktion kann auch nach der Kochung bei niedrigeren Temperaturen ablaufen. Eine möglicherweise entstehende Nachbräunung wurde beschleunigt, indem die Proben vier Tage bei 40 °C gelagert wurden.

##### 4.5.1 Reaktion verschiedener Aminosäuren in Gegenwart des Würzezuckerspektrums

Die niedrigsten absoluten Farbwerte nach dem Kochprozess sind für die Aminosäuren Valin, Leucin, Isoleucin, Methionin und Phenylalanin nachzuweisen, deren Seitenketten jeweils hydrophoben Charakter haben. Die höchsten Farben können dagegen für das Arginin und das Lysin beobachtet werden, deren Seitenketten hydrophil sind.

Um die Farbzunahme der einzelnen Aminosäuren während der Kochung miteinander vergleichen zu können, werden zwei Verhältniszahlen gebildet. Die Kochbräunung gibt an, wie groß das Verhältnis zwischen den Farben der gekochten und der ungekochten Probe ist. Das Bräunungspotential<sub>gesamt</sub> beschreibt die Farbänderung zwischen der gekochten, gelagerten und der ungekochten Probe. Es soll das mögliche Potential der weiteren Farbzunahme während einer forcierten Lagerung beschreiben.

Die größten Farbzunahmen beim Kochen gehen auf die Aminosäuren Lysin, Alanin und Methionin zurück, deren Farbe um den Faktor zehn bzw. sieben erhöht ist (Abbildung 41). Beinahe keinen Beitrag zur Bräunung liefern dagegen Isoleucin (Verhältnis 1,4), Glycin (1,3), Phenylalanin (1,3) und das Tryptophan (1,1).

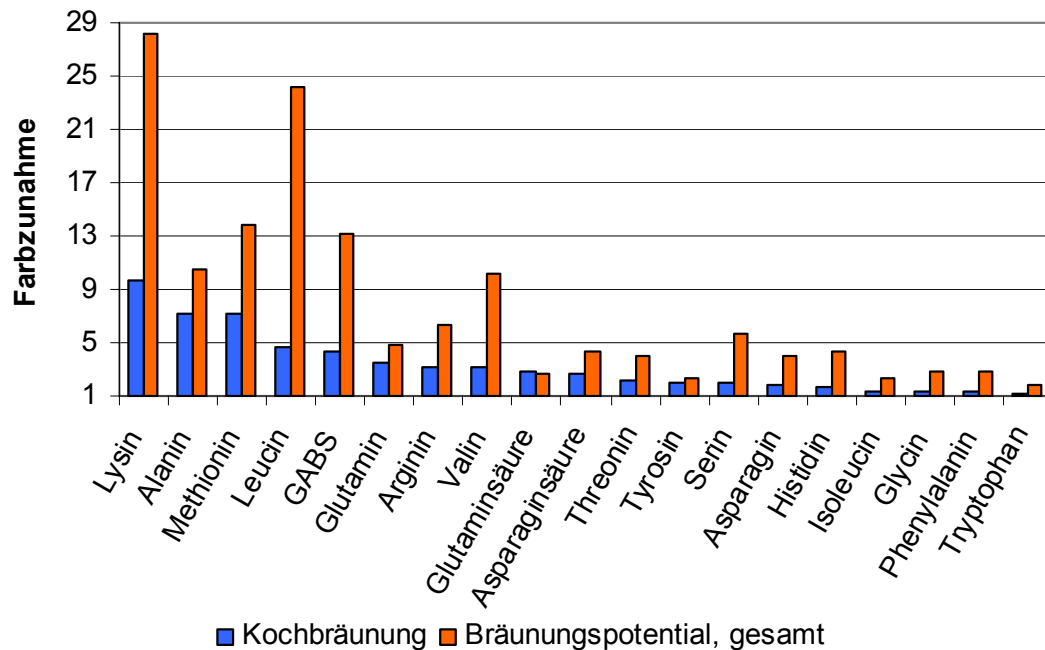


Abbildung 41: Farbzunahme während der Kochung und Lagerung (Aminosäuren)

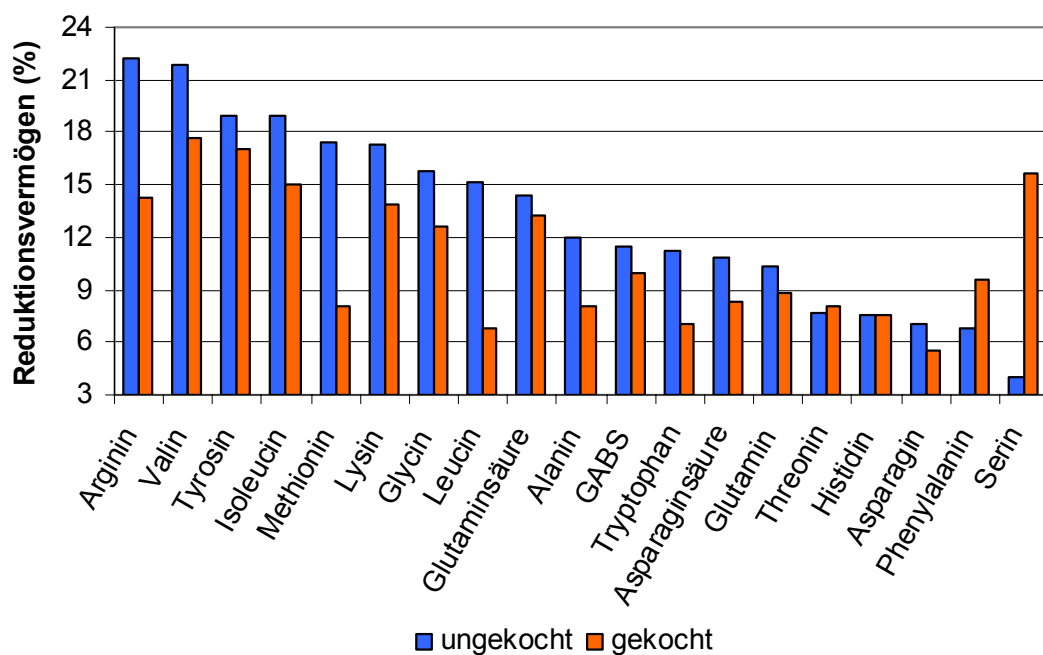


Abbildung 42: Veränderung des Reduktionsvermögens während der Kochung

Das Gesamtbräunungspotential wird ebenso wie die durch die Kochung verursachte Farbzunahme des Lysins dominiert, dessen Farbe sich im Verhältnis zum ungekochten Zustand um das 28fache erhöht. An zweiter Stelle folgt das Leucin. Die Farbe dieser Aminosäure steigert sich durch die Nachbräunung von Faktor fünf auf 24. Großes Potential zur Nachbräunung haben auch die Aminosäuren Methionin,  $\gamma$ -Aminobuttersäure und Valin, die ihre Farbe durch die Lagerung auf das 14-, 13- bzw. 10fache ihres Ausgangswertes erhöhen können. Keine Farbnachbildung im Laufe der Lagerung kann der Glutaminsäure nachgewiesen werden.

Die Veränderung des Reduktionsvermögens der einzelnen Aminosäuren im ungekochten und im gekochten Zustand zeigt Abbildung 42. Dabei zeigen sich große Unterschiede zwischen den Aminosäuren. Während für Arginin und Valin mit 23 % das höchste Reduktionsvermögen zu beobachten ist, weist das Serin im ungekochten Zustand mit 4 % nicht ganz ein Fünftel dieses Wertes auf. Abgesehen vom Phenylalanin und dem Serin ist für alle Aminosäuren infolge der Kochung ein Rückgang des Reduktionsvermögens zu verzeichnen. Dieser Rückgang des Reduktionsvermögens beim Kochen bestätigt die in einer realen Würze gefundenen Ergebnisse (Tabelle 22). Die beiden Aminosäuren Phenylalanin und Serin entwickeln ihr volles Reduktionsvermögen dagegen erst nach der Kochung. Das Phenylalanin steigt dabei um das 1,4fache, das Serin um das 4fache des Ausgangswertes an.

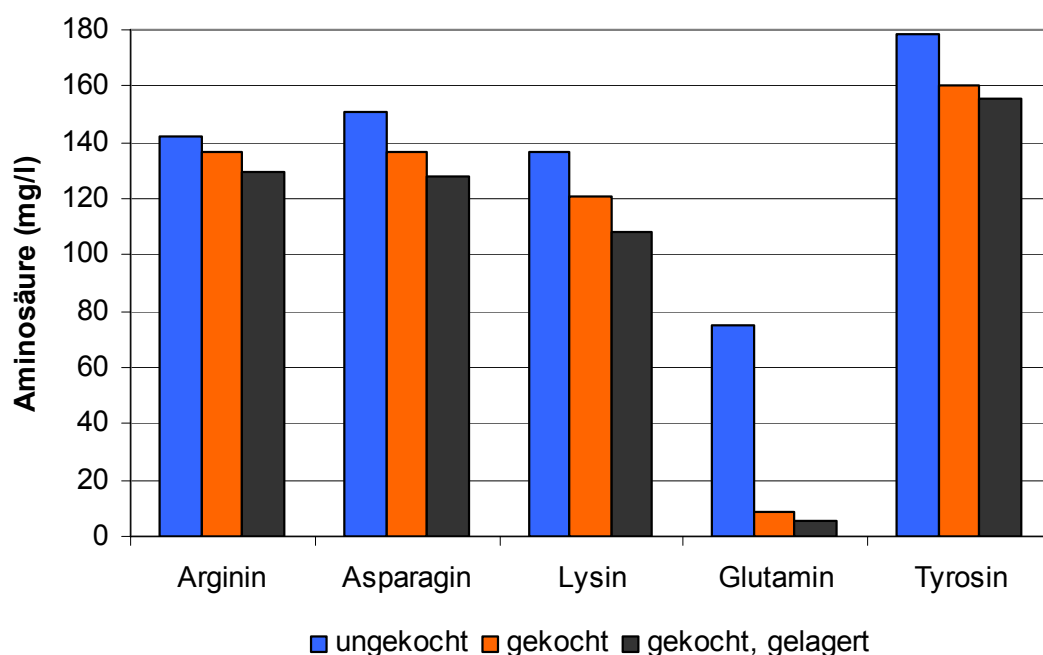


Abbildung 43: Veränderung der Aminosäurenkonzentration während der Kochung und Lagerung

Aufgrund der unterschiedlichen isoelektrischen Punkte der Aminosäuren, können in der Lösung auch verschiedene pH-Werte vorgefunden werden. Die Spanne reicht dabei von pH-Wert von 5,64 für das Lysin bis zum pH-Wert von 5,23 für die Asparaginsäure. Während des Kochprozesses kann keine Veränderung der pH-Werte festgestellt werden, nach der Lagerung sinken sie jedoch tendenziell ab.

Eine Messung der antiradikalischen Aktivität ergibt auf sehr niedrigem Niveau keine Unterschiede für die verschiedenen Aminosäuren. Auch während der Kochung und Lagerung ist keine Veränderung festzustellen.

Bei der Messung der TBZ ergeben sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Aminosäuren. Die TBZ-Zunahme während der Kochung beträgt zwischen sieben und zehn Einheiten bei Ausgangswerten von ein bis zwei TBZ-Einheiten. Aufgrund der Lagerung sinkt die TBZ tendenziell um ein bis drei Einheiten ab.

Die Analyse des Zuckerspektrums ergibt keine Abnahme der Einzelzucker- oder der Gesamtzuckermenge während des Kochprozesses bzw. der Lagerung.

Der Nachweis der Aminosäuren zeigt, dass sich die Konzentrationen von lediglich fünf der analysierten 19 Aminosäuren durch die Kochung und die Lagerung verändern (Abbildung 43). Mit Ausnahme des Tyrosins weisen die Aminosäuren Arginin, Asparagin, Lysin und Glutamin hydrophile Seitenketten auf. Die größte Abnahme kann beim Glutamin verzeichnet werden. Durch den Kochprozess nimmt die Konzentration dieser Aminosäure um knapp 90 % ab, durch die Lagerung wird die Menge auf etwa 8 % der Ausgangsmenge verringert. Die Gesamtmenge der weiteren Aminosäuren sinkt, bezogen auf die Ursprungskonzentration, um 10 % bei Arginin und Tyrosin, 15 % bei Asparagin und um rund 20 % beim Lysin ab.

#### 4.5.2 Reaktion verschiedener Zucker in Gegenwart des Würzeaminosäurenspektrums

Die höchste absolute Farbe nach dem Kochprozess kann für die Zucker Maltose, Fruktose und Arabinose beobachtet werden. Alle anderen Zucker weisen keine Eigenfärbung auf. Aufgrund der Lagerung nimmt die arabinose-bedingte Farbe ab und leistet keinen Beitrag mehr zur Gesamtfärbung. Stattdessen kann für die Glukose eine starke Zufärbung festgestellt werden.



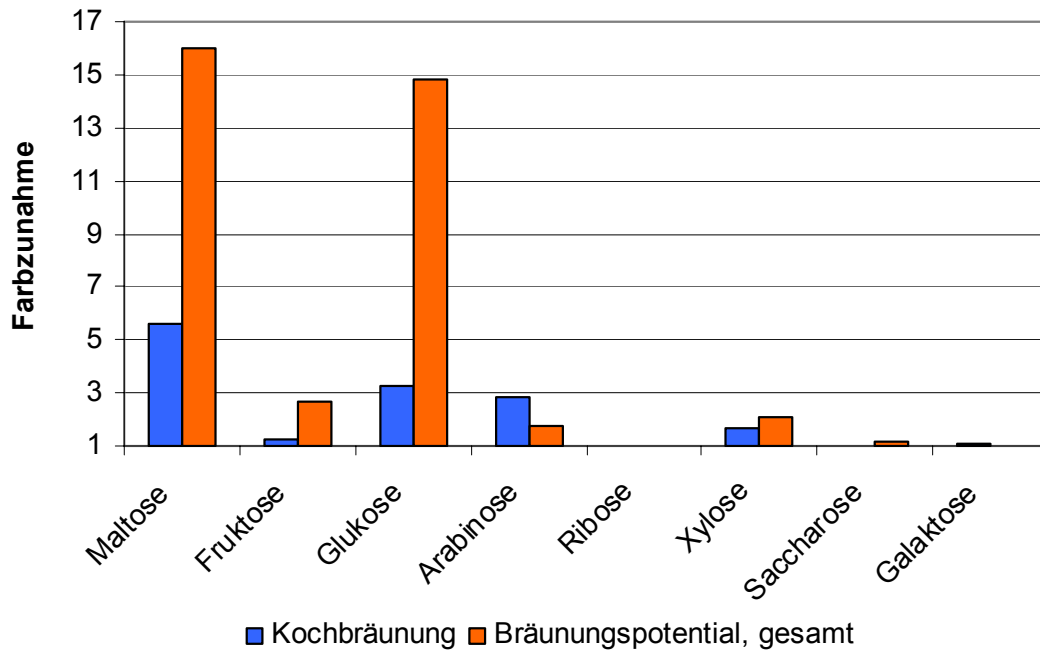


Abbildung 44: Farbzunahme während der Kochung und Lagerung (Zucker)

Die restlichen in Abbildung 44 aufgeführten Zucker haben keinen Anteil an der Färbung. Das größte Gesamtbräunungspotential besitzen die Maltose und die Glukose, wobei die Maltose bei weitem die höheren Absolutwerte aufweist.

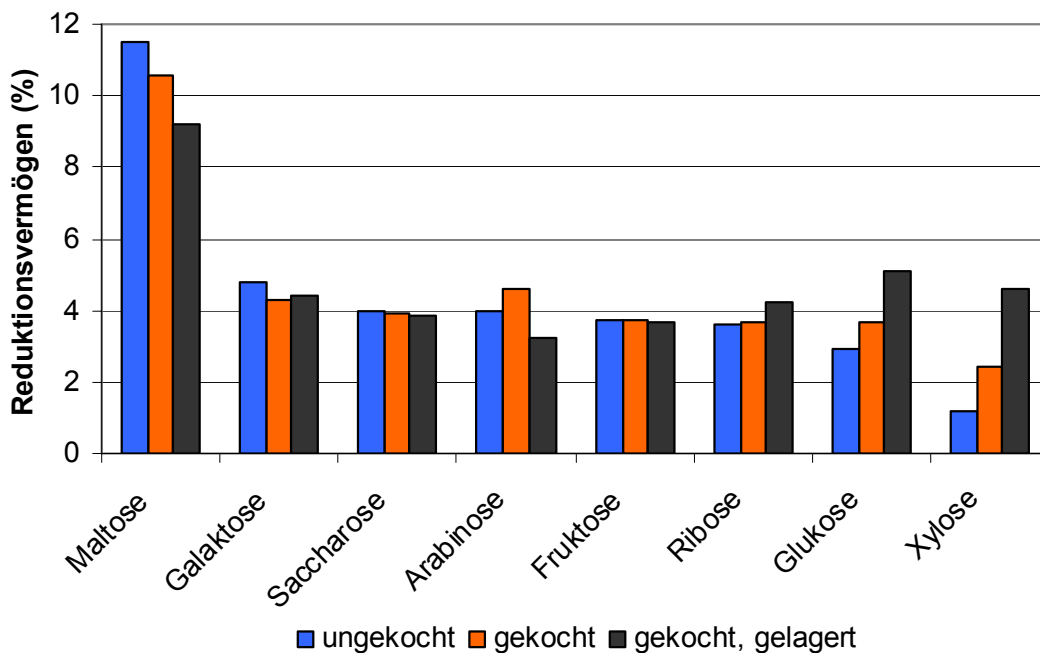


Abbildung 45: Veränderung des Reduktionsvermögens aufgrund von Kochung und Lagerung

In Abbildung 45 ist die Veränderung des Reduktionsvermögens aufgrund der Kochung und Lagerung dargestellt. Die höchsten Werte sind hierbei wiederum für die Maltose festzustellen. Alle anderen Zucker mit Ausnahme der Xylose sind auf einem gleichen, sehr niedrigen Niveau. Aufgrund der Kochung und Lagerung kann keine Veränderung des Reduktionsvermögens beobachtet werden. Lediglich die für die Maltose gefundenen Werte nehmen bis zur Lagerung leicht ab, während das Reduktionsvermögen für die Xyloselösung auf das Niveau der anderen Zucker ansteigt. Die pH-Werte, die in den verschiedenen Zuckerlösungen vorzufinden sind, schwanken in einem engen Rahmen zwischen 5,70 und 5,60. Aufgrund des Kochprozesses oder der anschließenden Lagerung kommt es zu keinen signifikanten Veränderungen.

Die Messung der antiradikalischen Aktivität ergibt keine Unterschiede der Einzelzucker nach der Kochung und befindet sich auf einem sehr niedrigen Niveau. Einzig für die Maltose ist nach der Lagerung ein leicht erhöhter Wert festzustellen.

Wie in Abbildung 46 zu sehen ist, sind an der Bildung der TBZ lediglich drei der eingesetzten acht Zucker beteiligt: die Maltose, die Glukose und die Fruktose. Die TBZ aller anderen getesteten Zucker beträgt Null. Die höchsten TBZ-Werte können für die Maltose nachgewiesen werden. Nach der Lagerung bleibt die TBZ der Maltoselösung konstant, während die der Glukose- und Fruktoselösung zu einem leichten Anstieg tendiert.

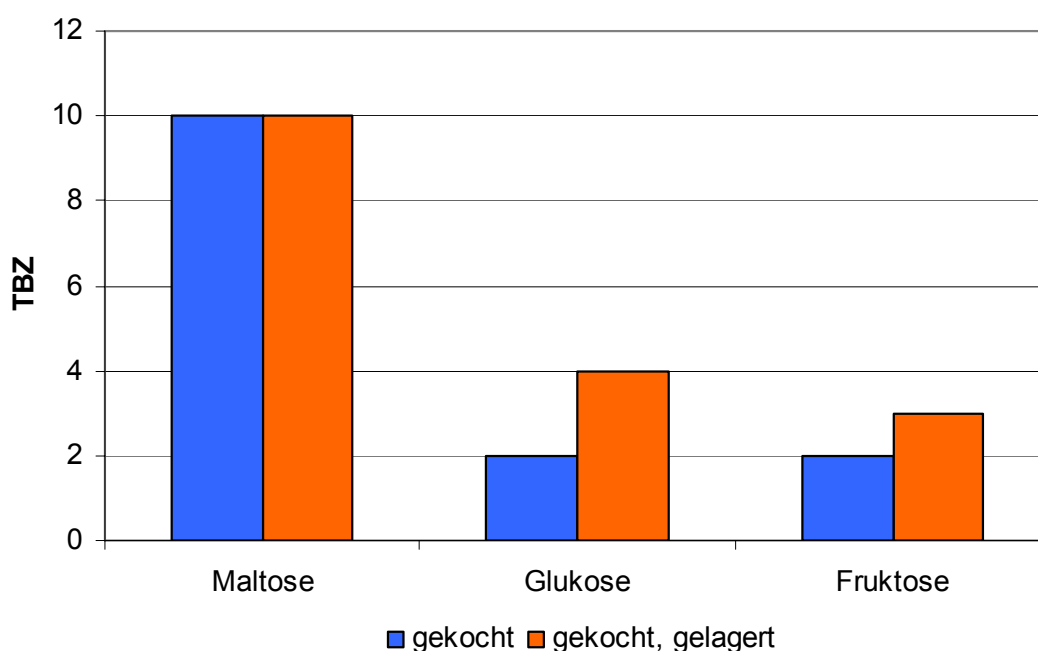


Abbildung 46: Einfluss der Einzelzucker auf die TBZ-Bildung

Bei der Analyse des Zuckerspektrums ergeben sich sowohl durch die Kochung, als auch infolge der Lagerung keine Veränderungen der Einzel- oder Gesamtzuckerkonzentrationen.

Tabelle 24: Veränderung des Aminosäurespektrums während der Kochung und Lagerung

	Aminosäure (mg/l)	ungekocht	gekocht	gekocht, gelagert
Fruktose	Asparagin	134,8	138,9	117,2
	Glutamin	90,7	10,9	9,9
	Arginin	169,7	171,8	144,7
	$\gamma$ -Aminobuttersäure	80,5	83,1	68,5
	Tyrosin	171,9	178,9	150,2
	Lysin	152,9	172,1	138,6
Maltose	Glutamin	86,3	17,5	29,2
	Histidin	82,7	82,6	74,3
	Tyrosin	179,2	178,7	169,9
	Lysin	165	153,1	139,2
Saccharose	Glutamin	80,6	4,9	7,7
	Tyrosin	174,4	151	160,3
Glukose	Asparaginsäure	77,6	81,9	67,2
	Glutamin	83,6	16,1	6,3
Xylose	Glutamin	79,4	12,2	17,8
	Histidin	71,1	70,7	35,1
	Tryptophan	23,3	23,5	12,9
Ribose	Glutaminsäure	115,4	95,1	96
	Glutamin	89,6	13,7	7,6
	Tyrosin	180,7	166,8	164,6
Arabinose	Glutamin	73,4	10,2	7,8
Galaktose	Glutamin	68,4	6,4	6,3

Die Analyse des Aminosäurespektrums ergibt, dass nur einige der zugesetzten Aminosäuren während der Kochung und Lagerung reagieren und abgebaut werden (Tabelle 24). Die Reaktivität ist zudem vom zur Verfügung stehenden Einzelzucker abhängig. Der Zucker, bei dem die größte Anzahl an Aminosäuren einen Abbau erfährt, ist die Fruktose. Bei sechs von 19 zugesetzten Aminosäuren kann hier ein Konzentrationsrückgang festgestellt werden. Die am wenigsten reaktiven Zucker sind die Arabinose und die Galaktose. Bei ihnen kann lediglich eine Abnahme der Glutaminmenge beobachtet werden. Die Konzentrationsverringerung des hitzeempfindlichen Glutamins ist bei allen Einzelzuckern festzuhalten. Sie beträgt zwischen etwa 65 % in der Maltoselösung, rund 80 % in der Xyloselösung und ungefähr 90 % bei allen anderen eingesetzten Zuckern. Eine Reduktion des Tyrosin-Gehaltes kann für Fruktose, Maltose und Saccharose gezeigt werden, Lysin nimmt nur durch den Zusatz von Fruktose und Maltose ab. Das heißt, dass alle

Aminosäuren mit hydrophilen Seitenketten während des Kochprozesses mit mindestens einem Zucker reagieren können. Umgekehrt werden Aminosäuren mit hydrophoben Seitenketten weder während des Kochprozesses, noch während der Lagerung durch die Reaktion mit einem in der Würze vorhandenen Zucker abgebaut.

#### 4.6 Auswirkung von Maillard-Produkten auf die reduzierenden Eigenschaften und die Geschmacksstabilität von Bieren

##### 4.6.1 Kommerziell hergestellte Biere

Einen Überblick über die reduzierenden Eigenschaften von Bieren gibt eine Marktanalyse von Handelsbieren, die anhand von 258 ober- und untergärigen Bieren durchgeführt wurde.

In Abbildung 47 sind die Farbe und das Reduktionsvermögen als die Mittelwerte der jeweiligen Biersorten (in Klammern die Anzahl an untersuchten Bieren) aufgetragen.

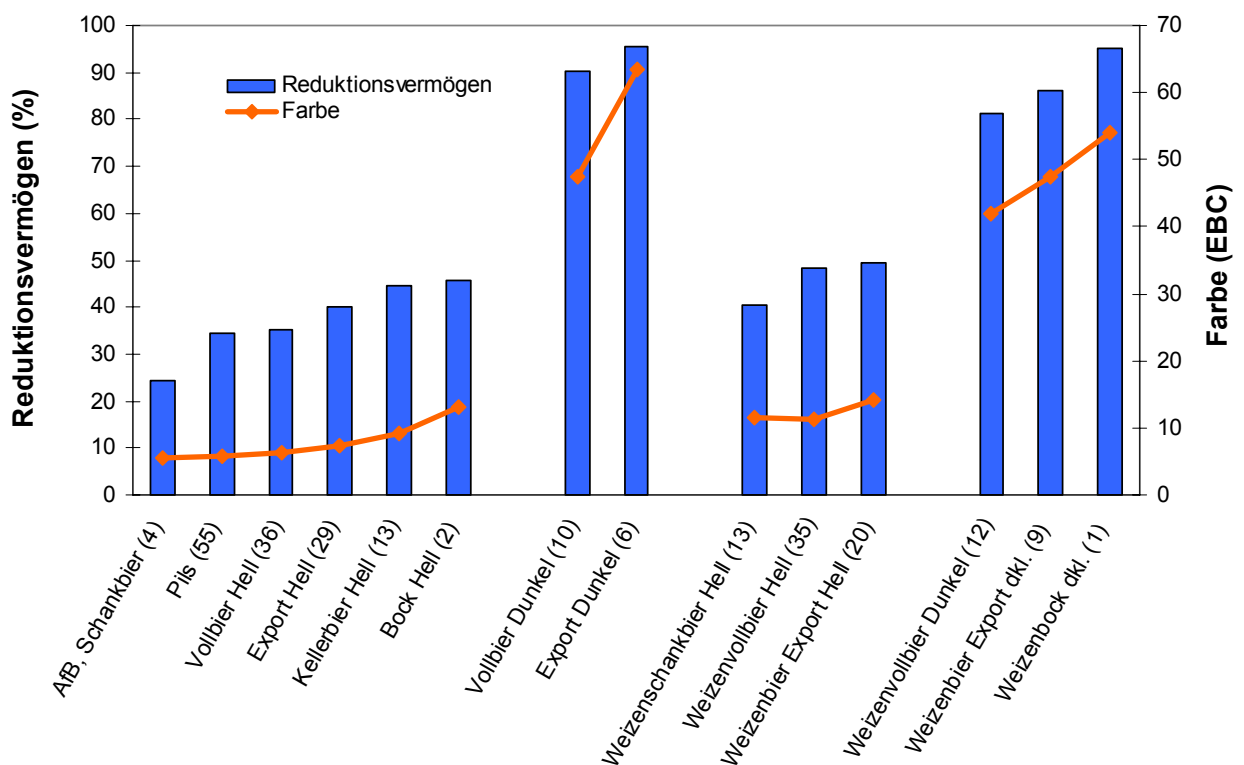


Abbildung 47: Bierfarbe und Reduktionsvermögen in Handelsbieren

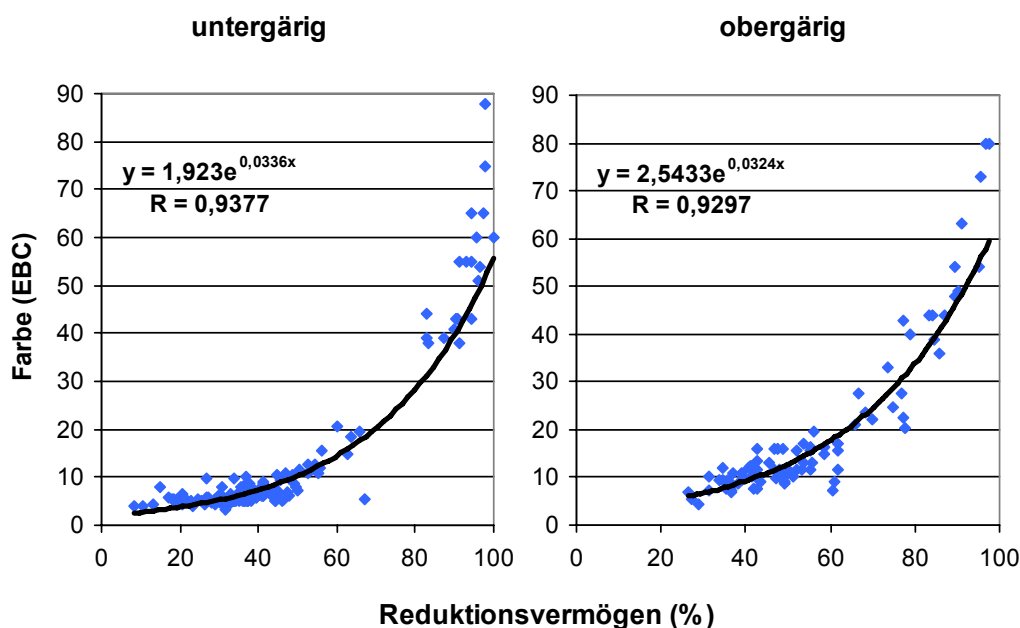


Abbildung 48: Zusammenhang zwischen der Bierfarbe und dem Reduktionsvermögen von ober- und untergärigen Bieren

Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Biersorten konnte mit dunkleren Bierfarben ein Anstieg des Reduktionsvermögens ermittelt werden. Aufgrund höherer Stammwürzegehalte sind ebenfalls höhere Werte festzustellen. Die Mittelwerte heller Biersorten schwanken zwischen 25 und 50 %, die der dunklen Biere sinken nicht unter 80 % ab.

Durch das Auftragen der Farbwerte der 164 untergärigen und 94 obergärigen Biere über dem Reduktionsvermögen (Abbildung 48) ist bei beiden Biergattungen ein exponentieller Anstieg der Farbe bei steigendem Reduktionsvermögen nachzuweisen. Dieser exponentielle Zusammenhang kann jedoch nur über alle Biersorten hinweg ermittelt werden, nicht aber innerhalb einer Sorte. Ein Zusammenhang zwischen dem Reduktionsvermögen in Bier und dem Verkostungsergebnis (Geschmacksstabilität) kann nicht nachgewiesen werden.

#### 4.6.2 Einfluss von Anbauort und Sorte auf das Reduktionsvermögen von Bier

Die Gerstensorte, aber auch die Aufwuchsbedingungen wie der Boden und das Klima, haben einen großen Einfluss auf die Eigenschaften des daraus hergestellten

Bieres. Aus diesem Grund wurden sieben verschiedene Gerstensorten (Abbildung 49) aus vier unterschiedlichen Standorten (Abbildung 50) nach MEBAK-Standard vermälzt, verbraut und auf ihre Reduktionskraft hin untersucht.

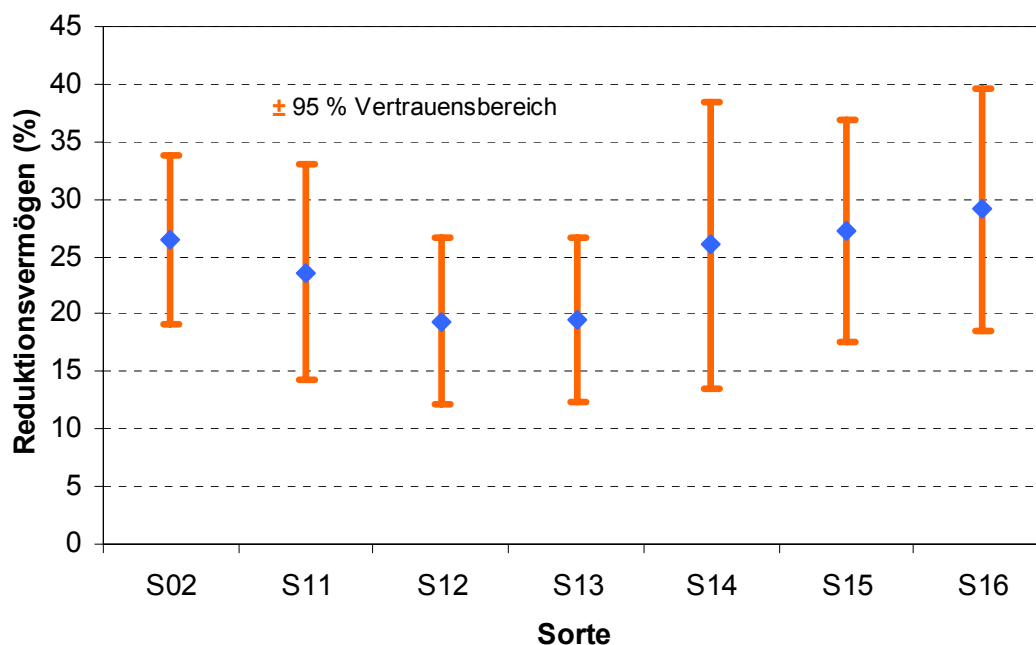


Abbildung 49: Einfluss der Gerstensorte auf das Reduktionsvermögen von Bier

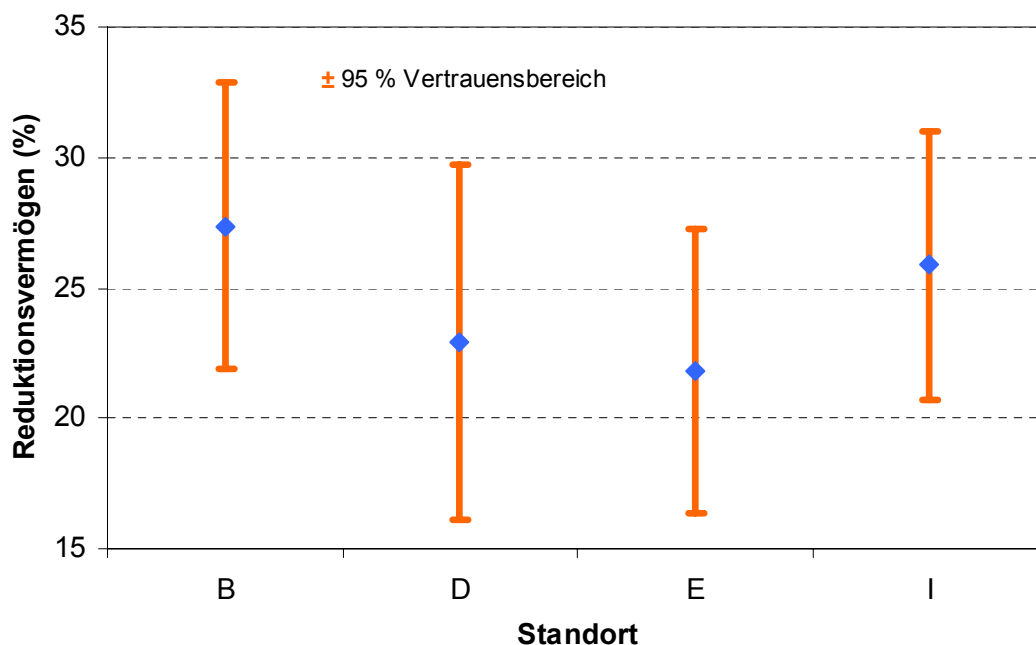


Abbildung 50: Einfluss des Gerstenanbauortes auf das Reduktionsvermögen von Bier

Durch den Vergleich der Mittelwerte aller Malzsorten bezüglich des Reduktionsvermögens können geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten

festgestellt werden. Die Werte schwanken dabei zwischen 19 und 29 %. Das niedrigste Reduktionsvermögen haben die Biere, die aus den Sorten S12 und S13 hergestellt wurden, die höchsten Werte kann für die Sorte S16 ermittelt werden. Durch die Berechnung des 95%-Vertrauensbereiches wird jedoch deutlich, dass statistisch gesehen keine Unterschiede zwischen den einzelnen Malzsorten vorliegen. Die Durchführung einer Varianzanalyse bestätigt dieses Ergebnis.

Die Überprüfung mehrerer Anbaugebiete ergibt lediglich tendenzielle Unterschiede für die verschiedenen Standorte. Die Analysenwerte schwanken zwischen 23 und 28 %. Die Berechnung des 95%-Vertrauensbereiches und die Durchführung einer Varianzanalyse ergeben, dass zwischen den einzelnen Standorten kein Unterschied beim Reduktionsvermögen besteht.

Es bleibt somit festzuhalten, dass sich zwischen den Gerstensorten und dem Gerstenanbaugebiet bezüglich des Reduktionsvermögens keine Unterschiede, weder im Malz (vgl. Kapitel 4.2), noch im Bier, ergeben.

#### 4.6.3 Veränderung von Maillard-Produkten im Laufe des Brauprozesses

Um das Bild möglicher Konzentrationsänderungen von Maillard-Produkten während des gesamten Brauprozesses zu vervollständigen, wurde mit dem Braumalz 1 und dem Braumalz 4 eine Überprüfung der Bierbereitung durchgeführt.

In Abbildung 51 sind die Veränderungen des Reduktionsvermögens und der Farbe während des Bierbereitungsprozesses dargestellt. Wie aufgrund vorangegangener Ergebnisse zu erwarten war (vgl. Kapitel 4.3), sind die Werte, die aus den Proben des Braumalzes 4 resultieren, sowohl im Reduktionsvermögen als auch in der Farbe höher als die aus dem Braumalz 1. Das niedrigste Reduktionsvermögen, aber auch die hellsten Farben können für die Pfannevoll-Würze ermittelt werden, bedingt durch eine Verdünnung der Würze durch die Nachgüsse. Aufgrund des Kochprozesses steigen das Reduktionsvermögen und die Farbe in beiden Würzen an.

Zum Ende der Hauptgärung sinkt das Reduktionsvermögen beim Braumalz 1 stark ab und bleibt dann bis zum filtrierten Bier beinahe konstant. Im abgefüllten Bier sinkt der Wert des Reduktionsvermögens noch einmal leicht ab. Das Reduktionsvermögen des Bieres, das aus dem Braumalz 4 hergestellt wurde, zeigt denselben Verlauf mit

der Ausnahme, dass dort keine Abnahme von Anstellwürze zu Ende der Hauptgärung erfolgt.

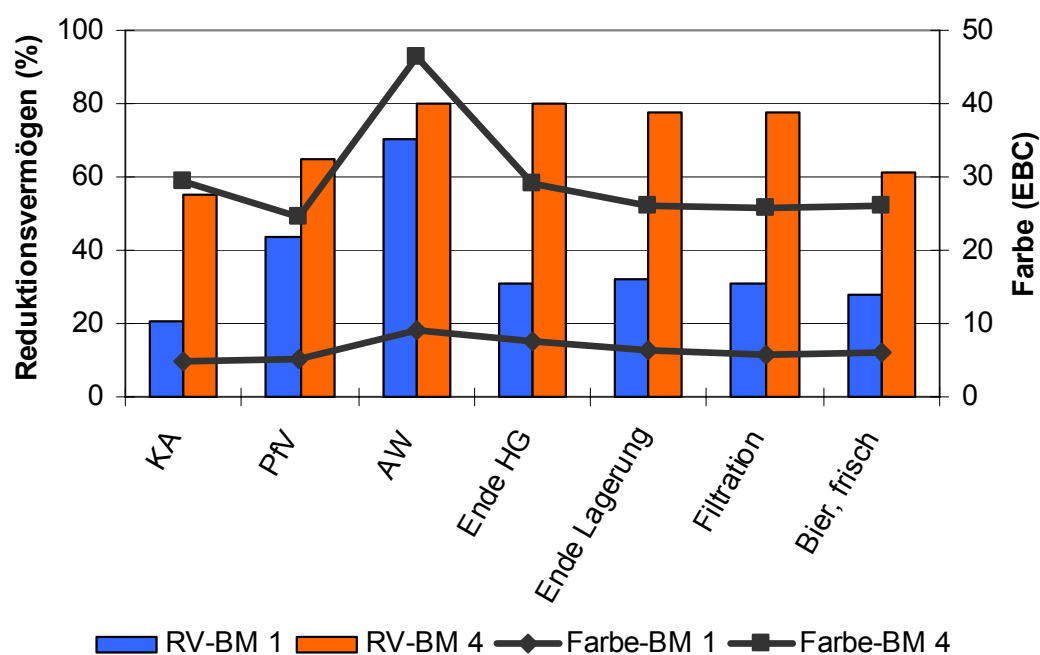


Abbildung 51: Veränderung des Reduktionsvermögens und der Farbe während des Brauprozesses

Die Farbwerte sind am Ende der Hauptgärung in beiden Fällen niedriger als in der Anstellwürze und sind dann im Verlauf bis ins fertige Bier beinahe konstant.

Letztendlich werden in beiden Bieren, sowohl beim Reduktionsvermögen als auch bei der Farbe ähnliche Werte festgestellt, wie sie bereits im Kaltauszug gemessen wurden.

Abbildung 52 zeigt die prozentuale Veränderung der TBZ im Verhältnis zum jeweiligen Kaltauszug während des Brauprozesses. Wie für das Reduktionsvermögen und die Würzefarbe sind auch bei der Ermittlung der TBZ die niedrigsten Werte in der Pfannevoll-Würze zu ermitteln und liegen knapp 30 % unter den Ergebnissen, die für den Kaltauszug bestimmt wurden. Bis zur Anstellwürze nimmt die TBZ stark zu. Während jedoch für das dunklere Braumalz 4 ein Anstieg auf etwa 20 % über dem Kaltauszug zu finden ist, steigt die TBZ des Braumalzes 1 auf fast 180 % relativ zum Kaltauszug an. Die Absolutwerte für die Zunahme betragen 19 Einheiten für das Braumalz 1 und 70 Einheiten für das Braumalz 4. Bis zum Ende der Lagerung kommt es in beiden Fällen zu einem Absinken der TBZ. Dabei wird für das Braumalz 1 ein Wert von rund 40 % über dem Kaltauszug ermittelt, wohingegen die TBZ des Braumalzes 4 auf 96 % des Kaltauszuges



abnimmt. Im abgefüllten Bier werden Werte von 133 % bzw. 95 % für die Braumalze 1 und 4 relativ zum Kaltauszug festgestellt.

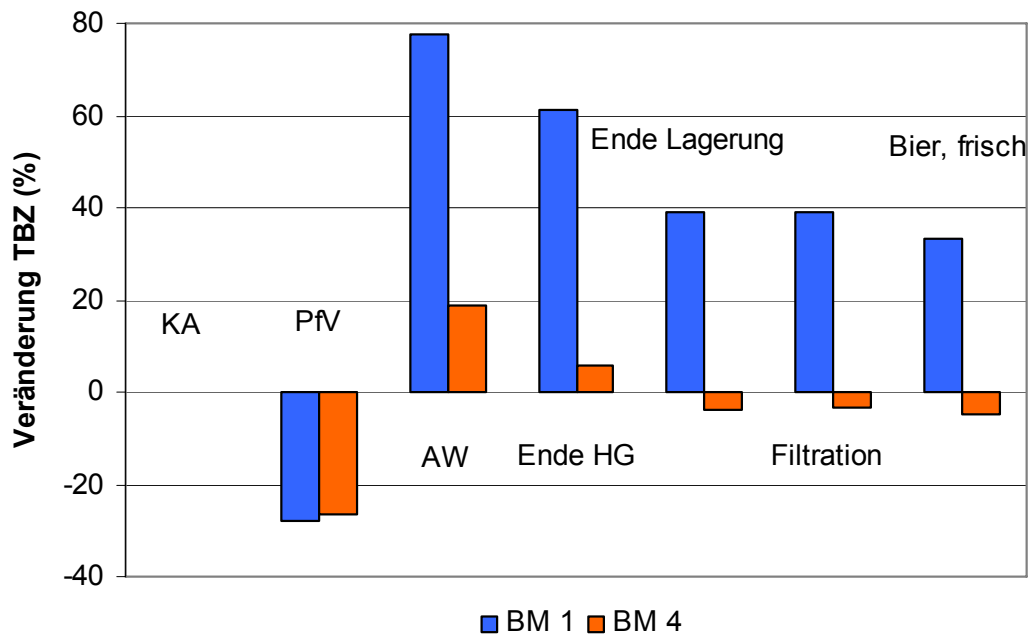


Abbildung 52: Veränderung der TBZ während des Brauprozesses

Die Analyse des Pronyl-L-Lysins ergibt analog zum Reduktionsvermögen, der Farbe und der TBZ höhere Analysenwerte für das Braumalz 4 (Abbildung 53). Während des Würzekochprozesses kommt es bei beiden Versuchsreihen zu einem Anstieg des Pronyl-L-Lysin-Gehaltes. Von der Anstellwürze bis zum abgefüllten Bier können nur noch kleinere Veränderungen der Pronyl-L-Lysin-Menge beobachtet werden. Durch eine forcierte Alterung des Bieres oder auch aufgrund einer 3monatigen natürlichen Lagerung lassen sich keine signifikanten Änderungen im Pronyl-L-Lysin-Gehalt feststellen.

Auffällig ist die unterschiedliche Konzentrationszunahme des Pronyl-L-Lysins während des Brauprozesses. Vom Maischende bis ins Bier kann für das Braumalz 1 ein Anstieg um über 400 % verzeichnet werden. Im Vergleich dazu nimmt die Pronyl-L-Lysin-Konzentration beim Braumalz 4 lediglich um 25 % zu. Bei Betrachtung des Absolutniveaus der beiden Biere wird jedoch deutlich, dass der Pronyl-L-Lysin-Gehalt des Braumalzes 4 mehr als doppelt so hoch ist wie der des Braumalzes 1.

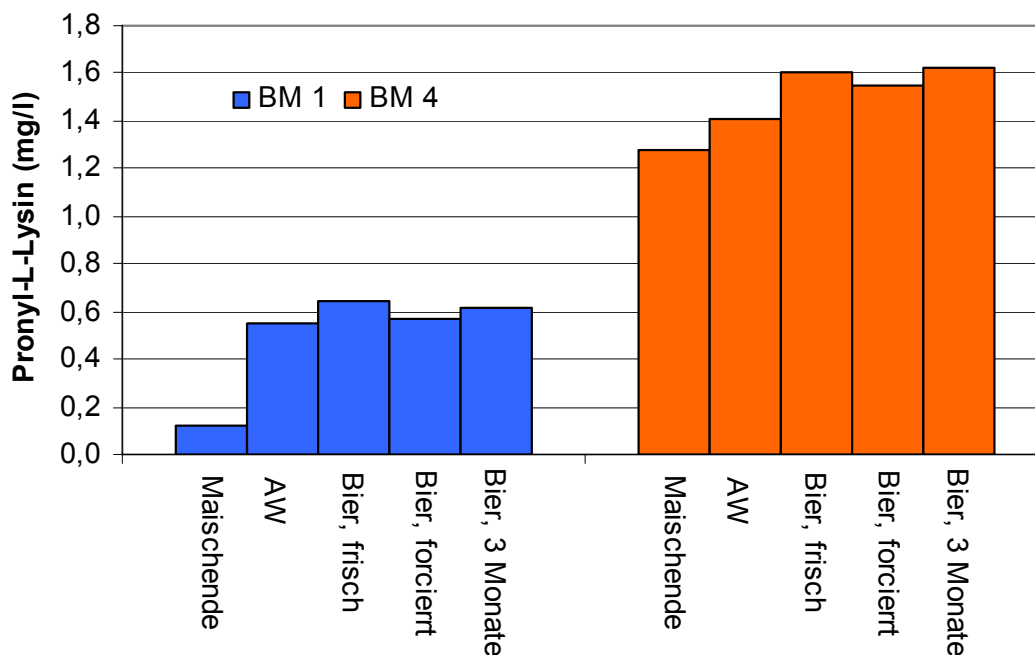


Abbildung 53: Veränderung des Pronyl-L-Lysins während des Brauprozesses

#### 4.6.4 Auswirkung einer Melanoidinzugabe auf die Würze- und Bierbereitung

Um die Auswirkung von Melanoidinen auf den Biergeschmack zu untersuchen, wurden zwei Biere hergestellt, wobei dem einen zum Einmischen ein Modellmelanoidin zugefügt wurde.

Tabelle 25: Analysenwerte von BM 1 mit und ohne Zusatz des Modellmelanoidins

	BM 1	BM 1 + Melanoidin
Strecker-Aldehyde, PfV ( $\mu\text{g/l}$ )	424	412
TBZ, PfV	13	96
DLG, frisch	4,20	4,10
DLG, forciert	3,89	3,60
Farbe, Bier (EBC)	4,9	8,7
TBZ, Bier	22	75
Gesamt-Stickstoff, Bier, 12 GG% (mg/l)	398	770
FAN, Bier, 12 GG% (mg/l)	119	186
Gesamtpolyphenole, Bier (mg/l)	153	95
Alterungsindikatoren, Bier, forciert ( $\mu\text{g/l}$ )	96	198

Auffällig ist, dass die Strecker-Aldehyd-Konzentrationen in der Pfannevoll-Würze beider Würzen sehr ähnlich sind und sich die TBZ-Werte im Gegensatz dazu stark voneinander unterscheiden. Durch die Zugabe des Melanoidins steigt die TBZ auf

über das 7fache des 0-Sudes an (Tabelle 25). Die sensorische Beurteilung der Biere ergibt deutliche Abweichungen im forciert gealterten Zustand. Diese Unterschiede sind auf eine deutlich schlechtere Bewertung von Geruch und Trunk des Bieres mit Melanoidinzusatz zurückzuführen.

Gleichzeitig mit den schlechteren Verkostungsergebnissen für das Bier „BM 1 + Melanoidin“ sind ein deutlich höherer TBZ-Wert, eine dunklere Farbe und eine gesteigerte Stickstoffkonzentration festzustellen. Die Analyse der Alterungsindikatoren ergibt zudem eine höhere Konzentration an 3-Methyl-Butanal, Furfural, Phenylethanal und somit auch eine erhöhte Menge an Alterungsindikatoren im forciert gealterten Bier. Im Bier, das mit dem Modellmelanoidin versetzt wurde, ist darüber hinaus die Gesamtpolyphenolmenge deutlich reduziert.

Durch die Messung der Chemilumineszenz wird der Einmischvorgang beim Braumalz 1 mit und ohne die Zugabe des Modellmelanoidins simuliert. Die Anzahl der Counts gibt die Menge an Oxidationsreaktionen an, die innerhalb einer gewissen Zeitspanne nach dem Einmischen ablaufen. Abbildung 54 macht deutlich, dass durch die Zugabe des Melanoidins mehr Oxidationsreaktionen ablaufen als ohne, wobei der Unterschied der gemessenen Counts zwischen den beiden Proben mehr als 10 % beträgt.

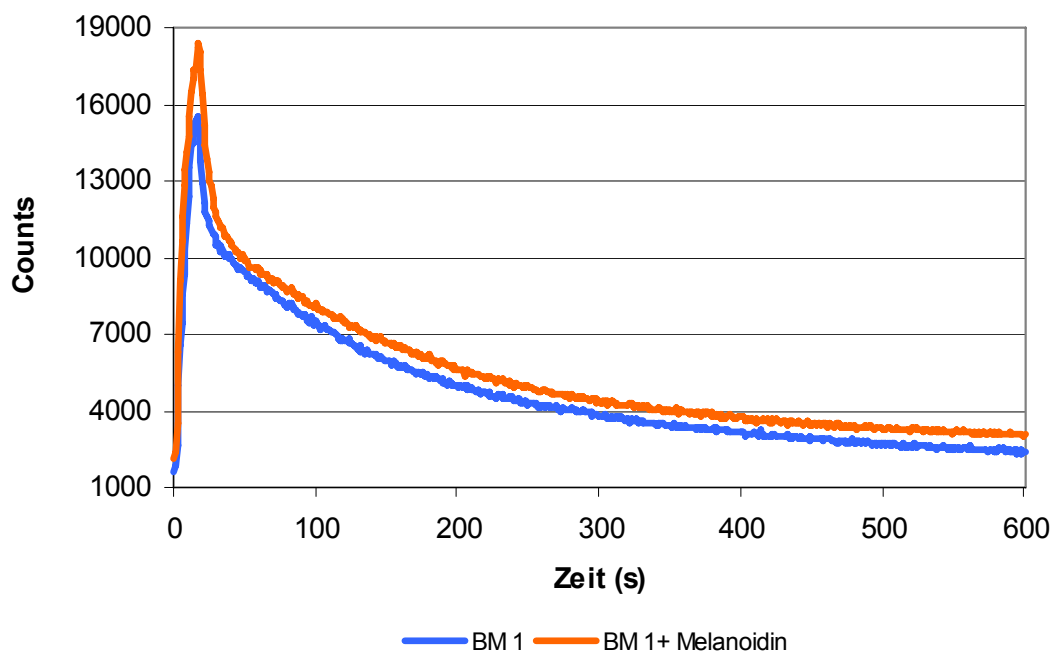


Abbildung 54: Chemilumineszenz-Messung von BM 1 mit und ohne Zusatz des Modellmelanoidins

#### 4.6.5 Brauversuche mit Malzen gleicher TBZ („Iso-TBZ“)

Um die Auswirkungen verschiedener Abdarrtemperaturen auf das Ausmaß der Maillardreaktion zu untersuchen, gleichzeitig den Einfluss einer unterschiedlichen Malzbereitung auszuschließen und um eine ähnliche Ausgangssituation zu schaffen, wurden verschiedene Malze hergestellt, die während des Darrprozesses derselben Hitzebelastung ausgesetzt waren, jedoch bei unterschiedlichen Temperaturen von 70, 80 und 90 °C abgedarrt wurden. Ausschlaggebendes Analysenkriterium war hierbei der TBZ-Wert.

Um diesem Kriterium gerecht zu werden, musste das Grünmalz 15 h 15 min bei 70 °C abgedarrt werden, während sich die Darrzeit bei 80 °C auf 3 h 50 min, bei 90 °C sogar auf eine Stunde verkürzte.

Tabelle 26 zeigt einen Auszug aus der Malzanalyse der drei verschiedenen Malze. Auffallend ist, dass nicht nur die Werte für die TBZ gleich sind, sondern dass sich die Malze auch in den übrigen Analysenmerkmalen kaum unterscheiden. Kleine Unterschiede sind lediglich in der Höhe des DMS-Vorläufers und im Pronyl-L-Lysin-Gehalt festzustellen. Es zeigt sich, dass der DMS-P-Gehalt trotz einer mehr als 15-stündigen Abdarrzeit bei 70 °C deutlich über dem der beiden anderen Malze liegt. Die Konzentration des Pronyl-L-Lysins nimmt tendenziell zu, je höher die Abdarrtemperatur ist.

Tabelle 26: Malzanalyse der „Iso-TBZ“-Malze

	70 °C	80 °C	90 °C
Farbe (EBC)	4,3	4,2	4,2
Kochfarbe (EBC)	4,6	4,6	4,6
Rohprotein (%)	9,8	9,7	9,7
löslicher N (mg/100 g TrS.)	602	611	611
TBZ, KA	11	11	12
DMS-P (ppm)	5,5	4,6	4,3
Pronyl-Lysin (mg/l)	0,16	0,18	0,21

In Tabelle 27 sind die Veränderungen von Maillard-Produkten und Analysenmerkmalen, die Rückschlüsse auf Maillard-Produkte zulassen, vom Malz bis hin zur Anstellwürze dargestellt. Die Werte für die TBZ sinken infolge des Abläuterns und der damit einhergehenden Verdünnung durch das Anschwänzen der Würze auf Werte von 7 bzw. 8 TBZ-Einheiten ab. Aufgrund der anschließenden Kochung und dem damit verbundenen Hitzeeintrag steigt die TBZ bis zur

Anstellwürze auf 20–22 Einheiten an. Zwischen den drei Malzen lassen sich somit weder im Malz und der Pfannvoll-Würze, noch in der Anstellwürze Unterschiede bei der Entwicklung der TBZ erkennen.

Tabelle 27: Veränderung der Maillard-Produkte bis zum Anstellen

	70 °C	80 °C	90 °C
TBZ, Malz, KA	11	11	12
TBZ, PfV	7	8	8
TBZ, AW	20	22	21
2-Furfural, Malz (µg/l)	63	56	80
2-Furfural, PfV (µg/l)	16	14	15
2-Furfural, AW (µg/l)	30	30	26
Σ Strecker-Aldehyde, Malz (µg/l)	582	561	668
Σ Strecker-Aldehyde, PfV (µg/l)	174	158	176
Σ Strecker-Aldehyde, AW (µg/l)	72	73	66

Eine Analyse der Malzaromastoffe zeigt signifikante Unterschiede im 2-Furfural und bei der Summe der Strecker-Aldehyde. Bei beiden Analysenmerkmalen weist das bei 90 °C abgedarrte Malz die höchsten Werte auf, die niedrigsten Werte sind jeweils im 80-°C-Malz aufzufinden. Die 2-Furfural-Konzentrationen in der Pfannevollwürze liegen bei 14–16 µg/l und steigen bis zur Anstellwürze auf etwa den doppelten Wert an. Sowohl in der Pfannevoll-, als auch in der Anstellwürze sind keine Unterschiede zwischen den drei Würzen festzustellen. Die Summe der Strecker-Aldehyde in der Pfannevoll-Würze ist wie bei der Analyse der Malzaromastoffe am niedrigsten bei dem Malz, das mit 80 °C abgedarrt wurde. Die Konzentration der beiden anderen Würzen ist gleich, ebenso wie die Konzentrationen aller drei Würzen in der Anstellwürze. Hier ist jedoch zu erwähnen, dass die Summe der Strecker-Aldehyde von der Pfannevoll-Würze bis zur Anstellwürze im Gegensatz zum 2-Furfural aufgrund von Ausdampfung oder Weiterreagieren im Laufe der Würzekochung abnimmt.

Tabelle 28: Bieranalysen der „Iso-TBZ“-Biere

	70 °C	80 °C	90 °C
TBZ, Bier	14	15	15
Farbe, Bier (EBC)	4,4	4,6	4,3
Reduktionsvermögen (%)	14	17	16
Pronyl-L-Lysin, Bier, frisch (mg/l)	0,50	0,48	0,66
Σ Alterungskomponenten, forciert (µg/l)	65	52	66
Schaum, NIBEM (s)	209	218	259

Tabelle 28 zeigt die Analysenwerte der „Iso-TBZ“-Biere. Auffällig ist, dass die TBZ-Werte, wie bereits im gesamten Brauverlauf, für alle drei Biere identisch sind. Keine Unterschiede können ebenfalls in der Bierfarbe und im Reduktionsvermögen der Biere gefunden werden. Die Analyse des Pronyl-L-Lysin-Gehaltes erbrachte, dass die Konzentration in dem Bier, das aus dem 90-°C-Malz hergestellt wurde, mit 0,66 mg/l am höchsten ist. Die Pronyl-L-Lysin-Menge in den beiden anderen Bieren ist gleich und liegt bei 0,48 und 0,50 mg/l. Die niedrigste Konzentration an Alterungskomponenten mit 52 µg/l wird in dem Bier, hergestellt aus dem 80-°C-Malz, gefunden, während die Mengen in den anderen Bieren mit 65 bzw. 66 µg/l gleich groß sind. Die Mengen, die in den drei Bieren nachzuweisen sind, sind jedoch allgemein als niedrig zu bewerten. Durch die Schaumanalyse kann festgestellt werden, dass die Biere aus dem 70 und dem 80-°C-Malz ähnliche Ergebnisse liefern, der Schaum des Bieres aus dem 90-°C-Malz aber deutlich stabiler ist.

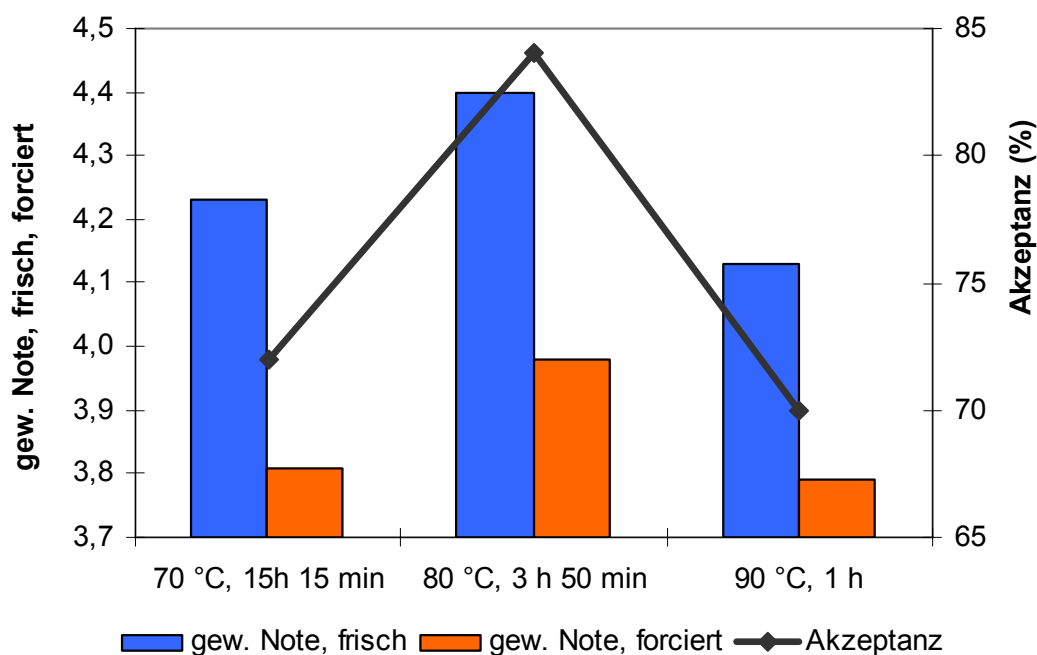


Abbildung 55: Verkostungsergebnisse der „Iso-TBZ“-Biere

Bei der DLG-Verkostung der Biere wird das Bier aus dem 80-°C-Malz am besten bewertet (Abbildung 55). Es wird im frischen Zustand mit einer Gesamtnote von 4,40 bewertet. Die beiden anderen Biere erreichen schlechtere Noten von 4,23 und 4,13. Dabei muss erwähnt werden, dass im 70-°C-Bier eine untypische, grüne, schwelkmalartige Note eine bessere Bewertung des frischen Bieres verhinderte.

Die Verkostung der forciert gealterten Biere zeigt ein ähnliches Ergebnis. Die gewichtete Note des Bieres aus dem 80-°C-Malz beträgt 3,98, während die Biere, die mit dem 70 und dem 90 °C abgedarrten Malz hergestellt wurden, lediglich eine Bewertung von 3,81 und 3,79 erhalten. Die Alterungsverkostung und auch die Akzeptanz der forciert gealterten Biere bestätigen die vorangegangenen Verkostungen. Hier wird ebenfalls das 80-°C-Bier deutlich besser beurteilt als die beiden anderen Biere, die ein ähnliches Ergebnis erzielen.

#### 4.6.6 Herstellung von Bieren gleicher Farbe aus unterschiedlichen Malzmischungen („Iso-Farbe“)

Die Menge an Maillard-Produkten, die in den Brauprozess eingebracht wird, stammt zum größten Teil aus dem Malz. Aus diesem Grund kommen bei der Bierproduktion oftmals Malzmischungen zum Einsatz, um eine bestimmte Bierfarbe oder einen bestimmten Biercharakter zu erzielen. Um die Effekte verschiedener Malzmischungen auf die Menge an Maillard-Produkten und die Bierqualität zu erforschen, wurden drei Biere produziert, welche dieselbe Farbe aufwiesen, jedoch aus unterschiedlichen Malzmischungen hergestellt wurden.

Tabelle 29: Farben der einzelnen Malze und der Malzmischungen

	Farbe	Kochfarbe	Bierfarbe
BM 1	3,7	6,3	6,1
BM 4	17	23	26
KM 2	26	33	-
71,2 % BM 1 + 28,8 % BM 4	7,6	11	11
100 % BM 2	7,2	11	11
81,9 % BM 1+ 18,1 % KM 2	8,6	12	13

Die Berechnung der Malzmischungen erfolgte auf Grundlage der Kochfarbe. In Tabelle 29 ist gezeigt, dass durch die Ermittlung der Kochfarbe der Mischungen eine gute Möglichkeit zur Abschätzung der resultierenden Bierfarbe gegeben ist. Die Farbe des Braumalzes 2 diente als Referenzfarbe für eines der drei Biere und wurde mit einem Schüttungsanteil von 100 % ohne weiteres Zumischen verbraut. Der Hauptschüttungsanteil der beiden anderen Biere war das Braumalz 1, das zum einen mit knapp 30 % Braumalz 4 und zum anderen mit ungefähr 18 % Karamellmalz 2

gemischt wurde. Das Resultat sind Bierfarben, die lediglich um 2 EBC-Farbeeinheiten voneinander abweichen.

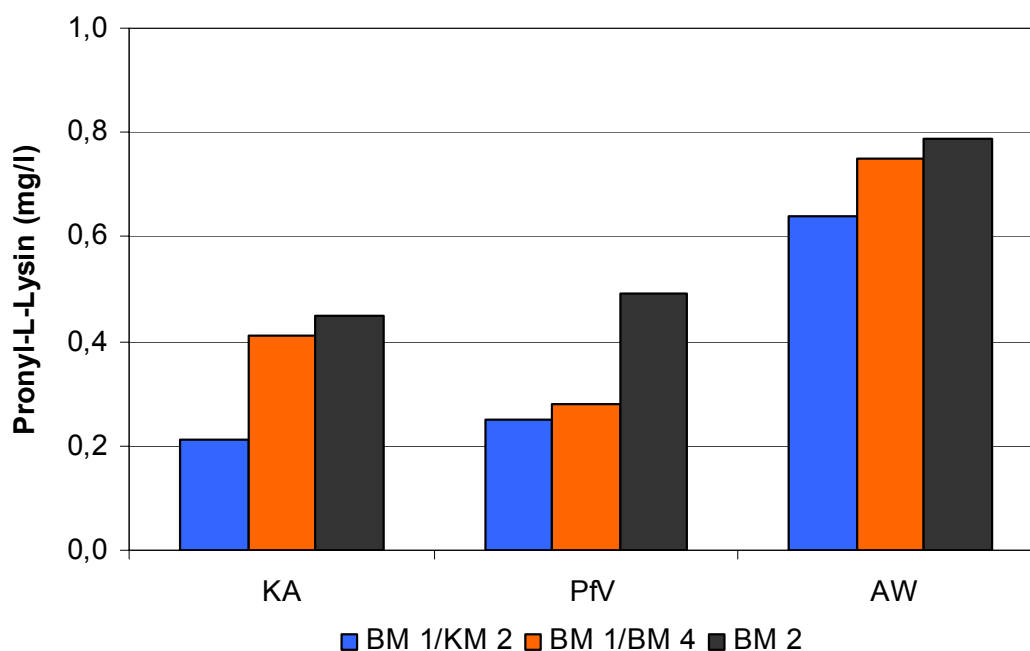


Abbildung 56: Unterschiede im Pronyl-L-Lysin-Gehalt der verschiedenen Würzen

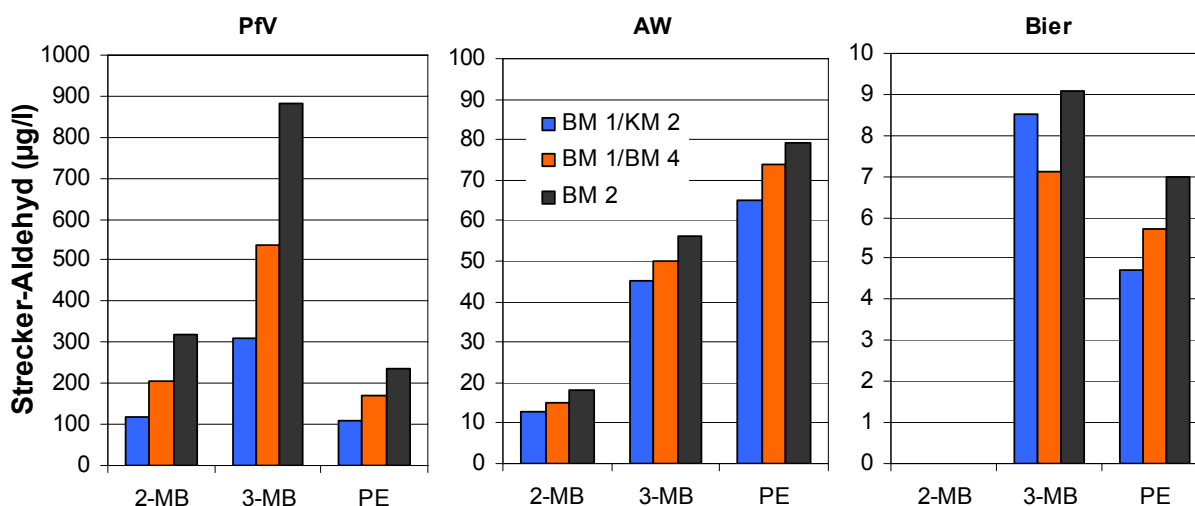


Abbildung 57: Strecker-Aldehyde während des Brauprozesses

In Abbildung 56 ist die Konzentrationsänderung von Pronyl-L-Lysin in verschiedenen Stufen der Würzebereitung abgebildet. Unabhängig vom Produktionsschritt werden die größten Mengen des Melanoidinstrukturelements in der Würze gefunden, die zu 100 % aus dem Braumalz 2 hergestellt wurde. Die niedrigsten Konzentrationen



können dagegen jeweils für die Würze aus der Mischung Braumalz 1/Karamellmalz 2 ermittelt werden.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich durch die Analyse der Strecker-Aldehyde der verschiedenen Würzen und Biere. Dies ist in Abbildung 57 anhand der Strecker-Aldehyde 2-Methylbutanal, 3-Methylbutanal und Phenylethanal dargestellt.

Die Strecker-Aldehyd-Konzentration nimmt von der Pfannevoll-Würze zur Anstellwürze und auch von der Anstellwürze bis zum Bier etwa um den Faktor 10 ab. Die geringsten Mengen können auch hier für die Mischung aus dem Braumalz 1/Karamellmalz 2 festgestellt werden, während das Braumalz 2 die höchsten Konzentrationen aufweist. Der dominierende Aldehyd in der Pfannevoll-Würze ist das 3-Methylbutanal. Das Phenylethanal, für das in der Pfannevoll-Würze nur die dritthöchste Menge nachgewiesen wird, nimmt bis hin zur Anstellwürze weniger stark ab als das 2- und 3-Methylbutanal und ist dort der konzentrationstärkste Aldehyd. Im fertigen Bier sind das 3-Methylbutanal und das Phenylethanal etwa in gleicher Menge vorhanden, das 2-Methylbutanal kann nicht mehr nachgewiesen werden.

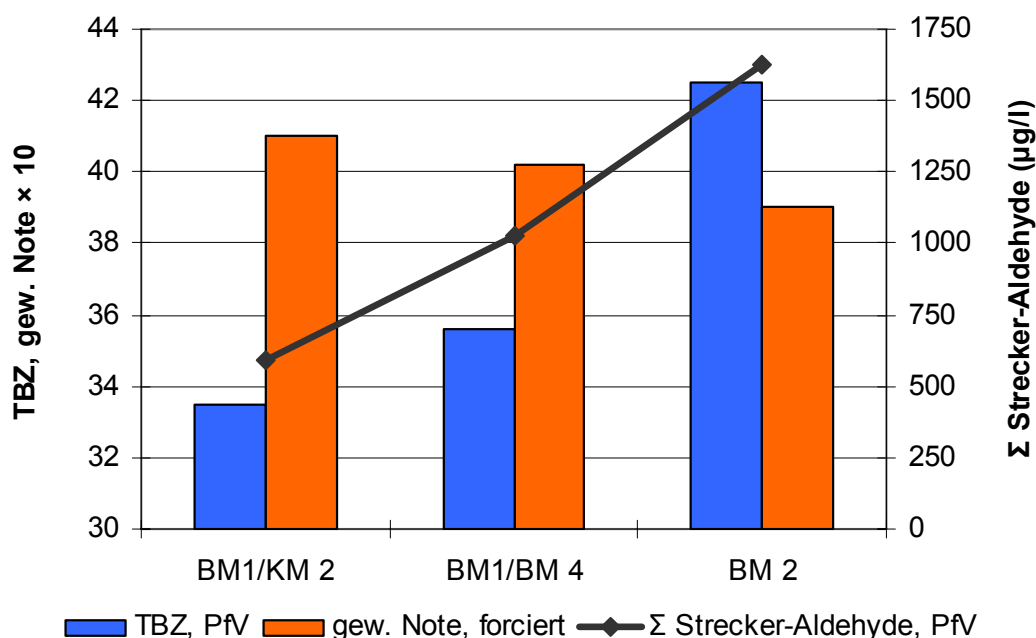


Abbildung 58: Verkostungsergebnis der verschiedenen Biere

Die sensorische Beurteilung ergibt das beste Ergebnis für das Bier, das aus der Malzmischung Braumalz 1/Karamellmalz 2 hergestellt ist. Am schlechtesten wird das Bier aus 100 % Braumalz 2 bewertet (Abbildung 58). Dies gilt sowohl für die

Verkostung im frischen Zustand, als auch für die des forciert gealterten Bieres. Damit ist gleichzeitig mit steigenden Mengen des Modellmelanoidins und der Strecker-Aldehyde ein schlechteres Verkostungsergebnis verbunden, während das Bier mit den niedrigsten Konzentrationen die beste Bewertung erhält. Dies gilt ebenso für die Höhe der TBZ des Kaltauszuges und der Pfannevoll-Würze, sowie für die Gesamtsumme der Strecker-Aldehyde in der Pfannevoll-Würze.

#### 4.6.7 Beurteilung der Geschmacksstabilität von Bier anhand Maillard-beeinflusster Analysenmerkmale

Ausgehend von den bislang gewonnenen Daten und Erfahrungen wurde versucht, die Geschmacksstabilität von Bieren anhand von Analysenmerkmalen, die durch die Maillard-Reaktion beeinflusst sind, zu bestimmen.

Zur Untersuchung kamen dazu sechs verschiedene Handelsmalze, deren Weich- und Keimdauer jeweils sieben Vegetationstage betrug und ähnlich, wenn auch auf unterschiedlichen Darrsystemen (vgl. Tabelle 8), abgedarrt wurden. Eine Ausnahme bildet die Malzsorte 1a, deren Luftzufuhr während der Keimzeit auf Umluft gestellt wurde, um eine CO<sub>2</sub>-Anreicherung der Luft zu erreichen.

Tabelle 30: Verkostungsergebnis der verschiedenen Biere

Analyse ↓	Sorte →	1a	6	1b	5	7	3
DLG, frisch		4,49	4,35	4,32	4,32	4,29	4,57
DLG, forciert		4,16	4,12	4,06	4,00	3,88	3,78
Akzeptanz, forciert (%)		90,0	83,3	78,3	75,0	60,0	60,0

In Tabelle 30 sind die Verkostungsergebnisse der unterschiedlichen Biere angegeben. Es zeigt sich, dass das Bier, welches aus dem CO<sub>2</sub>-Malz hergestellt wurde, im forciert gealterten Zustand und auch in der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres die beste sensorische Bewertung erhält. Das frische Bier der Sorte 1a wird als Zweitbestes bewertet. Besser eingestuft wird das Bier der Sorte 3, das jedoch durch die forcierte Lagerung am Schlechtesten abschneidet.

Die im Malz und in der Würze gezeigten Beziehungen zwischen der TBZ, der Farbe und dem Reduktionsvermögen können in den Bieren nicht mehr gefunden werden. Keine Zusammenhänge mit den Verkostungsergebnissen ergeben sich für den SO<sub>2</sub>-

Gehalt und die Lag-Time, da die während der Gärung gebildeten Mengen an  $\text{SO}_2$  lediglich kleine Unterschiede aufweisen und die Lag-Time wiederum stark vom  $\text{SO}_2$ -Gehalt abhängt. Die summarischen Analysen der Stickstofffraktionen und der Polyphenole geben hier ebenfalls keine Auskunft über die zu erwartende Geschmacksstabilität.

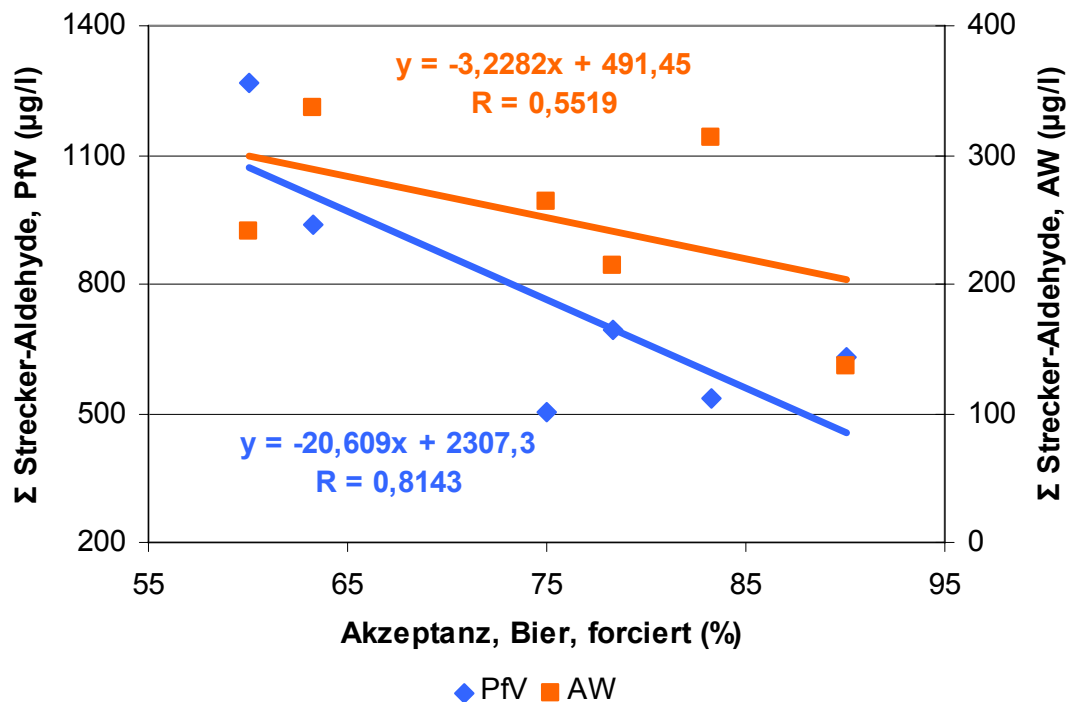


Abbildung 59: Zusammenhang zwischen der Summe an Strecker-Aldehyden und der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres

Zur Beurteilung der Geschmacksstabilität eignet sich jedoch, wie in Abbildung 59 gezeigt, die Gesamtsumme der Strecker-Aldehyde aus der Pfannevoll-Würze. Mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R = 0,8143^*$  kann ein signifikanter Zusammenhang zu den Verkostungsergebnissen gefunden werden, der jedoch für die Summe der Strecker-Aldehyde in der Ausschlagwürze nicht festgestellt werden kann.

Weitere Abhängigkeiten zur Verkostung sind in Abbildung 60 aufgezeigt. Zwischen der TBZ, sowohl aus dem Malz, als auch aus der Pfannevoll-Würze ergeben sich mit den Korrelationskoeffizienten von 0,9707 bzw. 0,9442 signifikante Zusammenhänge zur Verkostung auf einem Signifikanzniveau von 99,9 %.

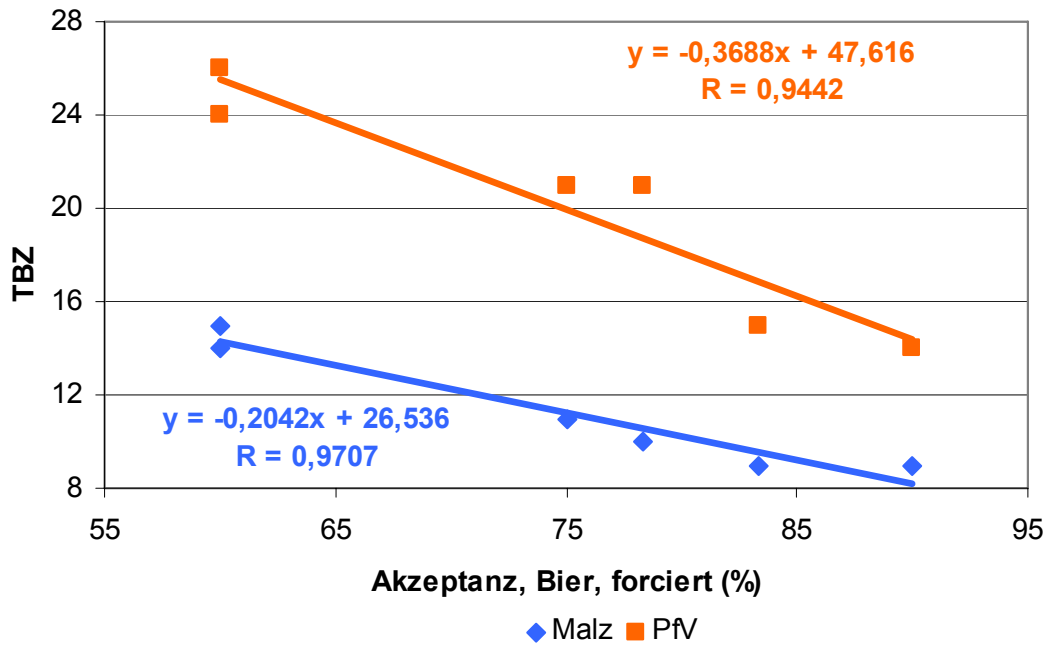


Abbildung 60: Zusammenhang zwischen der TBZ der Pfannevoll-Würze und der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres

## 5 Diskussion

Die zwei neben dem Schaum auffälligsten Merkmale eines Bieres, die Farbe und das Aroma, sind sehr stark vom Typ des eingesetzten Rohstoffes Malz abhängig. Die Ausbildung dieser beiden Malzeigenschaften erfolgt während der so genannten Maillard-Reaktion. Im Zuge dieser nicht-enzymatischen Bräunungsreaktion reagieren reduzierende Zucker und Aminoverbindungen miteinander und es entstehen viele flüchtige und nicht-flüchtige Substanzen [110, 194, 197], denen neben der Farbgebung [47, 92, 95, 193, 228] und einer Aromaaktivität [108, 136, 137, 222, 275] auch noch andere Eigenschaften wie eine antioxidative Wirksamkeit nachgesagt werden. [32, 46, 65, 155, 221, 239, 265, 275]

Die Maillardreaktion kommt nie zum Stillstand; sie läuft auch bei den niedrigen Temperaturen der Bierlagerung ab. [270, 277] Aus diesem Grund ist während des gesamten Malz- und Bierbereitungsprozesses mit Veränderungen zu rechnen, die auf die Maillard-Reaktion zurückzuführen sind.

### 5.1 Einfluss der Malzbereitung und des Malztyps auf die Menge von Maillard-Produkten

Das Malz ist der einzige Rohstoff, durch den Maillard-Produkte in den Bierbereitungsprozess eingebracht werden. Gleichzeitig geraten durch das eingesetzte Malz auch die notwendigen Reaktanden in den Brauprozess, sodass im Laufe der Bierherstellung, im Zuge der Maillard-Reaktion, weitere Reaktionsprodukte entstehen können. Da je nach Weich-, Keim- und Darrbedingungen des Malzes unterschiedliche Maillard-Produkte entstehen [135, 179, 180, 178], die verschiedene Eigenschaften aufweisen, kommt der Malzherstellung eine Schlüsselrolle in Bezug auf die späteren Würze- und Biereigenschaften zu. [51]

Bis zum fünften Keimtag gilt: Je länger die Keimdauer des Grünmalzes ist, umso mehr vergärbare Zucker und für die Maillardreaktion wichtige Aminosäuren werden gebildet. Ab dem siebten Keimtag muss aufgrund zu großer Keimaktivität mit einem vermehrten Wachstumsschwund gerechnet werden, wodurch die Menge der

Reaktanden für die Maillard-Reaktion wieder absinkt (Tabellen 15 und AH 1). Die Ergebnisse, die in Kapitel 4.1.1 beschrieben sind, geben einen klaren Hinweis darauf, dass die Konzentration des Melanoidinstrukturelements Pronyl-L-Lysin und damit der Gehalt an Melanoidinen von der Keimung beeinflusst wird. Wie in Abbildung 23 dargestellt, zeigen die Gesamtmenge an vergärbaren Zuckern und die quantitative Analyse des Pronyl-L-Lysins Übereinstimmungen bezüglich ihres Verlaufs während der Keimung. Dies bestätigt zudem andere Ergebnisse, nach denen das Pronyl-L-Lysin aus Zuckern mit niedrigem Molekulargewicht gebildet wird. [145, 146, 231] Im Gegensatz zum Pronyl-L-Lysin-Gehalt, der stark an die Bildungsmenge der Gesamtzucker gekoppelt zu sein scheint, werden Maillard-Produkte einer früheren Phase auch nach dem fünften Keimtag gebildet, jedoch in verlangsamter Geschwindigkeit (Abbildung 24).

Die Hitzebelastung während des Darrens setzt sich aus der Dauer und der Temperatur des Abdarrprozesses zusammen. Dabei ist die Abdarrtemperatur von größerer Bedeutung als die Abdarrlänge, da die Hitzebelastung, gemessen in Form der TBZ, über die Heizdauer linear verläuft, sie jedoch mit einer Steigerung von 70 auf 90 °C mit der 4fachen Geschwindigkeit abläuft (Kapitel 4.1.2). Diese hier gefundenen Ergebnisse stimmen überein mit anderen aus der Literatur, welche über die Heizdauer eine lineare und bei einer Temperaturerhöhung eine exponentiell steigende Hitzebelastung, aber beim Würzekochen, beschreiben. [47, 183, 225]

Linear mit der TBZ steigen auch die Farbe und der Gehalt an Pronyl-L-Lysin an (Abbildung 26). Das heißt, dass je höher die Hitzebelastung im Darrprozess ist, desto mehr werden nicht nur Maillard-Produkte der frühen und fortgeschrittenen Phase der Maillard-Reaktion, sondern auch umso mehr Melanoidine werden gebildet. In gleichem Umfang wie die Maillard-Produkte, steigt auch die Malzfarbe an, weswegen eine dunklere Färbung des Malzes ebenfalls auf eine verstärkte Bildung von Maillard-Produkten hindeutet. [53, 138, 180, 274]

Eine zu hohe Hitzebelastung, sei es in Form einer zu hohen Abdarrtemperatur oder auch einer zu langen Würzekochdauer wird negativ im Zusammenhang mit der Geschmacksstabilität bewertet. [2, 14, 135, 166] Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Bildung reduzierender Substanzen aus der Maillard-Reaktion stark mit einer erhöhten Hitzebelastung und damit auch mit dunkleren Würze- und Bierfarben verbunden ist (Abbildung 25), wodurch gleichzeitig positive und negative Aspekte

auftreten. Welcher dieser Gesichtspunkte im Hinblick auf den Biergeschmack der bedeutsamere ist, wird in Kapitel 5.3 diskutiert.

Gleichzeitig mit einer verstärkten Bildung von Maillard-Produkten infolge einer steigenden Hitzebelastung, kann die signifikante Abnahme der zwei Aminosäuren L-Glutamin und  $\gamma$ -Aminobuttersäure beim Abdarren nachgewiesen werden. Diese Aminosäuren können somit als Maß für die Hitzebelastung beim Darren angesehen werden. Eine Hitzeempfindlichkeit des L-Glutamins wurde bereits in anderen Produktionsstufen der Bierherstellung (Würzekochung [166], Pasteurisation [140]) dokumentiert und dort als Indikator für eine Hitzebelastung bei diesen Verfahrensschritten angesehen. Eine weitere Indikatorwirkung des L-Glutamins wurde im Laufe der Bieralterung diskutiert. [107] Dies zeigt, dass das L-Glutamin geeignet ist, in verschiedenen Prozessschritten als Indikatormaterial zu dienen. Durch das L-Glutamin steht dem Praktiker ein Indikator zur Verfügung, durch den er in der Lage ist, Veränderungen im Brauprozess, aber auch Fehler in verschiedenen Schritten der Bierbereitung zu erkennen und darauf angemessen zu reagieren.

Die Menge an reduzierenden Stoffen, die in Malz vorliegen, weisen aus statistischer Sicht weder Standort-, noch Sortenunterschiede auf (Kapitel 4.2), was ebenfalls anhand der Messung der „total antioxidant activity“ festgestellt werden konnte. [4] Dies ist jedoch nicht überraschend, da der Haupteinflussfaktor für die Bildung der reduzierenden Maillard-Produkte klar auf der Seite der Hitzebelastung liegt, die bei allen hier produzierten Malzen gleich ist. Die Untersuchung von Sorte und Standort brachten lediglich tendenzielle Unterschiede zu Tage. Aus statistischer Sicht unterscheiden sich jedoch immer nur Einzelsorten voneinander. Dies kann damit erklärt werden, dass eine andere Sorte bzw. ein anderer Standort unterschiedliche Konzentrationen an Reaktanden liefert oder/und mehr offenkettige Zucker vorliegen, wodurch die Maillard-Reaktion schneller ablaufen kann und so mehr Maillard-Produkte entstehen. [277]

Dem eingesetzten Malztyp kommt die entscheidende Rolle zu, welcher Biertyp mit welcher Bierfarbe und welchem -charakter produziert wird. Die Menge an Reduktionen, die in den Brauprozess eingebracht werden, hängt ebenfalls vom Malztyp ab. [39, 263]

Je dunkler das untersuchte Malz ist, umso mehr reduzierende Substanzen können darin gefunden werden (Kapitel 4.3). Die Höhe des Reduktionsvermögens eines Malzes steht dabei in Zusammenhang mit der Malzfarbe, der TBZ und den Strecker-Aldehyden des Malzes. Aus diesem Grund wird die antioxidative Aktivität einer Würze auch vom verwendeten Malz mit beeinflusst. Welche Aromastoffe im Malz vorliegen, hängt auch vom Produktionsverfahren (Menge an Ausgangssubstanzen) eines Malzes ab (Kapitel 2.3.2 und 4.1). Dadurch ist es möglich, dass in einem farbintensiveren Karamellmalz weniger aromaintensive Strecker-Aldehyde und andere Maillard-Produkte [179] vorliegen als in einem dunklen Braumalz (Tabelle 16). Aufgrund dieser Tatsachen kann durch die sinnvolle Auswahl und Zusammenstellung der verwendeten Malzschüttung der Aromastoffeintrag kontrolliert und beeinflusst werden. Die Auswirkungen einer veränderten Malzschüttung auf das Bier werden zu einem späteren Zeitpunkt diskutiert. Durch das Zumischen eines dunkleren Malzes zur Schüttung wird der Anstieg der Farbe in dem Maße erzielt, wie dunkles Malz zugegeben wird und auch die TBZ und das Reduktionsvermögen steigen an. Die Zusammenhänge zwischen den Analysenmerkmalen (Farbe, Reduktionsvermögen und TBZ) sind dabei ähnlich denen der Einzelmalze (Abbildung 34).

Zur Ermittlung des Reduktionsvermögens muss angemerkt werden, dass Malzfarben ab einer Höhe von etwa 65 EBC-Einheiten durch die Analyse des Reduktionsvermögens nicht mehr voneinander unterschieden werden können, da sich der Analysenwert ab dieser Farbtiefe an den möglichen Höchstwert von 100 % annähert bzw. ihn sogar erreicht (Abbildung 31). Eine Verdünnung des Probenmaterials ist nicht sinnvoll, da sich das Reduktionsvermögen nicht linear zur jeweiligen Verdünnung verhält, sondern logarithmisch mit der Stammwürze ansteigt. Somit ist diese Analyse bei dunklen Malzen und Bieren nur bedingt einsetzbar.

## **5.2 Auswirkung der Würzebereitung auf die Bildung von Maillard-Produkten**

Das Maischen einzelner Schrotfraktionen deckt auf, dass sich diese im Reduktionsvermögen nicht voneinander unterscheiden. Abweichungen treten jedoch in der Würzefarbe und der TBZ auf.



Aus diesem Grund wurde das Schrot sortiert und einzelne Fraktionen getrennt voneinander eingemischt, um die weitere Temperaturbelastung der bereits beim Darren stärker hitzebelasteten Teile des Malzkorns möglichst gering zu halten. Die Analyse der Würzen ergab unterschiedliche Effekte (Tabelle 18). Wie erwartet, kann eine hellere Farbe infolge der Fraktionentrennung beobachtet werden, was durch eine geringere Auslaugung der Polyphenole aus den Spelzen zu erklären ist. Aufgrund der kürzeren Kontaktzeit einiger Fraktionen mit der restlichen Maische werden weniger Substanzen aus den Grieben in Lösung gebracht. Außerdem kann die Stärke in den Grieben nicht mehr vollständig enzymatisch angegriffen werden, da die Amylasen der Maische zum Zeitpunkt der Grieb- und Spelzenzugabe nur mehr eine geringe Aktivität aufweisen. Dementsprechend sind eine niedrigere Stammwürzekonzentration und auch eine geringere TBZ der Pfannevoll-Würze festzustellen. Im Widerspruch zu der geringeren TBZ muss jedoch ein starker Anstieg der Strecker-Aldehyde in der Pfannevoll-Würze festgestellt werden. Dies muss auf die ungenügende Ausmahlung der den Spelzen anhaftenden Kornbestandteile zurückgeführt werden. Durch die späte Zugabe der Spelzenfraktion wird eine große Menge an Grieben aus dem Malz in die Würze eingebracht. Diese Griebe verkleistern zwar in der verbleibenden, kurzen Maischzeit und sind somit durch minimale Restaktivitäten der Enzyme angreifbar, die dabei in Lösung gehenden Strecker-Aldehyde werden aber nicht mehr ausgedampft. Dadurch, dass auch bei den üblichen Maisch- und Läutertemperaturen eine geringe, aber stetige Neubildung an Strecker-Aldehyden erfolgt, kann nur ein Teil der Strecker-Aldehydkonzentration der Würze in der verbleibenden Prozesszeit ausgedampft werden, was in den erhöhten Werten der Pfannevoll-Würze resultiert. Eine zusätzliche Erklärung sind die langsam reduzierenden Eigenschaften [19, 42, 58] der Polyphenole. Aufgrund der Fraktionentrennung und der daraus resultierenden späten Zugabe steht den in den Spelzen vorhandenen Polyphenolen nicht genügend Zeit zur Verfügung, Oxidationsreaktionen wirkungsvoll zu unterbinden, die zur Bildung von Strecker-Aldehyden führen.

Durch die ungenügende Ausmahlung der Spelzen und der gleichzeitig durchgeführten Spelzentrennung wird die Würze zweifach „geschwächt“. Einerseits durch eine höhere Konzentration an Strecker-Aldehyden und andererseits aufgrund einer verminderten Wirkung (kürzere Reaktionszeit) der Polyphenole. Aus diesem

Grund muss bei der Durchführung einer Spelzentrennung darauf geachtet werden, dass ein optimaler Schrotvorgang gewährleistet ist.

Aufgrund der erwähnten langsam-reduzierenden Eigenschaften werden Polyphenole durch die Analyse des Reduktionsvermögens zum größten Teil nicht erfasst, da die Messdauer bei der Bestimmung lediglich 60 Sekunden beträgt. [167] Dies erklärt auch, warum sich das Reduktionsvermögen in der Schrotfraktion der Spelzen nicht von den übrigen Fraktionen unterscheidet (Tabelle 17).

Hier wird aber auch deutlich, dass für die antioxidative Wirksamkeit sowohl die reduzierenden Eigenschaften von Produkten aus der Maillard-Reaktion als auch die antioxidative Wirkung der Polyphenole erforderlich ist und nur bei einem Zusammenspiel beider Komponenten ein optimaler Schutz gegen Oxidation gewährleistet ist. Reduktone sind schnell-reduzierend [19, 58] und bieten somit einen sofortigen Schutz gegen Sauerstoff. Da jedoch ihr mengenmäßiger Anteil zu klein ist, um einen „Komplettschutz“ zu bieten, ist das Vorhandensein von Polyphenolen erforderlich. Diese jedoch wirken, wie bereits beschrieben, nur zeitverzögert, weswegen für eine sofortige antioxidative Wirkung wiederum die schnell-reduzierende Maillard-Produkte vonnöten sind.

Die Versuchsergebnisse zeigen zudem einen geringen Einfluss des Maischverfahrens auf die Maillard-Reaktion (Kapitel 4.4.2). Die Zusammenhänge zwischen der Konzentration des Pronyl-L-Lysins, der Farbe, der TBZ und des Reduktionsvermögens am Ende eines Maischverfahrens verlaufen wie die Trendkurven für den Malzkaltauszug, lediglich auf einem etwas höheren Niveau (Abbildung 35 und 36). Es wird auch deutlich, dass die enzymatische Aktivität nur einen geringen Einfluss auf die Bildung von Maillard-Produkten hat. Durch eine niedrigere Einmischtemperatur und einer damit einhergehenden höheren enzymatischen Aktivität [14, 181] können nur geringfügig höhere Werte für die Farbe und die Pronyl-L-Lysin-Menge in der Würze ermittelt werden (Abbildung 37). Diese höhere Konzentration an Pronyl-L-Lysin scheint aber auf eine längere und intensivere Maischarbeit zurückzuführen zu sein, wodurch zusätzlich Maillard-Produkte in Lösung gebracht werden. [233] Die Veränderung der Farbe bei längerer Maischdauer hat zwei Gründe. Infolge einer längeren Maischdauer werden Polyphenole oxidiert und in Phlobaphene umgewandelt. Diese tragen zur Würzefarbe bei und verleihen darüber hinaus dem späteren Bier einen adstringierenden

Geschmackseindruck. [181] Außerdem werden durch das bereits beschriebene Herauslösen von Melanoidinen wie dem Pronyl-L-Lysin aus der Kornmatrix [233] mehr farbgebende Maillard-Produkte in die Würze eingebracht. [245]

Die Veränderung des TBZ-Wertes durch das Maischen verschiedenfarbiger Malze ist uneinheitlich und zeigt keine Tendenz (Abbildung 38). Zwei Vergleichssude mit unterschiedlichen Einmaischtemperaturen erbrachten bis ins fertige Bier keine Unterschiede bezüglich der TBZ. Abweichungen im Reduktionsvermögen können lediglich bei größeren Unterschieden der Einmaischtemperatur ( $40\text{ °C} \rightarrow 60\text{ °C}$ ) beobachtet werden (Tabelle 17). Die am Ende des Maischprozesses gewonnenen Daten belegen wiederum, dass dunkleres, höher abgedarrtes Malz mehr Maillard-Produkte enthält als helles Malz (Abbildung 39).

Abschließend kann angemerkt werden, dass während des Maischprozesses keine messbare, temperaturbeeinflusste Maillard-Reaktion stattfindet, sondern die gemessenen, kleinen Unterschiede ihre Ursachen in einer physikalischen Lösung haben.

Aus der Literatur (vgl. Kapitel 2.3.2) geht hervor, dass die Konzentration der Reaktanden und damit auch Wassermenge im Verhältnis zu den Reaktanden einen bedeutsamen Einfluss auf das Ausmaß der Maillard-Reaktion hat. [22, 53, 193] Bei in Brauereien gebräuchlichen Schüttungsverhältnissen zwischen 1 : 3 und 1 : 6 muss jedoch festgehalten werden, dass sich aufgrund verschiedener Gussverhältnisse beim Einmaischen keine Unterschiede für die Menge an Maillard-Produkten ergeben.

Nach der Durchführung einer Würzesäuerung kann beobachtet werden, dass der Pronyl-L-Lysin-Gehalt ansteigt und leicht hellere Würzefarben zu ermitteln sind. Das Reduktionsvermögen und die TBZ erfahren dadurch keine Veränderung (Abbildung 40, Tabelle 21).

Ähnlich wie bei den niedrigen Einmaischtemperaturen ist auch bei den niedrigeren pH-Werten eine Veränderung der Melanoidine nicht mit einer „*de novo*“ Bildung aus Zuckern und Aminverbindungen zu erklären, sondern mit einer verstärkten proteolytischen Lösung und einer gleichzeitig erhöhten chemischen Stabilität bei niedrigeren pH-Werten. [233] Bei hohem ELG kann durch Einsatz von Maischesäuerung eine Intensivierung der Lösungsvorgänge beim Maischen erfolgen. Aufgrund einer proteolytischen Restaktivität können bei einer zu weitgehenden

Absenkung des pH-Werts trotz hoher Einmischtemperaturen vermehrt Strecker-Aldehyde in die Würze eingebracht werden, was zu einer verminderten Geschmacksstabilität führen kann. [85] Aus diesem Grund ist bei stark gelösten bzw. überlösten Malzen eine moderate Maischesäuerung anzuraten, da diese für die Bierqualität und Geschmacksstabilität grundsätzlich positiv zu bewerten ist.

Bei der Kochung (Kapitel 4.4.4) nehmen bis zur Anstellwürze erwartungsgemäß die Werte für die Farbe und die TBZ zu. Nach der Hopfengabe kann jedoch eine beschleunigte Farb- und TBZ-Zunahme beobachtet werden (Tabelle 22), die auch anderorts Erwähnung findet. [23] Anscheinend werden durch die Hopfengabe viele färbende und TBZ-positive Substanzen in die Würze eingebracht, die diese Veränderungen hervorrufen. Dies können Eiweißstoffe und Kohlenhydrate, aber auch Polyphenole sein, die in den Hopfenprodukten vorliegen [181] und durch die Gabe in den Brauprozess eingeschleust werden und sofort im Rahmen der Maillard-Reaktion miteinander reagieren. Das Reduktionsvermögen sinkt von Kochbeginn, trotz unterschiedlicher Ausgangswerte, auf ähnliche Werte in der Anstellwürze ab (Tabelle 22). Dies liegt daran, dass zwar ein ständiger Auf- und Abbau der reduzierenden Substanzen stattfindet, aber durch die den Versuchen zugrunde liegende atmosphärische Kochung aufgrund von Luftdruckschwankungen eine unterschiedliche Kochintensität und somit eine starke Sauerstoffbelastung der Würze vorliegt, wodurch der Abbau scheinbar überwiegt. Andererseits verändert die Hopfengabe das Reduktionsvermögen nur unwesentlich und bringt keine neuen schnell-reduzierenden Stoffe in die Würze ein. [58]

Bereits eine verlängerte Kochdauer von 15 Minuten hat einen starken Einfluss auf die Analysenmerkmale, die durch die Maillard-Reaktion beeinflusst werden (Tabelle 23). Einem ähnlichen Reduktionsvermögen stehen eine deutlich höhere Farbe und TBZ gegenüber.

Die Versuche zur Kochung zeigen, dass durch die Hopfengabe eine beschleunigte Farb- und TBZ-Zunahme zu erwarten ist. Aus diesem Grund ist aus Sicht der Maillard-Reaktion eine späte Hopfengabe anzustreben, ebenso wie eine möglichst kurze Kochung, da bereits eine kleine Verringerung der Kochdauer eine klar geringere Hitzebelastung der Würze zur Folge hat.

Werden anhand einer Modelllösung die einzelnen Reaktanden der Maillard-Reaktion betrachtet (Kapitel 4.5), wird deutlich, dass Aminosäuren mit hydrophoben

Seitenketten den kleinsten Beitrag zur Gesamtfarbe liefern. Durch die erhaltenen Ergebnisse (Tabelle AH 30) konnte die Aussage bestätigt werden, nach der für die basischen Aminosäuren wie Lysin und Arginin die höchste Kochfarbe festgestellt werden kann. [94, 95] Ergebnisse, nach denen Ribose und Xylose die Zucker mit der höchsten Färbung nach einer Hitzebelastung sind [218], können hier nicht bestätigt werden. Bei den Zuckern kann nur für Maltose, Fruktose und Arabinose eine Eigenfärbung festgestellt werden (Tabelle AH 32). Bei der Färbung sind jedoch nicht nur die absolute Farbe von Bedeutung, sondern auch die relative Farbzunahme zum Ausgangswert und das Potential für eine mögliche Farbzunahme nach der (Bier)-Lagerung. Dies kann von Interesse sein, wenn eine Brauerei ein Bier möglichst heller Farbe brauen will. So erhält sie aufgrund einer Aminosäurenanalyse die Möglichkeit, das Färbungspotential abzuschätzen. Es muss jedoch beachtet werden, dass auch bei den Aminosäuren und Zuckern eine Nachbräunung auftreten kann, deren Absolutfarbe eine untergeordnete Rolle für die Gesamtfarbe spielt. Das größte Bräunungspotential der Aminosäuren besitzen das Lysin und das Leucin (Abbildung 41), deren Farbzunahme das 20fache ihres Ausgangswertes übertrifft. Bei den Einzelzuckern sind hierzu die Maltose und die Glukose zu nennen (Abbildung 44). Für die Glukose kann zwar nur eine geringe Färbung nach dem Kochprozess nachgewiesen werden, jedoch besitzt sie ein beträchtliches Potential zur Nachbräunung.

Das Reduktionsvermögen, das für die einzelnen Aminosäuren gefunden werden kann, schwankt zwischen 23 und 3 % (Abbildung 42). Durch die Kochung nimmt das Reduktionsvermögen mit zwei Ausnahmen (Phenylalanin, Serin) bei allen Aminosäuren ab, was die Ergebnisse zur Kochung in einer reellen Würze bestätigt (Kapitel 4.4.4). Der Hauptanteil des TBZ-Wertes ist auf die Reaktion der Maltose zurückzuführen (Abbildung 46). Während die Glukose und die Fruktose diesbezüglich nur eine kleine Rolle spielen, tragen die restlichen getesteten Zucker nichts zur Entwicklung der TBZ bei.

Eine Konzentrationsabnahme aufgrund der Kochung kann nur für die Aminosäuren und dort auch nur bei vier mit hydrophilen Seitenketten (Arginin, Asparagin, Lysin, Glutamin) und dem Tyrosin ermittelt werden (Tabelle 24). Die Zuckeranalytik ist für die nur sehr geringe Konzentrationsabnahme nicht sensitiv genug, um Veränderungen festzustellen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass jeder Zucker mit zumindest einer Aminosäure reagiert und eine Konzentrationsabnahme

verursacht. Die größte Abnahme kann für das Glutamin bestimmt werden. Dies ist die einzige Aminosäure, die mit jedem Zucker reagiert. Für das Glutamin konnten Konzentrationsdifferenzen von bis zu 90 % vom Ausgangswert festgestellt werden. Dadurch kann noch einmal die bereits erwähnte Hitzesensitivität des Glutamins (Kapitel 4.1.2, Abbildung 27) verdeutlicht werden. [140, 166] Eine große Konzentrationsänderung des Glutamins geht jedoch nicht mit einer hohen Reaktivität bezüglich Bräunung, Reduktionsvermögen oder TBZ des betreffenden Einzelzuckers einher, wie das Beispiel der Maltose zeigt. Hierfür können andere Aminosäuren wie das Lysin bzw. das Tyrosin verantwortlich gemacht werden (Abbildung 41, Abbildung 42, Tabelle 24). Bei der Reaktion der Aminosäuren mit den Zuckern können auch antagonistische Effekte eine Rolle spielen. Reagiert z. B. ein Zucker in einem hohen Maß mit dem Glutamin, stehen nicht mehr so viele Reaktionspartner für andere Aminosäuren zur Verfügung, deren Reaktion etwa eine verstärkte Bräunung oder ein hohes Reduktionsvermögen zur Folge hat. Durch die verminderte Reaktionsfreudigkeit mit dem Glutamin können somit Aminosäuren mit der Maltose reagieren, die eine Veränderung der beschriebenen Analysenmerkmale bewirken. Abschließend kann hierzu festgestellt werden, dass sich die Reaktivität der einzelnen Aminosäuren und Zucker teils beträchtlich voneinander unterscheiden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass unabhängig von der in Kapitel 2.3.2 genannten Reaktivität der Zucker und Aminosäuren hier ausschließlich Konzentrationen untersucht wurden, die der Menge dieser Reaktanden in einer realen Würze entsprechen (Tabellen 10 und 11). [141] Um möglichst helle Biere produzieren zu können, könnte anhand dieser Ergebnisse aus Sicht der Maillard-Reaktion das Ziel abgeleitet werden, eine Gersteneuzüchtung zu entwickeln, die beispielsweise möglichst wenig Aminosäuren enthält, die einen großen Anteil an der Würze- und Bierfarbe haben.

### **5.3 Einfluss von Maillard-Produkten auf das Bier**

Wie und ob die bislang gefundenen Ergebnisse auf den weiteren Verlauf des Brauprozesses und das fertige Bier übertragbar sind, wurde in verschiedenen weitergehenden Versuchen geklärt.

Ein Überblick über die in Handelsbieren vorherrschenden Verhältnisse bezüglich des Reduktionsvermögens wurde mittels einer Marktanalyse gewonnen (Kapitel 4.6.1). Dort wurden die im Malz und der Würze gewonnenen Ergebnisse bestätigt, wodurch eine höhere Farbe ein höheres Reduktionsvermögen nach sich zieht. Ähnliche Ergebnisse konnten auch durch andere Messmethoden gewonnen werden. [229, 275] Ein exponentieller Zusammenhang zwischen der Farbe und dem Reduktionsvermögen konnte klar nachgewiesen werden (Abbildung 48). Dieser Zusammenhang kann jedoch nur über das gesamte Farbspektrum gefunden werden, nicht aber innerhalb nur einer Biersorte. Dazu sind die technische Ausstattung der Brauereien und die Herstellungsparameter zu verschieden. Im Gegensatz zu anders lautenden Ergebnissen [239] konnte weder bei der Analyse der Handelsmalze noch bei den im folgenden beschriebenen Bieren ein Zusammenhang zwischen der Geschmacksstabilität und dem Reduktionsvermögen nachgewiesen werden. Da aber der Analysenwert des Reduktionsvermögens sehr empfindlich gegenüber einem Sauerstoffeintrag während der Produktion ist [235], ist es möglich, diese Analyse innerhalb einer Brauerei in die Stufenkontrolle zu integrieren, um so frühzeitig Produktionsfehler infolge eines Sauerstoffeintrags beispielsweise bei der Filtration oder der Abfüllung aufdecken zu können.

Wie bereits für Malz festgestellt, zeigt das Reduktionsvermögen auch in Bier keine Sorten- und Standortabhängigkeiten. Es sind zwar wiederum tendenzielle Unterschiede feststellbar, die aber einer statistischen Überprüfung nicht standhalten (Kapitel 4.6.2).

Der Vergleich eines dunklen und eines hellen Braumalzes bezüglich des Verhaltens der Maillardprodukte im Brauverlauf zeigt ein erwartetes Bild (Kapitel 4.6.3). Dunkleres Malz weist eine dunklere Farbe, ein höheres Reduktionsvermögen, eine höhere TBZ und einen höheren Pronyl-L-Lysin-Gehalt auf. Diese Maillard-beeinflussten Analysenmerkmale erfahren infolge des Kochprozesses eine starke Erhöhung, wobei der prozentuale Anstieg in der hellen Würze deutlich höher ist als in der Würze aus dem dunklen Malz (Abbildungen 51 und 53).

Aufgrund dieser Beobachtung wurde die Theorie entwickelt, nach der in dunklem Braumalz bereits die meisten für die Maillard-Reaktion zur Verfügung stehenden Zucker, Aminosäuren und Proteine während der Malzbereitung abreagiert sind. In hellem Braumalz liegen dagegen viele dieser Prekursoren vor, die nun im Laufe des

Würzekochens miteinander reagieren und für diese Erhöhung verantwortlich sind. Das heißt aber auch, dass die Menge an Maillard- und Aromasubstanzen durch das Malz vorgegeben ist und dass der eingesetzte Rohstoff eine entscheidende Rolle für den späteren Biergeschmack spielt.

Durch den Zusatz eines synthetischen Pronyl-L-Lysin-Modells zum Einmaischwasser wurde versucht, am Anfang des Maischprozesses ablaufende Oxidationsreaktionen zu unterbinden. Durch diesen Zusatz wurden allerdings mehr Oxidationsreaktionen aufgezeichnet als ohne (Abbildung 54). Durch den Einsatz des Modellmelanoidins wurden keine zusätzlichen Strecker-Aldehyde in den Brauprozess eingebracht, die den Biergeschmack negativ beeinflussen könnten. Mit Blick jedoch auf die stark erhöhten TBZ-Werte wird klar, dass dadurch viele Substanzen in die Würze eingeschleust wurden, die der Geschmacksstabilität abträglich sind (Tabelle 25).

Der große Unterschied in der Gesamtpolyphenolmenge im Bier weist darauf hin, dass diese Substanzen aus modifizierten Polyphenolen aufgebaut sein könnten, die nach neuesten, bislang unveröffentlichten Forschungsergebnissen eine weitaus größere Rolle in der Maillard-Reaktion spielen, als bisher angenommen.<sup>1</sup> Ausgehend von diesen Ergebnissen muss gefolgert werden, dass ein höherer Gehalt an reduzierenden Substanzen bei einem hellen Bier nicht anzustreben, sondern vielmehr auf eine Vermeidung der Maillard-Produkt-Bildung zu achten ist, da dies zu Einbußen bei der Geschmacksstabilität führt. Dies liegt in dem niedrigen Niveau an Antioxidantien in hellem Malz und dem gleichzeitigen Auftreten geschmacksintensiver Aromastoffe, z. B. Strecker-Aldehyde, begründet. Dunkle Malze beinhalten im Gegensatz dazu eine sehr hohe Menge dieser Antioxidantien, die im dunklen Bier zu einer besseren Geschmacksstabilität beitragen. [39, 48, 77, 210] Außerdem werden einzelne Aromanoten des dunklen Bieres als typisch betrachtet, die beim hellen Bier als Alterungsnoten wahrgenommen werden. Durch das intensive Dunkelbieraroma werden darüber hinaus negative, störende Aromen über einen längeren Zeitraum hinweg wirkungsvoll kaschiert. [45, 75, 76, 211, 263]

Werden Malze unterschiedlicher Abdarrtemperaturen eingesetzt, deren Gesamthitzebelastung beim Abdarren jedoch gleich war („Iso-TBZ“), ergeben sich

---

<sup>1</sup> mdl. Mitteilung von Prof. Hofmann, Münster, anlässlich der Berichterstattung der Wissenschaftsförderung der deutschen Brauwirtschaft e. V. am 22. 06. 2006 in Freising



durch den gesamten Brauprozess hindurch keine Unterschiede in den klassischen Würze- und Bieranalysen (Tabelle 26). Anscheinend werden aber je nach gewählter Abdarrtemperatur unterschiedliche Maillard-Produkte gebildet. Bei einer erhöhten Temperatur scheint die Maillard-Reaktion auch trotz gleicher Hitzebelastung schneller abzulaufen. Diese Gleichheit der Hitzebelastung ist ausgehend vom Malz bis ins fertige Bier nachzuvollziehen. Wie anhand der Analysen der Strecker-Aldehyde und des Pronyl-L-Lysins im Malz zu beweisen war, werden umso mehr Maillardprodukte und Melanoidine gebildet, je höher die Abdarrtemperatur ist. Diese höhere Menge an Melanoidinen geht mit einer besseren Schaumzahl einher, aber auch mit einer schlechteren Geschmacksstabilität (Tabelle 28). Der Melanoidingehalt des bei 70 °C abgedarrten Malz weist zwar weniger Maillard-Produkte auf als die anderen, jedoch verhinderte in diesem Fall eine grüne, schwelkmalzartige Note eine bessere Bewertung dieses Bieres.

Für die Praxis bedeutet dies, dass bereits durch die Wahl der Abdarrtemperatur der spätere Geschmack und damit auch die geschmackliche Stabilität bereits in gewisser Weise vorgegeben sind. Dies liegt an den während des Mälzungsprozesses gebildeten Aromastoffen. Auch wenn die Hitzebelastung gleich gehalten wird, erfolgt eine Bildung von Aromastoffen verschiedenen Typs in unterschiedlicher Intensität, da für die Art der gebildeten Maillard-Produkte nicht die Hitzebelastung, sondern die Abdarrtemperatur und die -dauer als separate Einflussfaktoren verantwortlich sind. [55, 160, 168, 271] Eine zu niedrige Abdarrtemperatur generiert „unreife“, grüne Geschmacksnoten [75], die eine mögliche bessere sensorische Bewertung zunichte machen. Auf der anderen Seite entstehen durch zu hohe Darrtemperaturen in verstärktem Maße Maillard-Produkte, die für eine verringerte Geschmacks-, aber eine erhöhte Schaumstabilität verantwortlich zu sein scheinen. [6, 66, 193, 207]

Durch die Substitution eines Teils der Malzschüttung durch ein dunkleres Malz muss im Hinblick auf eine hohe Geschmacksstabilität darauf geachtet werden, möglichst wenig Strecker-Aldehyde aus dem Malz in die Würze einzubringen. Rein rechnerisch ergibt sich dadurch die Empfehlung, möglichst dunkle Röst- oder Karamellmalze zu verwenden. Dies stimmt überein mit Ergebnissen, denen zu Folge für Karamellmalz die höchste antiradikalische Aktivität nachzuweisen ist. [232] Werden jedoch zu stark geröstete Malze eingesetzt, wird zwar eine hohe Geschmacksstabilität erreicht, jedoch können unerwünschte brenzlige Geruchsnoten auftreten. [75, 76]

Wird der Herstellungsprozess von drei Bieren der gleichen Farbe untersucht, ergibt sich folgendes Ergebnis (Kapitel 4.6.6). Die Würze, deren Strecker-Aldehyd-Konzentration der Pfannevoll-Würze am höchsten ist, weist in dieser Versuchreihe zugleich den höchsten analysierten TBZ-Wert auf und auch die höchste Pronyl-L-Lysin-Konzentration (Abbildung 58). Wie bei den Ergebnissen der Kapitel 4.6.4 und 4.6.5 wurde auch hier festgestellt, dass die Geschmacksstabilität mit steigender Menge an Maillard-Produkten abnimmt (Abbildung 58).

Für die Praxis bedeutet das jedoch nicht, dass in einer Malzcharge mehrere Malze miteinander gemischt werden sollten. Dadurch werden künstliche Inhomogenitäten geschaffen, die im Brauprozess zu Verarbeitungsschwierigkeiten führen können. Außerdem muss klar sein, dass durch das Zumischen eines dunkleren Malzes zu einem hellen, die Farbe und der Charakter eines Bieres verändert wird, so dass das Endprodukt möglicherweise nicht mehr den Erwartungen eines hellen Bieres entspricht.

Um die Geschmacksstabilität anhand Maillard-beeinflusster Analysenmerkmale zu beurteilen, wurden sechs Handelsmalze gebraut (Kapitel 4.6.7).

Es zeigte sich wiederum, dass die Farbe und das Reduktionsvermögen nicht dafür geeignet sind, diesbezüglich eine Aussage zu treffen. Anscheinend sind die schnell-reduzierenden Eigenschaften des Malzes nur während der Würzebereitung wichtig, um dort die bereits erwähnte, zeitverzögerte antioxidative Wirksamkeit der Polyphenole und anderer Würzeinhaltsstoffe auszugleichen. Als einzelnes Analysenmerkmal ist das Reduktionsvermögen somit nicht geeignet, die Geschmacksstabilität eines Bieres vorauszusagen. Als Teil eines Summenparameters geht jedoch der Analysenwert des Reduktionsvermögens beim Stabilitätsindex in die Berechnung mit ein, wodurch es möglich ist, die Geschmacksstabilität des untersuchten Bieres abzuschätzen. [84, 83] Da die Analyse des Reduktionsvermögens sehr empfindlich gegen Sauerstoff ist [235], kann diese Analyse als Kontrollparameter in die Stufenkontrolle integriert werden, z. B. bei der Flaschenabfüllung, um dort mögliche Mängel (erhöhte Sauerstoffbelastung) im Produktionsprozess aufdecken zu können.

Die Summe der Strecker-Aldehyde der Pfannevoll-Würze stellt im Gegensatz zur Summe der Strecker-Aldehyde in der Anstellwürze eine gute Möglichkeit dar, die Geschmacksstabilität eines Bieres abzuschätzen (Abbildung 59). Diese während des Kochprozesses ausgedampften Aromastoffe scheinen in der Würze einen

„Fingerabdruck“ ihrer Anwesenheit hinterlassen zu haben, da die Verkostungsergebnisse mit den Strecker-Aldehyd-Konzentrationen der Pfannevoll-Würzen einhergehen. Dies lässt zwei Rückschlüsse zu: Entweder sind die Strecker-Aldehyde neben ihrer Funktion als Aromastoffe auch Indikatorsubstanzen [184, 185] für andere, bisher noch nicht identifizierte Moleküle, die eine sensorische Relevanz für den Alterungsgeschmack des Bieres haben oder ein Teil der Strecker-Aldehyde wird zu anderen, ebenfalls noch nicht erfassten Substanzen umgebaut, die ihrerseits in der Lage sind, aktiv den Biergeschmack zu beeinflussen. Dadurch dass die Strecker-Aldehyde der Pfannevoll-Würze mit der Konzentration der Strecker-Aldehyde aus dem Malz korrelieren [85], ist bereits durch eine Analyse der Malzaromastoffe eine Beurteilung des Malzes hinsichtlich der Geschmacksstabilität möglich. Ein weiteres, zur Abschätzung der Geschmacksstabilität geeignetes Analysenmerkmal ist die Thiobarbitursäurezahl (TBZ) aus der Pfannevoll-Würze oder dem Malz (Abbildung 60). Die stärkere Korrelation mit der Akzeptanz des forciert gealterten Bieres wird durch die Malz-TBZ erreicht, die den größten Beitrag zur Bier-TBZ leistet. [34]

Damit ist klar, dass das Potential zur Aromastoffbildung bzw. das mögliche Ausmaß der Maillard-Reaktion während des Produktionsprozesses, wodurch die Geschmacksstabilität beeinflusst wird, bereits durch den Malzeinsatz vorgegeben ist. Durch ein Höchstmaß an technischer Ausstattung und technologischem Wissen können Schwächen des Rohstoffes Malz im frischen Bier zeitweilig kaschiert werden. Jedoch kann nur durch eine optimale Malzqualität im Hinblick auf die Hitzevorbelastung in Verbindung mit einem anschließenden hochwertigen und fehlerfreien Brauprozess das Qualitätskriterium der Geschmacksstabilität in einem hohen Maß erfüllt werden, da spätestens die sensorische Beurteilung eines gealterten Bieres diese Qualitätsunterschiede aufzeigt.

## 6 Zusammenfassung

Im Laufe des Mälzungs- und Brauprozesses gibt es viele unterschiedliche Faktoren, die den Geschmack des Bieres und dessen Veränderung während der Lagerung beeinflussen. Diese geschmackliche Instabilität wird meist durch Oxidationsreaktionen hervorgerufen. Damit das Bier nicht mit sensorischen Mängeln behaftet zum Konsum kommt, können verschiedene Strategien angewandt werden. Dazu gehören u. a. die strikte Vermeidung einer Sauerstoffbelastung und der Ausschluss von Metallionen, die prooxidativ wirksam sein können. In vielen Ländern ist außerdem der Zusatz von Antioxidantien üblich, um Oxidationsreaktionen entgegenzuwirken. Die wirkungsvollste Maßnahme, einer verminderten Geschmacksstabilität entgegenzuwirken ist jedoch der Konsum von Bier in frischem Zustand, solange noch keine geschmacklichen Veränderungen festzustellen sind.

Aufgrund von langen Distributionswegen ist diese Lösung oft nicht praktikabel. Deswegen wurde in den vergangenen Jahren intensiv daran geforscht, die Geschmacksstabilität zu verbessern, sowohl durch eine Optimierung der Prozesstechnologie als auch durch den Einsatz exogener Substanzen. Da die Geschmacksstabilität von vielen Variablen beeinflusst ist, konnte aufgrund ihrer Komplexität bisher keine allgemeingültige Vorschrift postuliert werden, wie ein geschmacksstabiles Bier herzustellen ist.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die systematische Untersuchung des Einflusses von Maillardprodukten aus dem Malz auf die Würze und das daraus hergestellte Bier. Dabei muss berücksichtigt werden, dass neben den Melanoidinen, die die Endprodukte der Maillard-Reaktion darstellen, durch den Malzeinsatz auch viele Ausgangsstoffe (Zucker, Aminosäuren) und Zwischenprodukte (z. B. Strecker-Aldehyde) für die Maillard-Reaktion in die Würze eingebracht werden, die während des Bierbereitungsprozesses im Rahmen der Maillard-Reaktion reagieren können.

Den Maillard-Produkten kommt in Bezug auf den Geschmack eine zweifache Rolle zu. Einerseits sind sie antioxidativ wirksam, indem sie Oxidationsreaktionen abwehren oder Sauerstoff direkt abfangen, andererseits erfolgt durch die Maillard-Reaktion eine Bildung alterungsrelevanter Aromastoffe bzw. deren Vorgänger. Außerdem können Maillard-Produkte prooxidative Eigenschaften aufweisen. Deswegen ist es notwendig, nicht nur reduzierende, antioxidativ wirksame Maillard-

Produkte zu betrachten, sondern auch die Substanzen, die diesem Effekt entgegenwirken und Oxidationsreaktionen fördern bzw. diejenigen, die selbst zum Alterungsgeschmack beitragen.

Da die Maillard-Reaktion verstärkt bei höheren Temperaturen abläuft, kommt den Prozessschritten, bei denen eine Hitzebelastung ausgeübt wird, eine Schlüsselrolle in Bezug auf die Malz-, Würze- und Biereigenschaften zu.

Durch die Intensität der Mälzung wird festgelegt, in welcher Konzentration die Edukte der Maillard-Reaktion im Grünmalz vorliegen. Je länger die Keimdauer ist, desto mehr Zucker und Aminosäuren, aber auch Maillard-Produkte können im abgedarrten Malz nachgewiesen werden. Bei einer zu langen Keimdauer jedoch werden mit dem Wachstum von Blatt- und Wurzelkeim die Zucker und Aminosäuren abgebaut, weshalb deren Konzentration im Malz absinkt. Trotz dieses Wachstums und der gleichzeitigen Abnahme der Ausgangssubstanzen für die Maillard-Reaktion werden im abgedarrten Malz weiterhin Maillard-Produkte (Strecker-Aldehyde) angereichert, wenngleich in verlangsamter Geschwindigkeit.

Das Darren ist der erste Prozessschritt im Laufe der Bierbereitung, bei dem ein Hitzeeintrag erfolgt. Bei höheren Temperaturen oder einer längeren Abdarrdauer und damit einer größeren Hitzebelastung werden mehr Maillard-Produkte gebildet. Dies kann anhand von maillard-beeinflussten Analysenparametern, wie der TBZ, den Strecker-Aldehyden, aber auch durch eine dunklere Malzfarbe und einem höheren Gehalt des Melanoidinstrukturelements Pronyl-L-Lysin belegt werden. Infolge einer steigenden Hitzebelastung beim Darren konnten gleichzeitig mit der Bildung von Maillard-Produkten mit dem L-Glutamin und der  $\gamma$ -Aminobuttersäure zwei Indikatoren für eine Hitzebelastung beim Darren identifiziert werden. Deren Konzentration nimmt umso stärker ab, je höher die Hitzebelastung ist.

Die Gerstensorte und der Anbauort haben aus statistischer Sicht keinen Einfluss auf die Menge an Maillard-Produkten im Malz. Für einzelne Sorten und Anbauorte konnten aber Unterschiede tendenzieller Art ermittelt werden.

Die Menge an Maillard-Produkten, die in den Bierbereitungsprozess eingebracht wird, hängt stark vom eingesetzten Malztyp ab. Prinzipiell enthält ein dunkles Malz mehr Maillard-Produkte als ein helles, aufgrund von unterschiedlichen Weich- und Keimverfahren ist es aber möglich, dass ein höher abgedarrtes Karamellmalz weniger Strecker-Aldehyde enthält als ein dunkles Braumalz. Wird ein Teil einer Malzschüttung durch ein dunkleres Malz ersetzt, werden umso mehr Maillard-

Produkte in die Würze eingebracht, je mehr dunkles Malz zugegeben wird und je höher dessen Malzfarbe ist. Mit der Höhe der Malzfarbe, ermittelt durch einen Malzkaltauszug steigt auch das Reduktionsvermögen eines Malzes an und steht dabei in direktem Zusammenhang mit der TBZ, dem Pronyl-L-Lysin-Gehalt und dem Gehalt an Strecker-Aldehyden des Malzes.

Wird eine Spelzentrennung durchgeführt, um durch die geringere Auslaugung der Spelzen eine hellere Bierfarbe zu erreichen, muss dringend darauf geachtet werden, dass eine optimale Schrotung gewährleistet ist und an den Spelzen keine Grieße mehr anhaften. Ist dies nicht der Fall, muss mit stark erhöhten Konzentrationen an Strecker-Aldehyden in der Pfannevoll-Würze gerechnet werden, die sich negativ auf den Biergeschmack auswirken können.

Das Maischverfahren hat lediglich einen geringen Einfluss auf die Maillard-Reaktion. Am Ende des Maischprozesses ergeben sich zwischen den maillard-beeinflussten Analysenmerkmalen dieselben Zusammenhänge wie aus dem Kaltauszug, lediglich auf einem etwas höheren Niveau. Niedrigere Einmaischttemperaturen und eine damit einhergehende höhere enzymatische Aktivität vermögen dieses Niveau ebenfalls nur leicht zu beeinflussen. Dies ist jedoch nicht mit einer Neubildung von Maillard-Produkten zu erklären, sondern durch ein verstärktes Herauslösen der Produkte aus der Kornmatrix infolge einer längeren und intensiveren Maischarbeit. Die am Ende des Maischprozesses gewonnenen Daten belegen zudem die Ergebnisse des Malzkaltauszuges, nach denen durch ein dunkleres, höher abgedarrtes Malz mehr Maillard-Produkte in den Brauprozess eingebracht werden als durch den Einsatz eines hellen Malzes.

Durch eine Maischesäuerung wird eine höhere Konzentration des Melanoidinstrukturelements Pronyl-L-Lysin erreicht. Dies ist aber auf eine proteolytische Restaktivität und eine erhöhte chemische Stabilität aufgrund niedriger pH-Werte zurückzuführen.

Das Schüttungsverhältnis und damit die eingesetzte Wassermenge haben keinen Einfluss auf die Menge an Maillard-Produkten.

Mit fortschreitender Kochdauer steigen die Farbe und die TBZ der Würze an. Diese Zunahme wird beschleunigt, nachdem die Hopfengabe erfolgt ist. Das Reduktionsvermögen sinkt dagegen durch die Kochung ab, was durch eine starke Sauerstoffbelastung infolge der durchgeführten atmosphärischen Kochung und der sofortigen Reaktion der reduzierenden Substanzen mit dem Sauerstoff erklärbar ist.

Bereits eine um 15 Minuten verlängerte Kochdauer resultiert in einer deutlichen Zunahme der Maillard-Produkte, weshalb durch den Rückgang des Reduktionsvermögens und der gleichzeitigen Zunahme der Strecker-Aldehyde und der TBZ auf eine möglichst kurze Kochdauer zu achten ist.

Wird die Kochung anhand einer Modelllösung genauer untersucht, ist festzustellen, dass die Reaktion der basischen Aminosäuren Lysin und Arginin in Gegenwart des Würzezuckerspektrums die höchste Kochfarbe nach sich zieht. Bei den Zuckern sind die Maltose, die Fruktose und die Arabinose für eine Zufärbung verantwortlich. Mit dem Ende der Kochung sind die Bräunungsreaktionen noch nicht abgeschlossen. Einige Aminosäuren und Zucker weisen ein beträchtliches Potential zur Nachbräunung auf. Die Aminosäuren und Zucker mit der höchsten Nachbräunung sind die Aminosäuren Lysin und Leucin und die Zucker Maltose und Glukose. Die Versuche mit einer Modelllösung bestätigen die Ergebnisse einer realen Würze, indem auch hier das Reduktionsvermögen im Laufe der Kochung abnimmt. Für die Höhe der TBZ ist im Wesentlichen die Maltose verantwortlich. Die durch sie verursachte TBZ ist fünfmal so hoch wie die TBZ der Glukose und Fruktose. Eine signifikante Konzentrationsabnahme kann nur für hydrophile Aminosäuren festgestellt werden. Jeder Zucker reagiert mit mindestens einer dieser Aminosäuren, die bei weitem größte Konzentrationsänderung wurde für das Glutamin ermittelt.

Eine Untersuchung verschiedener Handelsbiere bestätigte die Ergebnisse der Malz- und Würzeanalyse, nach denen die Farbe und das Reduktionsvermögen in einem exponentiellen Zusammenhang stehen. Dieser Zusammenhang kann aber nicht innerhalb einer Sorte nachgewiesen werden, sondern nur über das gesamte Farbspektrum. Ein Zusammenhang zwischen dem Reduktionsvermögen und der Geschmacksstabilität konnte nicht festgestellt werden.

Wie bereits beim Malz können für das Bier keine signifikanten, sondern nur tendenzielle Unterschiede zwischen unterschiedlichen Gerstensorten oder Anbaugebieten ermittelt werden.

Werden durch den Einsatz eines dunkleren Malzes mehr Maillard-Produkte in die Würze eingebracht, so kann dieser Unterschied auch im Bier gefunden werden. Während des Kochprozesses werden im Verhältnis zur Ausgangsmenge durch ein helles Malz zwar mehr Maillard-Produkte gebildet als durch ein dunkles Malz, die Absolutmenge des dunklen Malzes ist aber trotzdem deutlich höher.

Durch den Zusatz eines Modellmelanoidins zum Einmaischwasser bei der Produktion eines hellen Bieres kann keine Verbesserung der Geschmacksstabilität erzielt werden, sondern es muss mit einer Verschlechterung gerechnet werden, da durch die Zugabe des Melanoidins nicht nur antioxidativ wirksame, sondern auch in verstärktem Umfang der Geschmacksstabilität abträgliche Substanzen in den Brauprozess eingebracht werden. Große Unterschiede in den Polyphenolgehalten deuten zudem darauf hin, dass modifizierte Polyphenole in der Maillard-Reaktion eine beträchtliche Rolle spielen können.

Durch unterschiedliche Abdarrtemperaturen werden (gleiche Hitzebelastung vorausgesetzt) verschiedene Maillard-Produkte gebildet, die das Aroma des Bieres beeinflussen. Bei zu niedrigen Temperaturen werden grüne, „unreife“ Geschmacksnoten gebildet, bei zu hohen Temperaturen erfolgt eine zu große Bildung von alterungsrelevanten Produkten. Deswegen muss bei der Herstellung eines hellen Malzes aus Sicht der Maillard-Reaktion ein Mittelweg zwischen diesen beiden Extremen gefunden werden, um eine höchstmögliche Geschmacksstabilität erzielen zu können.

Soll bei der Produktion eines hellen Bieres ein Teil der Malzschüttung durch ein dunkleres Malz substituiert werden, stellen Karamellmalze im Vergleich zu einem dunklen Braumalz die bessere Alternative im Hinblick auf die Geschmacksstabilität dar. Dadurch, dass zum Erreichen derselben ein Karamellmalz in wesentlich geringerer Menge der Schüttung zugegeben werden muss, werden damit auch weniger Strecker-Aldehyde und andere Maillard-Produkte in Würze eingebracht, was sich positiv auf die Geschmacksstabilität auswirkt.

Ein Malz mit einer möglichst geringen Hitzevorbelastung und damit einer geringen Menge an alterungsrelevanten Aromastoffen stellt den ersten Schritt zu einer guten Geschmacksstabilität dar. Unterschiede im TBZ-Gehalt und in der Konzentration der Strecker-Aldehyde, die für das Malz und die Pfannevoll-Würze ermittelt werden, spiegeln sich in der sensorischen Bewertung der Biere wieder. Dies belegt, dass die sensorischen Eigenschaften eines Bieres bereits durch den Malzeinsatz vorbestimmt sind.



## 7 Literaturverzeichnis

- [1] RICHTLINIE 2003/89/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 10. November 2003 zur Änderung der Richtlinie 2000/13/EG hinsichtlich der Angabe der in Lebensmitteln enthaltenen Zutaten
- [2] European Brewery Convention: Manual of Good Practice. *Wort Boiling and Clarification*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2002
- [3] Acworth, I. N.; Mc Cabe, D. R.; Maher, T. J.: The Analysis of Free Radicals, their Reaction Products, and Antioxidants. In: Baskin, S. I.; Salem, H.: *Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals*. Washington: Taylor & Francis, 1997, S. 23–77
- [4] Adom, K. K.; Sorrells, M. E.; Liu, R. H.: Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Wheat Varieties. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), Nr. 26, S. 7825–7834
- [5] Amarnath, V.; Amarnath, K.; Amarnath, K.; Davies, S.; Roberts, L. J.: Pyridoxamine: An Extremely Potent Scavenger of 1,4-Dicarbonyls. In: *Chemical Research in Toxicology* 17 (2004), Nr. 3, S. 410–415
- [6] Ambler, J. A.: The Reaction between Amino Acids and Glucose. In: *Industrial and Engineering Chemistry* 21 (1929), Nr. S. 47–50
- [7] Ames, J. M.: Melanoidins as Pro- or Antioxidants. In: *Cerevisia* 26 (2001), Nr. 4, S. 210–216
- [8] Andersen, M. L.; Outtrup, H.; Skibsted, L. H.: Potential Antioxidants in Beer Assessed by ESR Spin Trapping. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (2000), Nr. 8, S. 3106–3111
- [9] Anese, M.; Manzocco, L.; Nicoli, M. C.; Lerici, C. R.: Antioxidant properties of tomato juice as affected by heating. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79 (1999), Nr. 5, S. 750–754
- [10] Anger, H.-M.: *Über die Stabilisierung von Bier unter besonderer Berücksichtigung der Polyphenole*. Technische Universität Berlin, Fachbereich 13 Lebensmitteltechnologie und Biotechnologie, Dissertation, 1983
- [11] Araki, S.; Kimura, T.; Shimizu, C.; Furusho, S.; Takashio, M.; Shinotsuka, K.: Estimation of Antioxidative Activity and Its Relationship to Beer Flavor Stability. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 57 (1999), Nr. 1, S. 34–37
- [12] Arnoldi, A.: The Maillard reaction as a source of off-flavours. In: Baigrie, B.: *Taints and off-flavours in food*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003, S. 162–175
- [13] Back, W.; Forster, C.: Hefemanagement und Anstelltechnologie mit ihren Auswirkungen auf Geschmack und Geschmacksstabilität. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 27th Congress*. Cannes, 1999, S. 27–636
- [14] Back, W.: *Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl GmbH, 2005
- [15] Bailey, R. G.; Ames, J. M.; Mann, J.: Identification of New Heterocyclic Nitrogen Compounds from Glucose-Lysine and Xylose-Lysine Maillard Model Systems. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (2000), Nr. 12, S. 6240–6246

- [16] Bamforth, C. W.: The Foaming Properties of Beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 91 (1985), S. 370–383
- [17] Bamforth, C. W.; Muller, R. E.; Walker, M. D.: Oxygen and Oxygen Radicals in Malting and Brewing: A Review. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 51 (1993), Nr. 3, S. 79–88
- [18] Bamforth, C. W.: A Critical Control Point Analysis for Flavor Stability of Beer. In: *Technical Quarterly & the MBAA Communicator* 41 (2004), Nr. 2, S. 97–103
- [19] Basarova, G.; Nielebock, C.; Karel, V.: Abschnitt 8. Würze. In: Nielebock, C.; Basarova, G.: *Analysenmethoden für die Brau- und Malzindustrie*. 1. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1988, S. 134–165
- [20] Baumann, G.; Gierschner, K.: Die Bedeutung aminogruppen-haltiger Verbindungen, insbesondere der freien Aminosäuren für pflanzliche Lebensmittel, vor allem für Fruchterzeugnisse. In: *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 70 (1974), Nr. 8, S. 273–279
- [21] Baynes, J. W.: The Role of Oxidation in the Maillard Reaction *in vivo*. In: Ikan, R.: *The Maillard Reaction. Consequences for the Chemical and Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1996, S. 55–72
- [22] Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. 5. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2001
- [23] Bellmer, H.-G.: *Studie über die Polyphenole und deren Polymerisationsindex in den Rohstoffen des Bieres und ihre Veränderungen während der Bierbereitung*. Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1976
- [24] Beneke, T.; Schwippert, W.: *WinSTAT Benutzerhandbuch*. 1999
- [25] Benzie, I. F. F.; Strain, J. J.: The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. In: *Analytical Biochemistry* 239 (1996), Nr. 1, S. 70–76
- [26] Billaud, C.; Brun-Mérimée, S.; Louarme, L.; Nicolas, J.: Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple—I: Enzymatic browning and enzyme activity inhibition. In: *Food Chemistry* 84 (2004), Nr. 2, S. 223–233
- [27] Billaud, C.; Maraschin, C.; Nicolas, J.: Inhibition of polyphenoloxidase from apple by Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with L-cysteine under various conditions of pH and temperature. In: *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie - Food Science and Technology* 37 (2004), Nr. 1, S. 69–78
- [28] Birkenstock, B.: Anwendung der Thiobarbitursäurezahl (TBZ) in der brautechnischen Betriebsüberwachung. In: *Brauwelt* 130 (1990), Nr. 3, S. 44–46
- [29] Blank, I.; Devaud, S.; Matthey-Doret, W.; Robert, F.: Formation of Odorants in Maillard Model Systems Based on L-Proline as Affected by pH. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), Nr. 12, S. 3643–3650
- [30] Boivin, P.; Allain, D.; Clamagirant, V.; Maillard, M. N.; Cuvelier, M. E.; Berset, C.; Richard, H.; Nicolas, J.; Forget-Richard, F.: Mesure de l'activité antioxygène de l'orge et du malt: approche multiple. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 24th Congress*. Oslo, 1993, S. 397–404
- [31] Boivin, P.: A review of pro- and anti-oxidant of malt. In: EBC Monograph 31: *Symposium Flavour and Flavour Stability*. Nancy, 2001, S. 1–21
- [32] Borrelli, R. C.; Mennella, C.; Barba, F.; Russo, M.; Russo, G. L.; Krome, K.; Erbersdobler, H. F.; Faist, V.; Fogliano, V.: Characterization of coloured

- compounds obtained by enzymatic extraction of bakery products. In: *Food and Chemical Toxicology* 41 (2003), Nr. 10, S. 1367–1374
- [33] Bößendörfer, G.; Birkenstock, B.; Thalacker, R.: Ergänzende Untersuchungen zur Anilinzahl. In: *Brauwelt* 139 (1999), Nr. 48, S. 2298–2301
- [34] Bößendörfer, G.; Birkenstock, B.; Thalacker, R.: Ein Beitrag zur Geschmacksstabilität des Bieres. In: *Brauwelt* 141 (2001), Nr. 27/28, S. 1042–1047
- [35] Bravo, A.; Scherer, E.; Madrid, J.; Herrera, J.; Virtanen, H.; Rangel-Aldao, R.: The blockage of Maillard reaction intermediates prevents the formation of flavor notes during beer aging. In: European Brewery Convention: *Monograph 31: Symposium Flavour and Flavour Stability*. Nancy, 2001
- [36] Bravo, A.; Scherer, E.; Madrid, J.; Herrera, J.; Virtanen, H.; Rangel-Aldao, R.: Identification of  $\alpha$ -dicarbonylic compounds in aged beers: their role in beer aging process. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 28th Congress*. Budapest, 2001
- [37] Bressa, F.; Tesson, N.; Dalla Rosa, M.; Sensidoni, A.; Tubaro, F.: Antioxidant Effect of Maillard Reaction Products: Application to a Butter Cookie of a Competition Kinetics Analysis. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (1996), Nr. 3, S. 692–695
- [38] Briggs, D. E.: *Malts and Malting*. London: Blackie Academic & Professional, 1998
- [39] Bright, D.; Stewart, G. G.; Patino, H.: A Novel Assay for Antioxidant Potential of Specialty Malts. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 57 (1999), Nr. 4, S. 133–137
- [40] Brun-Mérimée, S.; Billaud, C.; Louarme, L.; Nicolas, J.: Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with glutathione on polyphenoloxidase from apple—II. Kinetic study and mechanism of inhibition. In: *Food Chemistry* 84 (2004), Nr. 2, S. 235–241
- [41] Burberg, F.; Zarnkow, M.; Back, W.: Apparative Möglichkeiten der Malz-, Würze- und Bierbereitung. In: *Brauwelt* 146 (2006), Nr. 18, S. 536–539
- [42] Burkert, J.: *Beurteilung der Bierqualität anhand verschiedener Reduktonklassen*. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2005
- [43] Cämmerer, B.; Kroh, L. W.: Investigation of the influence of reaction conditions on the elementary composition of melanoidins. In: *Food Chemistry* 53 (1995), Nr. 1, S. 55–59
- [44] Cämmerer, B.; Jalyschko, W.; Kroh, L. W.: Intact Carbohydrate Structures as Part of the Melanoidin Skeleton. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (2002), Nr. 7, S. 2083–2087
- [45] Cantrell, I. C.; Griggs, D. L.: Malt: Its Role In Oxidation. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 33 (1996), Nr. 2, S. 82–86
- [46] Cheftel, J. C.; Eriksson, C. E.; Labuza, T. C.: Summing up Technological Aspects. In: Eriksson, C.: *Maillard Reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 467–469
- [47] Coca, M.; García, M. T.; González, G.; Peña, M.; García, J. A.: Study of coloured components formed in sugar beet processing. In: *Food Chemistry* 86 (2004), Nr. 3, S. 421–433
- [48] Coghe, S.; Vanderhaegen, B.; Pelgrims, B.; Basteyns, A.-V.; Delvaux, F. R.: Characterization of Dark Specialty Malts: New Insights in Color Evaluation and

- Pro- and Antioxidative Activity. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 61 (2003), Nr. 3, S. 125–132
- [49] Coghe, S.; Derdelinckx, G.; Delvaux, F. R.: Effect of non-enzymatic browning on flavour, colour and antioxidative activity of dark specialty malts—A review. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* (2004), Nr. 6, S. 25–38
- [50] Coghe, S.; Adriaenssens, B.; Leonard, S.; Delvaux, F. R.: Fractionation of Colored Maillard Reaction Products from Dark Specialty Malts. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 62 (2004), Nr. 2, S. 79–86
- [51] Coghe, S.; Martens, E.; D'Hollander, H.; Dirinck, P. J.; Delvaux, F. R.: Sensory and Instrumental Flavour Analysis of Wort Brewed with Dark Specialty Malts. In: *Journal of the Institute of Brewing* 110 (2004), Nr. 2, S. 94–103
- [52] Coghe, S.; D'Hollander, H.; Verachtert, H.; Delvaux, F.: Impact of Dark Specialty Malts on Extract Composition and Wort Fermentation. In: *Journal of the Institute of Brewing* 111 (2005), Nr. 1, S. 51–60
- [53] Coghe, S.; Gheeraert, B.; Michiels, A.; Delvaux, F. R.: Development of Maillard Reaction Related Characteristics During Malt Roasting. In: *Journal of the Institute of Brewing* 112 (2006), Nr. 2, S. 148–156
- [54] Constant, M.: A Practical Method for Characterizing Poured Beer Foam Quality. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 50 (1992), Nr. 2, S. 37–47
- [55] Cremer, D. R.; Eichner, K.: The reaction kinetics for the formation of Strecker aldehydes in low moisture model systems and in plant powders. In: *Food Chemistry* 71 (2000), Nr. 1, S. 37–43
- [56] Dalglish, C. E.: Flavour Stability. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 16th Congress*. Amsterdam, 1977, S. 623–659
- [57] De Clerck, J.: Lehrbuch der Brauerei. Band II. *Analysenmethoden und Betriebskontrolle*. Berlin: Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin, 1952
- [58] De Clerck, J.; Van Cauwenberge, H.: Oxidations and Reductions during the Brewing Process. In: *Wallerstein Laboratories Communications* 20 (1957), Nr. 70, S. 255–271
- [59] Decker, E. A.: Antioxidant Mechanisms. In: Akoh, C. C.; Min, D. B.: *Food Lipids. Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. Second Edition, Revised and Expanded. New York: Marcel Dekker, 2002, S. 517–542
- [60] Delgado-Andrade, C.; Rufián-Henares, J. A.; Morales, F. J.: Assessing the Antioxidant Activity of Melanoidins from Coffee Brews by Different Antioxidant Methods. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 20, S. 7832–7836
- [61] Deshpande, S. S.: *Handbook of Food Toxicology*. New York, Basel: Marcel Dekker, Inc., 2002
- [62] Devreux, A.; Blockmans, C.; vande Meerssche, J.: Carbonyl compounds formation during aging of beer. In: European Brewery Convention: *Monograph VII: EBC-Flavour Symposium*. Copenhagen, 1981, S. 191–201
- [63] Drost, B. W.; Duidam, J.; Hoekstra, S. F.; Strating, J.: Role of Individual Compounds in Beer Staling. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 11 (1974), Nr. 2, S. 127–134
- [64] Eichhorn, P.: *Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres*. Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1987

- [65] Eiserich, J. P.; Macku, C.; Shibamoto, T.: Volatile Antioxidants Formed from an L-Cysteine/D-Glucose Maillard Model System. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (1992), Nr. 10, S. 1982–1988
- [66] Enders, C.; Löther, A.: Die Farbstoffe des Bieres und ihre Bedeutung für die Bierqualität. In: *Wochenschrift für Brauerei* 53 (1936), Nr. 39, S. 305–309
- [67] Erickson, M. C.: Lipid Oxidation of Muscle Foods. In: Akoh, C. C.; Min, D. B.: *Food Lipids. Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. Second Edition, Revised and Expanded. New York: Marcel Dekker, 2002, S. 365–411
- [68] Euler, H.; Eistert, B.: *Chemie und Biochemie der Reduktone und Reduktonate*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1957
- [69] Evans, D. J.; Schmedding, D. J. M.; Bruijnje, A.; Heideman, T.; King, B. M.; Groesbeek, N. M.: Flavour Impact of Aged Beers. In: *Journal of the Institute of Brewing* 105 (1999), Nr. 5, S. 301–307
- [70] Faist, V.; Lindenmeier, M.; Geisler, C.; Erbersdobler, H. F.; Hofmann, T.: Influence of Molecular Weight Fractions Isolated from Roasted Malt on the Enzyme Activities of NADPH-Cytochrome c-Reductase and Glutathione-S-transferase in Caco-2 Cells. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (2002), Nr. 3, S. 602–606
- [71] Fantozzi, P.; Montanari, L.; Mancini, F.; Gasbarrini, A.; Addolorato, G.; Simoncini, M.; Nardini, M.; Ghiselli, A.; Scaccini, C.: *In vitro* antioxidant capacity from wort to beer. In: *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 31 (1998), Nr. 3, S. 221–227
- [72] Fayle, S. E.; Gerrard, J. A.: RSC Food Analysis Monographs. *The Maillard Reaction*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2002
- [73] Fors, S.: Sensory Properties of Volatile Maillard Reaction Products and Related Compounds: A Literature Review. In: Waller, G. R.; Feather, M. S.: *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. Washington: American Chemical Society, 1983, S. 185–286
- [74] Forster, C.; Miedaner, H.; Narziß, L.; Back, W.: Der Einfluss der Darrtechnologie auf die Bildung flüchtiger Aromastoffe in Malz, Würze und Bier. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 25th Congress*. Brüssel, 1995, S. 475–482
- [75] Forster, C.: *Der Einfluss der Darrtechnologie auf die Malz- und Bierqualität*. Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1996
- [76] Forster, C.; Narziß, L.; Back, W.: Untersuchungen zum Bieraroma und der Geschmacksstabilität mit verschiedenen Malzschüttungen hergestellter dunkler Biere. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 26th Congress*. Maastricht, 1997, S. 561–568
- [77] Forster, C.; Narziss, L.; Back, W.: Investigations of Favor and Flavor Stability of Dark Beers Brewed with Different Kinds of Special Malts. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 35 (1998), Nr. 2, S. 73–77
- [78] Forster, C.; Back, W.: Untersuchungen über den Einfluß der Anstell- und Befüllungstechnik zylindrokonischer Gärtanks auf die antioxidative Aktivität von Bier. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 27th Congress*. Cannes, 1999, S. 727–734
- [79] Forster, C.; Schwieger, J.; Narziß, L.; Back, W.; Uchida, M.; Ono, M.; Yanagi, K.: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität von Bier mittels Elektronenspinresonanz-Spektroskopie freier Radikale. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 52 (1999), Nr. 5/6, S. 86–93

- [80] Frandrup-Kuhr, O.: *Einfluss der Reaktionswege der Maillard-Reaktion von Pentosen auf die Bildung heterocyclischer aromatischer Amine*. Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Fachbereich Chemie und Pharmazie der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Dissertation, 2004
- [81] Frankel, E. N.; Meyer, A. S.: The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 (2000), Nr. 13, S. 1925–1941
- [82] Franz, O.; Back, W.: DPPH-scavenging activity of beer and polyphenols measured by ESR. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 28th Congress*. Budapest, 2001, S. 621–630
- [83] Franz, O.; Back, W.: Stability Index—A New Approach To Measure the Flavor Stability of Beer. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 40 (2003), Nr. 1, S. 20–24
- [84] Franz, O.: *Systematische Untersuchungen zur endogenen antioxidativen Aktivität von hellem, untergäurigem Bier unter besonderer Berücksichtigung technologischer Maßnahmen beim Brauprozess*. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2004
- [85] Gastl, M.: *Technologische Einflussnahme auf den Lipidabbau im Sinne einer Verbesserung der Geschmacksstabilität des Bieres*. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2006
- [86] Gliszczyńska-Świgło, A.: Antioxidant activity of water soluble vitamins in the TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) and the FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. In: *Food Chemistry* 96 (2006), Nr. 1, S. 131–136
- [87] Gottwald, W.: Die Praxis der instrumentellen Analytik. *Statistik für Anwender*. 2. Nachdruck. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2004
- [88] Grace, S. C.: Phenolics as antioxidants. In: Smirnoff, N.: *Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005, S. 141–168
- [89] Gray, P. P.; Stone, I.: Oxidation In Beers. I. A Simplified Method for Measurement. In: *Wallerstein Laboratories Communications* (1939), Nr. 5, S. 5–16
- [90] Grigsby, J. H.; Palamand, S. R.: Studies on the Staling of Beer: The Use of 2-Thiobarbituric Acid in the Measurement of Beer Oxidation. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 34 (1976), Nr. 2, S. 49–55
- [91] Hashimoto, N.; Koike, K.: Mechanism Of Browning During Brewing. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1971), Nr. 14, S. 1–12
- [92] Hashimoto, N.: Oxidation of Higher Alcohols by Melanoidins in Beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 78 (1972), Nr. 1, S. 43–51
- [93] Hashimoto, N.: Oxidation of Higher Alcohols by Melanoidins in Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1972), Nr. 15, S. 7–15
- [94] Hashimoto, N.: Amino-Carbonyl Reaction during Wort Boiling in Relation to Flavor Stability of Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1973), Nr. 16, S. 1–9
- [95] Hashimoto, N.: Amino-Carbonyl Reaction During Wort Boiling in Relation to Flavor Stability of Beer. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 11 (1974), Nr. 2, S. 121–126
- [96] Hashimoto, N.; Kuroiwa, Y.: Pathways for the Formation of Volatile Aldehydes during Storage of Bottled Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1975), Nr. 18, S. 1–11

- [97] Hashimoto, N.; Kuroiwa, Y.: Proposed Pathways for the Formation of Volatile Aldehydes during Storage of Bottled Beer. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 33 (1975), Nr. 3, S. 104–111
- [98] Hashimoto, N.: Stale Flavor Derived from Higher Alcohols and Isohumulones in Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1976), Nr. 19, S. 1–8
- [99] Hashimoto, N.; Eshima, T.: Composition and Pathway of Formation of Stale Aldehydes in Bottled Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1977), Nr. 20, S. 1–12
- [100] Hashimoto, N.; Shimazu, T.; Eshima, T.: Oxidative Degradation of Isohumulones in Relation to Beer Flavor. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1979), Nr. 22, S. 1–10
- [101] Hashimoto, N.: Melanoidin-Mediated Oxidation; A Greater Involvement in Flavor Staling. In: *Techn. Rep. Kirin* (1988), Nr. 31, S. 19–32
- [102] Hayase, F.; Hirashima, S.; Okamoto, G.; Kato, H.: Scavenging of Active Oxygens by Melanoidins. In: *Agricultural and Biological Chemistry* 53 (1989), Nr. 12, S. 3383–3385
- [103] Hayase, F.: Scavenging of Active Oxygen by Melanoidins. In: Ikan, R.: *The Maillard Reaction. Consequences for the Chemical and Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1996, S. 89–104
- [104] Herrmann, M.; Back, W.; Sacher, B.; Krottenthaler, M.: Möglichkeiten zur technologischen Beeinflussung der Bieraromastoffe. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 56 (2003), Nr. 5/6, S. 99–106
- [105] Herrmann, M.: *Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Herstellung von Weißbier*. Freising, Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2005
- [106] Heyns, K.; Müller, G.; Paulsen, H.: Quantitative Untersuchungen der Reaktion von Hexosen mit Aminosäuren. In: *Liebigs Annalen der Chemie* 703 (1967), Nr. 1, S. 202–214
- [107] Hill, P.; Lustig, S.; Sawatzky, V.: Die Aminosäure Glutamin als Parameter zur Bestimmung des Alterungszustandes von Bieren. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 51 (1998), Nr. 3/4, S. 36–38
- [108] Ho, C.-T.: Thermal Generation of Maillard Aromas. In: Ikan, R.: *The Maillard Reaction. Consequences for the Chemical and Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1996, S. 27–54
- [109] Hodge, J. E.: Dehydrated Foods - Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1 (1953), Nr. 15, S. 928–943
- [110] Hofmann, T.: Identification of Novel Colored Compounds Containing Pyrrole and Pyrrolinone Structures Formed by Maillard Reactions of Pentoses and Primary Amino Acids. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 10, S. 3902–3911
- [111] Hofmann, T.: Studies on melanoidin-type colorants generated from the Maillard reaction of protein-bound lysine and furan-2-carboxaldehyde – chemical characterisation of a red coloured domaine. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 206 (1998), Nr. 4, S. 251–258
- [112] Hofmann, T.: Studies on the Relationship between Molecular Weight and the Color Potency of Fractions Fbtained by Thermal Treatment of Glucose/Amino Acid and Glucose/Protein Solutions by Using Ultracentrifugation and Color Dilution Techniques. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 10, S. 3891–3895

- [113] Hofmann, T.; Bors, W.; Stettmaier, K.: Radical-Assisted Melanoidin Formation during Thermal Processing of Foods as well as under Physiological Conditions. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47 (1999), Nr. 2, S. 391–396
- [114] Hollnagel, A.; Kroh, L. W.: Degradation of Oligosaccharides in Nonenzymatic Browning by Formation of  $\alpha$ -Dicarbonyl Compounds via a "Peeling Off" Mechanism. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (2000), Nr. 12, S. 6219–6226
- [115] Hollnagel, A.; Kroh, L. W.: 3-Deoxypentosulose: An  $\alpha$ -Dicarbonyl Compound Predominating in Nonenzymatic Browning of Oligosaccharides in Aqueous Solution. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (2002), Nr. 6, S. 1659–1664
- [116] Hornsey, I. S.: *Brewing*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1999
- [117] Hornsey, I. S.: *A History of Beer and Brewing*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2003
- [118] Ikan, R.; Rubinsztain, Y.; Nissenbaum, A.; Kaplan, I. R.: Geochemical Aspects of the Maillard Reaction. In: Ikan, R.: *The Maillard Reaction. Consequences for the Chemical and Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1996, S. 1–26
- [119] Ilett, D. R.: Aspects of the Analysis, Role, and Fate of Sulphur Dioxide in Beer - A Review. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 32 (1995), Nr. 4, S. 213–221
- [120] Inui, T.; Tada, N.; Kageyama, N.; Takaoka, S.; Kawasaki, Y.: Das Einfangen und die Erhaltung des frischen Biergeschmacks. Ein Durchbruch in der Brauereitechnologie. In: *Brauwelt* 144 (2004), Nr. 45, S. 1488–1499
- [121] Irwin, A. J.; Barker, R. L.; Pipasts, P.: The Role of Copper, Oxygen, and Polyphenols in Beer Flavor Instability. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 49 (1991), Nr. 3, S. 140–149
- [122] Jackson, G.; Wainwright, T.: Melanoidins and Beer Foam. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 36 (1978), Nr. 4, S. 192–195
- [123] Kaneda, H.; Kano, Y.; Osawa, T.; Ramarathnam, N.; Kawakishi, S.; Kamada, K.: Detection of Free Radicals in Beer Oxidation. In: *Journal of Food Science* 53 (1988), Nr. 3, S. 885–888
- [124] Kaneda, H.; Kano, Y.; Kamimura, M.; Osawa, T.; Kawakishi, S.: Evaluation of Beer Deterioration by Chemiluminescence. In: *Journal of Food Science* 55 (1990), Nr. 5, S. 1361–1364
- [125] Kaneda, H.; Kano, Y.; Osawa, T.; Kawakishi, S.; Koshino, S.: Role of active oxygens on deterioration of beer flavor. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 23th Congress*. Lissabon, 1991, S. 433–440
- [126] Kaneda, H.; Kobayashi, N.; Takashio, M.; Tamaki, T.; Shinotsuka, K.: Beer Staling Mechanism. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 36 (1999), S. 41–47
- [127] Kato, H.; Tsuchida, H.: Estimation of Melanoidin Structure by Pyrolysis and Oxidation. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 147–156
- [128] Kessler, M.; Zarnkow, M.; Kreis, S.; Back, W.: Gelatinisation Properties of Different Cereals and Pseudocereals. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 58 (2005), Nr. 5, S. 82–88
- [129] Klein, H.; Krammer, R.; Natter, M.: Schnellbestimmung zur Vorhersage der Geschmacksstabilität von Bier. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 26th Congress*. Maastricht, 1997, S. 553–560



- [130] Klein, H.; Glinsner, T.; Natter, M.; Steiner, I.: Einflußfaktoren des Absorptionsintegrals im Hinblick auf die Geschmacksstabilität. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 53 (2000), Nr. 11/12, S. 217–222
- [131] Klimovitz, R. J.; Kindraka, J. A.: The Impact of Various Antioxidants on Flavor Stability. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 26 (1989), Nr. 2, S. 70–74
- [132] Klostermeyer, H.: Neues zur frühen Maillard-Reaktion. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 39 (1986), Nr. 6, S. 231–234
- [133] Knerr, T.; Lerche, H.; Pischetsrieder, M.; Severin, T.: Formation of a Novel Colored Product during the Maillard Reaction of D-Glucose. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2001), Nr. 4, S. 1966–1970
- [134] Knorr, F.: Polyphenole im Brauprozess. In: *Brauindustrie* 62 (1977), Nr. 21, S. 1017–1028
- [135] Koch, M.: *Untersuchungen über flüchtige Substanzen bei der Malz- und Bierbereitung unter besonderer Berücksichtigung solcher, die durch thermische Belastung des Produkts entstehen*. Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1987
- [136] Komarek, D.: *Key odorants in beer - Influence of storage on the flavor stability*. Technische Universität München, Fakultät für Chemie, Dissertation, 2001
- [137] Kossa, T.: *Gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchung flüchtiger und schwererflüchtiger Inhaltsstoffe von Bierwürze*. Technische Universität Berlin, Fachbereich Lebensmitteltechnologie und Biotechnologie, Dissertation, 1976
- [138] Kossa, T.; Bahri, D.; Tressl, R.: Aromastoffe des Malzes und deren Beitrag zum Bieraroma. In: *Monatsschrift für Brauerei* 32 (1979), Nr. 5, S. 249–254
- [139] Kramhöller, B.; Pischetsrieder, M.; Severin, T.: Maillard reactions of dextrans and starch. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 197 (1993), Nr. 3, S. 227–229
- [140] Krottenthaler, M.; Zanker, G.; Gaub, R.; Back, W.: Sterile filtration of beer by membranes – economical and physiological aspects. In: *European Brewery Convention: Proceedings of the 29th Congress*. Dublin, 2003
- [141] Krüger, E.; Anger, H.-M.: *Kennzahlen zur Betriebskontrolle und Qualitätsbeschreibung in der Brauwirtschaft*. Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH & Co., 1990
- [142] Kuntcheva, M. J.; Obretenov, T. D.: Isolation and characterization of melanoidins from beer. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 202 (1996), Nr. 3, S. 238–243
- [143] Ledl, F.; Schleicher, E.: Die Maillard-Reaktion in Lebensmitteln und im menschlichen Körper – neue Ergebnisse zu Chemie, Biochemie und Medizin. In: *Angewandte Chemie* 102 (1990), Nr. 6, S. 597–626
- [144] Liedke, R.: *Bildung von  $\alpha$ -Dicarbonylverbindungen beim Abbau von Amadori-Umlagerungsprodukten*. Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Dissertation, 1999
- [145] Lindenmeier, M.; Faist, V.; Hofmann, T.: Structural and Functional Characterization of Pronyl-lysine, a Novel Protein Modification in Bread Crust Melanoidins Showing in Vitro Antioxidative and Phase I/II Enzyme Modulating Activity. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (2002), Nr. 24, S. 6997–7006
- [146] Lindenmeier, M.; Hofmann, T.: Influence of Baking Conditions and Precursor Supplementation on the Amounts of the Antioxidant Pronyl-L-lysine in Bakery

- Products. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (2004), Nr. 2, S. 350–354
- [147] Lingnert, H.; Eriksson, C. E.: Antioxidative Effect of Maillard Reaction Products. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5.* Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 453–466
- [148] Lingnert, H.; Eriksson, C. E.; Waller, G. R.: Characterization of Antioxidative Maillard Reaction Products from Histidine and Glucose. In: Waller, G. R.; Feather, M. S.: *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition.* Washington: American Chemical Society, 1983, S. 335–345
- [149] Lingnert, H.; Waller, G. R.: Stability of Antioxidants Formed from Histidine and Glucose by the Maillard Reaction. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31 (1983), Nr. 1, S. 27–30
- [150] Lugasi, A.; Hóvári, J.: Antioxidant properties of commercial alcoholic and nonalcoholic beverages. In: *Nahrung/Food* 47 (2003), Nr. 2, S. 79–86
- [151] Lugasi, A.: Polyphenol Content and Antioxidant Properties of Beer. In: *Acta Alimentaria* 32 (2003), Nr. 2, S. 181–192
- [152] Lustig, S.: *Das Verhalten flüchtiger Aromastoffe bei der Lagerung von Flaschenbier und deren technologische Beeinflussung beim Brauprozess.* Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1994
- [153] Mader, F.: *Ermittlung geschmacklich relevanter Faktoren zur frühen Bewertung von Braugersten-Neuzüchtungen.* Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1998
- [154] Maga, J. A.; Sizer, C. E.: Pyrazines in Foods. A Review. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 21 (1973), Nr. 1, S. 22–30
- [155] Maillard, M. N.; Berset, C.: Evolution of Antioxidant Activity during Kilning: Role of Insoluble Bound Phenolic/Acids of Barley and Malt. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43 (1995), Nr. 7, S. 1789–1793
- [156] Manzocco, L.; Calligaris, S.; Mastrocola, D.; Nicoli, M. C.; Lerici, C. R.: Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. In: *Trends in Food Science & Technology* 11 (2001), Nr. 9-10, S. 340–346
- [157] Markl, K. S.; Palamand, S. R.: New Flavor Compounds and Their Relationship to Beer Aging. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 10 (1973), Nr. 4, S. 184–189
- [158] Marko, D.; Habermeyer, M.; Kemény, M.; Weyand, U.; Niederberger, E.; Frank, O.; Hofmann, T.: Maillard Reaction Products Modulating the Growth of Human Tumor Cells in Vitro. In: *Chemical Research in Toxicology* 16 (2003), Nr. 1, S. 48–55
- [159] Martins, S. I. F. S.: *Unravelling the Maillard reaction network by multiresponse kinetic modelling.* Wageningen University, Dissertation, 2003
- [160] Martins, S. I. F. S.; Van Boekel, M. A. J. S.: Kinetics of the glucose/glycine Maillard reaction pathways: influences of pH and reactant initial concentrations. In: *Food Chemistry* 92 (2005), Nr. 3, S. 437–448
- [161] Mauron, J.: The Maillard Reaction in Food; A Critical Review from the Nutritional Standpoint. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5.* Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 5–35
- [162] McWeeny, D. J.: Sulfur Dioxide and the Maillard Reaction in Food. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5.* Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 395–404

- [163] Meilgaard, M.; Moya, E.: A Study of Carbonyl Compounds in Beer - I. Background and Literature Review. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 7 (1970), Nr. 3, S. 135–142
- [164] Meilgaard, M.; Elizondo, A.; Moya, E.: A Study of Carbonyl Compounds in Beer, Part II. Flavor and Flavor Thresholds of Aldehydes and Ketones Added to Beer. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 7 (1970), Nr. 3, S. 143–149
- [165] Meilgaard, M. C.: Flavor Chemistry of Beer: Part II: Flavor and Threshold of 239 Aroma Volatiles. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 12 (1975), Nr. 3, S. 151–168
- [166] Mezger, R.: *Betrachtung moderner Würzekochsysteme bezüglich ihres Einflusses auf technologisch und physiologisch bedeutende Würzeinhaltsstoffe*. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2006
- [167] Miedaner, H.: Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK). *Brautechnische Analysenmethoden. Band II*. 4. Auflage. Freising-Weihenstephan: Selbstverlag der MEBAK, 2002
- [168] Milic, B. L.; Grujić-Injac, B.; Piletić, M. V.; Lajšić, S.; Kolarov, L. A.: Melanoidins and Carbohydrates in Roasted Barley. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 23 (1975), Nr. 5, S. 960–963
- [169] Mills, F. D.; Hodge, J. E.; Tjarks, L. W.: Structure, Relative Conformation, and Synthesis of a Condensed Aromatic Antioxidant from the Acid-Hydrolysis of Aminohexose Reductones. In: *Journal of Organic Chemistry* 46 (1981), Nr. 18, S. 3597–3603
- [170] Morales, F. J.; Jiménez-Pérez, S.: Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. In: *Food Chemistry* 72 (2001), Nr. 1, S. 119–125
- [171] Morales, F. J.: Assessing the non-specific hydroxyl radical scavenging properties of melanoidins in a Fenton-type reaction system. In: *Analytica Chimica Acta* 534 (2005), Nr. 1, S. 171–176
- [172] Morales, F. J.; Fernández-Fraguas, C.; Jiménez-Pérez, S.: Iron-binding ability of melanoidins from food and model systems. In: *Food Chemistry* 90 (2005), Nr. 4, S. 821–827
- [173] Nakamura, T.; Franz, O.; Back, W.: pH dependence of radical scavenging activity of polyphenols, phenolic acid and sulfite. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 28th Congress*. Budapest, 2001, S. 612–620
- [174] Namiki, M.; Hayashi, T.: Formation of Novel Free Radical Products in an Early Stage of Maillard Reaction. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 81–92
- [175] Namiki, M.; Hayashi, T.: A New Mechanism of the Maillard Reaction Involving Sugar Fragmentation and Free Radical Formation. In: Waller, G. R.; Feather, M. S.: *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. Washington: American Chemical Society, 1983, S. 21–46
- [176] Narziß, L.; Reicheneder, E.; Nothaft, H.: Über den Schwefeldioxidgehalt des Bieres. In: *Brauwelt* 122 (1982), Nr. 15, S. 627–636
- [177] Narziß, L.; Reicheneder, E.; Nothaft, H.: Über den Schwefeldioxidgehalt des Bieres. In: *Brauwelt* 122 (1982), Nr. 12, S. 502–519

- [178] Narziß, L.; Miedaner, H.; Schwill, A.; Schmidt, R.: Stickstoff-Heterocyclen im Malz, bei der Würzebereitung und im Bier. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 38 (1985), Nr. 3, S. 128–136
- [179] Narziß, L.; Miedaner, H.; Koch, M.: Untersuchungen über flüchtige Substanzen bei der Malz- und Bierbereitung unter besonderer Berücksichtigung solcher, die durch thermische Belastung des Produkts entstehen. Teil 1: Analytik, Identifizierung, Geruchseindrücke. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 41 (1988), Nr. 9, S. 344–352
- [180] Narziß, L.; Miedaner, H.; Koch, M.: Untersuchungen über flüchtige Substanzen bei der Malz- und Bierbereitung – unter besonderer Berücksichtigung solcher, die durch thermische Belastung des Produkts entstehen. Teil 2: Einfluß der Mälzungs- und Maischparameter. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 42 (1989), Nr. 6, S. 232–242
- [181] Narziß, L.: Die Bierbrauerei in drei Bänden: Bd. 2. *Die Technologie der Würzebereitung*. 7. Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992
- [182] Narziß, L.; Miedaner, H.; Graf, H.; Eichhorn, P.; Lustig, S.: Technological Approach to Improve Flavour Stability. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 30 (1993), Nr. 2, S. 48–53
- [183] Narziß, L.: Die Bierbrauerei in drei Bänden: Bd. 1. *Die Technologie der Malzbereitung*. 7. Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1999
- [184] Narziß, L.; Miedaner, H.; Eichhorn, P.: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres (Teil 1). In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 52 (1999), Nr. 3/4, S. 49–57
- [185] Narziß, L.; Miedaner, H.; Eichhorn, P.: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres (Teil 2). In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 52 (1999), Nr. 5/6, S. 80–85
- [186] Narziß, L.: *Abriss der Bierbrauerei*. 7. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2005
- [187] Neven, H.; Delvaux, F.; Derdelinckx, G. S.: Flavor Evolution of Top Fermented Beers. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 34 (1997), Nr. 2, S. 115–118
- [188] Nicoli, M. C.; Anese, M.; Parpinel, M. T.; Franceschi, S.; Lericci, C. R.: Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. In: *Cancer Letters* 114 (1997), Nr. 1-2, S. 71–74
- [189] Nicoli, M. C.; Anese, M.; Parpinel, M.: Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. In: *Trends in Food Science & Technology* 10 (1999), Nr. 3, S. 94–100
- [190] Nielsen, H.: The Control of Oxygen in Beer Processing. In: *Journal of the Institute of Brewing* 79 (1973), S. 147–154
- [191] Noll, P.: *Reduktone als reaktive Zwischenprodukte bei der Maillard-Reaktion. Analytik und Reaktionen*. Universität Stuttgart, Fakultät für Chemie, Dissertation, 1993
- [192] Nordlöv, H.: Formation of sulfur dioxide during beer fermentation. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 20th Congress*. Helsinki, 1985, S. 291–298
- [193] Nursten, H.: *The Maillard Reaction. Chemistry, Biochemistry and Implications*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005
- [194] Nursten, H. E.: Workshop on Volatile Products. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 491–496

- [195] Nyborg, M.; Outtrup, H.; Dreyer, T.: Investigations of the Protective Mechanism of Sulfite Against Beer Staling and Formation of Adducts with *trans*-2-nonenal. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 57 (1999), Nr. 1, S. 24–28
- [196] Owusu-Apenten, R. K.: *Introduction to food chemistry*. Boca Raton: CRC Press, 2005
- [197] Palamand, S. R.; Hardwick, W. A.: Studies on the Relative Flavor Importance of Some Beer Constituents. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 6 (1969), Nr. 2, S. 117–128
- [198] Pascoe, H. M.; Ames, J. M.; Chandra, S.: Critical Stages of the Brewing Process for Changes in Antioxidant Activity and Levels of Phenolic Compounds in Ale. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 61 (2003), Nr. 4, S. 203–209
- [199] Pawlowski, F.; Schild, E.; Nowak, G.: *Die brautechnischen Untersuchungsmethoden*. 8. Auflage. Nürnberg: Verlag Hans Carl, 1961
- [200] Peppard, T. L.: Dimethyl Trisulfide, Its Mechanism of Formation in Hop Oil and Effect on Beer Flavor. In: *Journal of the Institute of Brewing* 84 (1978), Nr. 6, S. 337–340
- [201] Peterson, D. M.: Oat antioxidants. In: *Journal of Cereal Science* 33 (2001), Nr. 2, S. 115–129
- [202] Pfenninger, H.: Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analylenkommission (MEBAK). *Brautechnische Analylenmethoden. Band III*. 2. Auflage. Freising-Weihenstephan: Selbstverlag der MEBAK, 1996
- [203] Pfenninger, H.: Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analylenkommission (MEBAK). *Brautechnische Analylenmethoden. Band I*. 3. Auflage. Freising-Weihenstephan: Selbstverlag der MEBAK, 1997
- [204] Pischetsrieder, M.: *Die Maillard-Reaktion von Disacchariden und Polysacchariden und Reaktionen von Glucose in konzentrierten Lösungen*. Ludwig-Maximilian-Universität München, Fakultät für Chemie und Pharmazie, Dissertation, 1994
- [205] Pischetsrieder, M.; Rinaldi, F.; Gross, U.; Severin, T.: Assessment of the Antioxidative and Prooxidative Activities of Two Aminoreductones Formed during the Maillard Reaction: Effects on the Oxidation of  $\beta$ -Carotene,  $N^{\alpha}$ -Acetylhistidine, and *cis*-Alkenes. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 8, S. 2945–2950
- [206] Pokorny, J.: Browning from Lipid-Protein Interactions. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 421–428
- [207] Pollock, G. E., Jr.; Siefker, J. A.: Melanoidin Studies. II. Physical and Chemical Characteristics of Synthetic Melanoidin Systems. In: *Am. Soc. Brewing Chemists, Proc.* 14 (1956), S. 13–21
- [208] Popoff, T.; Theander, O.: Formation of Aromatic Compounds from Carbohydrates. Part I. Reaction of D-Glucuronic Acid, D-Xylose, and L-Arabinose in Slightly Acidic, Aqueous Solution. In: *Carbohydrate Research* 22 (1972), Nr. 1, S. 135–149
- [209] Powell, S. R.: Zinc as a Cardioprotective Antioxidant. In: Baskin, S. I.; Salem, H.: *Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals*. Washington: Taylor & Francis, 1997, S. 143–166
- [210] Preuß, T.; Forster, C.; Thum, B.; Back, W.: Dark malt – the key to distinct flavour attributes and high flavour stability in dark beer. In: *European Brewery*

- Convention: *Monograph 31: Symposium Flavour and Flavour Stability*. Nancy, 2001
- [211] Preuß, T.: *Technologische Massnahmen zur Erzielung malzaromatischer dunkler Biere hoher Geschmacksstabilität nach Charakterisierung der Schlüsselaromastoffe in ausgewählten dunklen Bieren*. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2001
- [212] Rangel-Aldao, R.; Bravo, A.; Galindo-Castro, I.; Sánchez, B.; Reverol, L.; Scherer, E.; Madrid, J.; Ramirez, J. L.; Herrera, J.; Penttilä, M.; Vehkomäki, M.-L.; Vidgren, V.; Virtanen, H.; Home, S.: Beer flavor stabilization through the control of Maillard reaction intermediates. In: *European Brewery Convention: Monograph 31: Symposium Flavour and Flavour Stability*. Nancy, 2001
- [213] Reich, H.; Bock, R. M.: Dichloroindophenol-Reducing Substances in Beer. In: *Am. Soc. Brewing Chemists, Proc.* (1960), S. 78–84
- [214] Reische, D. W.; Lillard, D. A.; Eitenmiller, R. R.: Antioxidants. In: Akoh, C. C.; Min, D. B.: *Food Lipids. Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. Second Edition, Revised and Expanded. New York: Marcel Dekker, 2002, S. 489–516
- [215] Rice-Evans, C.: The Health Effects of Tea and Tea Components: Opportunities for Standardizing Research Methods. Appendix 5: Methods to Quantify Antioxidant Activity of Tea/tea Extracts *In Vitro*. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 41 (2001), Nr. 5, Supplement 1, S. 405–407
- [216] Rice-Evans, C. A.; Miller, N. J.; Bolwell, P. G.; Bramley, P. M.; Pridham, J. B.: The Relative Antioxidant Activities of Plant-Derived Polyphenolic Flavonoids. In: *Free Radical Research* 22 (1995), Nr. 4, S. 375–383
- [217] Rivero, D.; Pérez-Magariño, S.; González-Sanjosé, M. L.; Valls-Belles, V.; Codoñer, P.; Muñoz, P.: Inhibition of Induced DNA Oxidative Damage by Beers: Correlation with the Content of Polyphenols and Melanoidins. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 9, S. 3637–3642
- [218] Rizzi, G. P.: Role of Phosphate and Carboxylate Ions in Maillard Browning. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (2004), Nr. 4, S. 953–957
- [219] Röllig, W.: *Das Bier im Alten Mesopotamien*. Berlin: Gesellschaft für die Geschichte und Bibliographie des Brauwesens e. V., 1970
- [220] Sahu, S. C.; Green, S.: Food Antioxidants: Their Dual Role in Carcinogenesis. In: Baskin, S. I.; Salem, H.: *Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals*. Washington: Taylor & Francis, 1997, S. 327–340
- [221] Samaras, T. S.; Camburn, P. A.; Chandra, S. X.; Gordon, M. H.; Ames, J. M.: Antioxidant Properties of Kilned and Roasted Malts. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 20, S. 8068–8074
- [222] Savel, J.: Reductones and Beer Ageing. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 38 (2001), Nr. 3, S. 135–144
- [223] Schieberle, P.: Primary odorants of pale lager beer. Differences to other beers and changes during storage. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 193 (1991), Nr. 6, S. 558–565
- [224] Schur, F.: Rolle der Polyphenole beim Brauen. In: *Brauerei- und allgemeine Getränke-Rundschau* 98 (1987), Nr. 3, S. 37–42
- [225] Schwill-Miedaner, A.: Würzekochung heute – gibt es Alternativen? In: *Brauwelt* 142 (2002), Nr. 17, S. 603–606
- [226] Shahidi, F.; Wanasundara, P. K.: Phenolic Antioxidants. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 32 (1992), Nr. 1, S. 67–103

- [227] Shimazu, T.; Hashimoto, N.; Eshima, T.: Oxidative Degradation of Isohumulones in Relation to Hoppy Aroma of Beer. In: *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* (1978), Nr. 21, S. 15–26
- [228] Siefker, J. A.; Pollock, G. E.: Melanoidins in the Brewing Processes. I. Formation of Aldehydes During Wort Boiling. In: *Am. Soc. Brewing Chemists, Proc.* 16 (1956), S. 5–12
- [229] Sobiech, R. M.; Neumann, R.; Wabner, D.: Automated Voltammetric Determination of Reducing Compounds in Beer. In: *Electroanalysis* 10 (1998), Nr. 14, S. 969–975
- [230] Somani, S. M.; Husain, K.; Schlorff, E. C.: Response of Antioxidant System to Physical and Chemical Stress. In: Baskin, S. I.; Salem, H.: *Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals*. Washington: Taylor & Francis, 1997, S. 125–142
- [231] Somoza, V.; Wenzel, E.; Lindenmeier, M.; Grothe, D.; Erbersdobler, H. F.; Hofmann, T.: Influence of Feeding Malt, Bread Crust, and a Pronylated Protein on the Activity of Chemopreventive Enzymes and Antioxidative Defense Parameters in Vivo. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 21, S. 8176–8182
- [232] Sovrano, S.; Buiatti, S.; Anese, M.: Influence of malt browning degree on lipoxygenase activity. In: *Food Chemistry* 99 (2006), Nr. 4, S. 711–717
- [233] Spieleder, E.; Krottenthaler, M.; Back, W.; Frank, O.; Lenczyk, M.; Hofmann, T.: On the Influence of the Malting and Brewing Process on the Amounts of Pronyl-L-Lysine, a Chemopreventive and Antioxidant Maillard Product in Melanoidins. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 60 (2006), Nr. 05/06, S. 105–112
- [234] Stenroos, L. E.: The Effects of Time, Temperature, and Air on Various Finished Beer Components. In: *American Society of Brewing Chemists, Proceedings of the Annual Meeting* 31 (1973), S. 50–56
- [235] Stephan, A.; Bies, A.; Kunz, T.; Methner, F.-J.: Determination of antioxidants in brewing: some aspects about the use of selected chemical and physical assays. In: European Brewery Convention: *Monograph 31: Symposium Flavour and Flavour Stability*. Nancy, 2001
- [236] Taherzadeh, M. J.; Gustafsson, L.; Niklasson, C.; Liden, G.: Conversion of Furfural in Aerobic and Anaerobic Batch Fermentation of Glucose by *Saccharomyces cerevisiae*. In: *Journal of Bioscience and Bioengineering* 87 (1999), Nr. 2, S. 169–174
- [237] Taherzadeh, M. J.; Gustafsson, L.; Niklasson, C.; Lidén, G.: Inhibition Effects of Furfural on Aerobic Batch Cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* Growing on Ethanol and/or Acetic Acid. In: *Journal of Bioscience and Bioengineering* 90 (2000), Nr. 4, S. 374–380
- [238] Taherzadeh, M. J.; Gustafsson, L.; Niklasson, C.; Lidén, G.: Physiological effects of 5-hydroxymethylfurfural on *Saccharomyces cerevisiae*. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 53 (2000), Nr. 6, S. 701–708
- [239] Takashio, M.; Shinotsuka, K.: Continuing Progress with the Anti-Oxidative Beer Production System. In: *Technical Quarterly - Master Brewers Association of the Americas* 38 (2001), Nr. 1, S. 41–45
- [240] Tehrani, K. A.; Kersiene, M.; Adams, A.; Venskutonis, R.; De Kimpe, N.: Thermal Degradation Studies of Glucose/Glycine Melanoidins. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (2002), Nr. 14, S. 4062–4068

- [241] Ternay, A. L.; Sorokin, V.: Redox, Radicals, and Antioxidants. In: Baskin, S. I.; Salem, H.: *Oxidants, Antioxidants, and Free Radicals*. Washington: Taylor & Francis, 1997, S. 1–22
- [242] Thalacker, R.; Birkenstock, B.: Eine neue Kennzahl in der brautechnischen Analyse - die Thiobarbitursäurezahl (TBZ). In: *Brauwissenschaft* 35 (1982), Nr. 6, S. 133–137
- [243] Thalacker, R.; Bößendörfer, G.; Birkenstock, B.: Eine neue Kennzahl in der brautechnischen Analyse – die Anilinzahl (AZ). In: *Brauwelt* 138 (1998), Nr. 10/11, S. 421–425
- [244] Thum, B.; Miedaner, H.; Narziß, L.; Back, W.: Bildung von "Alterungscarbonylen" – mögliche Mechanismen und Bedeutung bei der Bierlagerung. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 25th Congress*. Brüssel, 1995, S. 491–498
- [245] Thum, B.: *Modellversuche zur Bildung von Carbonylverbindungen bei der Lagerung von Bier*. Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1997
- [246] Thumann, I.; Herrmann, K.: Über die antioxidative Wirkung von Hydroxizimtsäuren und Hydroxibenzoessäuren. In: *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 76 (1980), Nr. 10, S. 344–348
- [247] Tressl, R.; Kossa, T.; Renner, R.: Gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchungen flüchtiger Inhaltsstoffe von Hopfen, Würze und Bier und deren Genese. II. Phenole und Sauerstoffhaltige Heterocyklen in Würze und Bier. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 15th Congress*. Nice, 1975, S. 737–756
- [248] Tressl, R.; Renner, R.; Kossa, T.; Köppler, H.: Gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchungen flüchtiger Inhaltsstoffe von Hopfen, Würze und Bier und deren Genese. III. Stickstoffhaltige Aromastoffe in Malz und Bier. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 16th Congress*. Amsterdam, 1977, S. 693–707
- [249] Tressl, R.: Bildung von Aromastoffen durch Maillardreaktion. In: *Monatsschrift für Brauerei* 32 (1979), Nr. 5, S. 240–248
- [250] Tressl, R.; Grünewald, K. G.; Silwar, R.; Helak, B.: Bildung von Verbindungen mit brotigem Aromacharakter in Malz und Bier. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 18th Congress*. Copenhagen, 1981, S. 391–403
- [251] Tressl, R.; Grünewald, K. G.; Kamperschroer, H.; Silwar, R.: Formation of Pyrroles, and Aroma Contributing Sulfur Components in Malt and Roasted Coffee. In: Eriksson, C.: *Maillard reactions in food. Progress in Food and nutrition science. Vol. 5*. Oxford: Pergamon Press, 1981, S. 71–80
- [252] Tressl, R.; Helak, B.; Martin, N.: Bildung von Prolin-spezifischen Aroma- und Geschmacksstoffen. In: European Brewery Convention: *Proceedings of the 20th Congress*. Helsinki, 1985, S. 355–362
- [253] Tressl, R.; Wondrak, G. T.; Krüger, R.-P.; Rewicki, D.: New Melanoidin-like Maillard Polymers from 2-Deoxypentoses. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 1, S. 104–110
- [254] Tressl, R.; Wondrak, G. T.; Garbe, L.-A.; Krüger, R.-P.; Rewicki, D.: Pentoses and Hexoses as Sources of New Melanoidin-like Maillard Polymers. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 5, S. 1765–1776
- [255] Tubaro, F.; Micossi, E.; Ursini, F.: The Antioxidant Capacity of Complex Mixtures by Kinetic Analysis of Crocin Bleaching Inhibition. In: *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73 (1996), Nr. 2, S. 173–179



- [256] Uchida, M.; Suga, S.; Ono, M.: Improvement for Oxidative Flavor Stability–Rapid Prediction Method for Beer Flavor Stability by Electron Spin Resonance Spectroscopy. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 54 (1996), Nr. 4, S. 205–211
- [257] Uchida, M.; Ono, M.: Improvement for Oxidative Flavor Stability of Beer–Role of OH-Radical in Beer Oxidation. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 54 (1996), Nr. 4, S. 198–204
- [258] Unger, R. W.: *Beer in the Middle Ages and the Renaissance*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2004
- [259] Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Coghe, S.; Verstrepen, K. J.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G.: Evolution of Chemical and Sensory Properties during Aging of Top-Fermented Beer. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), Nr. 23, S. 6782–6790
- [260] Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Daenen, L.; Verstrepen, K. J.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G.: Furfuryl Ethyl Ether: Important Aging Flavor and a New Marker for the Storage Conditions of Beer. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (2004), Nr. 6, S. 1661–1668
- [261] Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Verstrepen, K. J.; Delvaux, F. R.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G.: Influence of the Brewing Process on Furfuryl Ethyl Ether Formation during Beer Aging. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (2004), Nr. 22, S. 6755–6764
- [262] Vanderhaegen, B.; Derdelinckx, G.: Characterization of flavour compounds in fresh and aged beer by purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 59 (2005), Nr. 11/12, S. 1–9
- [263] Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G.: The chemistry of beer aging – a critical review. In: *Food Chemistry* 95 (2006), Nr. 3, S. 357–381
- [264] Vanderhaegen, B.: General Review on Beer Aging. In: *Jean De Clerck Chair XII - Flavours in Beer*. Leuven, 2006
- [265] Wagner, K.-H.; Derkits, S.; Herr, M.; Schuh, W.; Elmadfa, I.: Antioxidative potential of melanoidins isolated from a roasted glucose-glycine model. In: *Food Chemistry* 78 (2002), Nr. 3, S. 375–382
- [266] Waller, G. R.; Beckel, R. W.; Adeleye, B. O.: Conditions for the Synthesis of Antioxidative Arginine-Xylose Maillard Reaction Products. In: Waller, G. R.; Feather, M. S.: *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. Washington: American Chemical Society, 1983, S. 125–140
- [267] Waller, G. R.; Feather, M. S.: *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. Washington: American Chemical Society, 1983
- [268] Walters, M. T.; Heasman, A. P.; Hughes, P. S.: Comparison of (+)-Catechin and Ferulic Acid as Natural Antioxidants and Their Impact on Beer Favor Stability. Part 1: Forced-Aging. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 55 (1997), Nr. 2, S. 83–89
- [269] Whitear, A. L.: Factors Affecting Beer Stability. In: European Brewery Convention: *Monograph VII: EBC-Flavour Symposium*. Copenhagen, 1981, S. 203–210
- [270] Whitfield, F. B.: Volatiles from Interactions of Maillard Reactions and Lipids. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 31 (1992), Nr. 1/2, S. 1–58
- [271] Wijewickreme, A. N.; Kitts, D. D.; Durance, T. D.: Reaction Conditions Influence the Elementary Composition and Metal Chelating Affinity of

- Nondialyzable Model Maillard Reaction Products. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (1997), Nr. 12, S. 4577–4583
- [272] Wijewickreme, A. N.; Kitts, D. D.: Oxidative Reactions of Model Maillard Reaction Products and  $\alpha$ -Tocopherol in a Flour-Lipid Mixture. In: *Journal of Food Science* 63 (1998), Nr. 3, S. 466–471
- [273] Wijewickreme, A. N.; Krejpcio, Z.; Kitts, D. D.: Hydroxyl Scavenging Activity of Glucose, Fructose, and Ribose-Lysine Model Maillard Products. In: *Journal of Food Science* 64 (1999), Nr. 3, S. 457–461
- [274] Wittmann, R.; Eichner, K.: Nachweis von Maillard-Produkten in Malzen, Bieren und Braucouleuren. In: *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 188 (1989), Nr. 3, S. 212–220
- [275] Woffenden, H. M.; Ames, J. M.; Chandra, S.: Relationships between Antioxidant Activity, Color, and Flavor Compounds of Crystal Malt Extracts. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2001), Nr. 11, S. 5524–5530
- [276] Wurzbacher, M.; Franz, O.; Back, W.: Control of sulphite formation of lager yeast. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 59 (2005), Nr. 11/12, S. 10–17
- [277] Yaylayan, V. A.; Huyghues-Despointes, A.: Chemistry of Amadori Rearrangement Products: Analysis, Synthesis, Kinetics, Reactions, and Spectroscopic Properties. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34 (1994), Nr. 4, S. 321–369
- [278] Yaylayan, V. A.; Kaminsky, E.: Isolation and structural analysis of Maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/glucose model systems. In: *Food Chemistry* 63 (1998), Nr. 1, S. 25–31
- [279] Yen, G. C.; Hsieh, P. P.: Antioxidative Activity and Scavenging Effects on Active Oxygen of Xylose-Lysine Maillard Reaction Products. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67 (1995), Nr. 3, S. 415–420
- [280] Yilmaz, Y.; Toledo, R.: Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. In: *Food Chemistry* 93 (2005), Nr. 2, S. 273–278

## Anhang

Tabelle AH 1: Auswirkung der Keimdauer auf das Malz

Probe	Keimtage	Gerste	0,5 KT	3 KT	5 KT	7 KT
	Abdarrtemperatur	80 °C	80 °C	80 °C	80 °C	80 °C
	Abdarrdauer	5 h	5 h	5 h	5 h	5 h
Malzanalyse	Wassergehalt (%)	-	4,3	4,0	4,1	3,7
	Extrakt (%)	-	74,5	77,0	78,1	79,0
	Extrakt wfr. (%)	-	77,8	80,2	81,4	82,0
	Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	-	2,563	1,842	1,469	1,457
	Friabilimeter (%)	-	15,1	59,4	86,1	93,4
	ganzglasige (%)	-	56,1	0,5	0,0	0,0
	Verzuckerung (min.)	-	>20	< 10	< 10	< 10
	Ablauf	-	opal	klar	klar	klar
	Endvergärung (%)	-	71,1	78,4	81,7	83,7
	Farbe (EBC)	-	2,0	2,5	3,1	3,5
	Kochfarbe (EBC)	-	3,2	4,0	5,1	6,3
	pH-Wert	-	5,83	5,88	5,80	5,75
	Rohprotein (%)	-	10,2	10,0	10,0	9,8
	lösl. N (mg/l)	-	451	637	776	870
	ELG (%)	-	27,6	39,8	48,5	55,5
	FAN (mg/100 g TrS.)	-	81	137	182	205
	DK (°WK)	-	384	408	417	424
	α-Amylase (ASBC)	-	13	31	53	65
	TBZ	-	4	12	17	20
	Pronyl-Lysin (mg/kg)	-	0,06	0,20	0,24	0,22
Aminosäuren Malz (mg/l)	Asparaginsäure	-	44,0	42,4	57,2	53,0
	Glutaminsäure	-	21,1	20,1	22,5	22,4
	Asparaginsäure	-	60,6	52,3	89,8	87,7
	Serin	-	47,8	48,7	66,6	60,4
	Glutamin	-	123,8	139,5	166,5	155,1
	Histidin	-	18,1	17,3	26,2	24,7
	Glycin	-	51,4	54,4	70,1	66,1
	Threonin	-	47,1	47,0	66,4	62,9
	Alanin	-	45,7	42,1	60,2	59,1
	Arginin	-	128	126	151	148
	GABS	-	146	144	156	156
	Tyrosin	-	68,2	65,1	98,1	97,2
	Valin	-	76,3	73,5	97,1	95,9
	Methionin	-	24,3	23,9	35,4	33,7
	Tryptophan	-	39,5	38,6	52,2	52,0
	Phenylalanin	-	84	79	120	118
	Isoleucin	-	52,1	50,9	75,4	72,8
	Leucin	-	86,6	85,6	98,0	97,3
	Lysin	-	57,5	55,8	80,6	78,1
	AS Gesamt	-	1222	1206	1589	1540
Zucker Malz (g/l)	Fruktose	-	0,3	0,5	1,0	0,6
	Glukose	-	3,2	5,5	7,3	7,7
	Saccharose	-	1,0	1,5	2,5	2,6
	Maltose	-	40,3	42,9	41,7	40,6
	Maltotriose	-	5,4	7,0	8,8	7,7
	vergärbare Zucker	-	50,2	57,4	61,3	59,2

Tabelle AH 1: Fortsetzung

Probe	Keimtage	Gerste	0,5 KT	3 KT	5 KT	7 KT
	Abdarrtemperatur	80 °C	80 °C	80 °C	80 °C	80 °C
Abdarrdauer	5 h	5 h	5 h	5 h	5 h	5 h
Kaltauszug	Stammwürze (%)	1,60	2,12	3,08	3,89	4,45
	pH-Wert	5,94	5,91	6,01	6,04	5,96
	Farbe (EBC)	3,1	2,2	3,0	4,0	4,8
	RV (%)	17	18	24	26	32
	TBZ	3	5	19	26	30
Malzaromastoffe (µg/l)	3-Methylbutanal	26	400	2068	3838	4257
	2-Methylbutanal	8,4	142	649	1314	1555
	2-Pentanon	25	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Pentanal	13	18	19	29	30
	3-Methylbutanol	17	132	246	313	400
	2-Methylbutanol	9,0	35	86	109	149
	2-Acetylfuran	n.n.	Sp.	5,4	6,7	Sp.
	Phenylethanal	13	166	621	1392	1460
	γ-Nonalacton	8,5	11	5,3	6,6	5,5
	2-Furfural	Sp.	57	421	706	865
	Heptanal	4,0	5,5	8	13	13
	Methional	Sp.	108	342	749	753
	Hexanal	68	144	157	267	238
	Benzaldehyd	Sp.	14	6,6	20	12
	t2-c6-Nonadienal	3,6	65	48	102	76
	t2-Nonenal	0,8	18	12	38	30
	Pentanol	81	137	94	117	108
	Octen-3-ol	15	26	27	18	18
	Octanol	2,4	2,7	2,6	2,9	3,2
	Isobutyraldehyd	33	217	766	1464	1607
	Phenylethanol	55	88	153	225	285
	Σ Streckeraldehyde	47	830	3687	7313	8037

Tabelle AH 2: Einfluss von Abdarrtemperatur und -dauer auf das Malz

Probe	Abdarrtemperatur	Schwelken	70 °C	70 °C	70 °C	80 °C	80 °C	80 °C	90 °C	90 °C	90 °C
	Abdarrdauer		5,25 h	10,5 h	15,25 h	2,5 h	5 h	7,5 h	1,25 h	2,5 h	3,75 h
Malzanalyse	Wassergehalt (%)	6,6	4,8	4,4	4,0	4,5	4,1	3,5	4,1	3,6	3,3
	Extrakt (%)	76,3	77,7	78,6	78,8	78,0	78,1	79,2	79,0	79,3	78,8
	Extrakt wfr. (%)	81,7	81,6	82,2	82,1	81,7	81,4	82,1	82,4	82,3	81,5
	Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,449	1,438	1,438	1,438	1,463	1,469	1,464	1,451	1,463	1,464
	Friabilimeter (%)	82,6	85,8	87,1	88,0	86,4	86,1	88,0	87,6	89,9	90,0
	ganzglasige (%)	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
	Verzuckerung (min.)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Ablauf	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar
	Endvergärung (%)	83,3	83,9	83,9	83,8	82,0	81,7	81,9	80,7	80,8	80,7
	Farbe (EBC)	2,0	3,0	3,2	3,2	2,9	3,1	3,4	3,0	4,5	4,6
	Kochfarbe (EBC)	3,5	4,7	5,1	5,3	4,8	5,1	6,3	6,9	8,0	8,9
	pH-Wert	5,88	5,84	5,81	5,81	5,81	5,80	5,79	5,75	5,76	5,74
	Rohprotein (%)	9,9	9,9	9,7	10,0	9,7	10,0	10,0	10,0	9,9	9,9
	lösl. N (mg/l)	790	843	834	849	790	776	789	854	846	845
	ELG (%)	49,9	53,2	53,2	53,1	50,9	48,5	49,3	53,4	54,2	53,3
	FAN (mg/100 g TrS.)	186	199	194	197	178	182	166	191	211	194
	VZ 45 °C (%)	46,0	49,4	50,0	49,9	45,0	42,9	42,3	47,8	-	-
	DK (°WK)	577	549	518	526	453	417	371	353	343	320
	Alpha-Amylase (ASBC)	67	73	69	70	56	53	50	55	51	53
	TBZ	4	9	14	15	13	17	19	22	32	37
Pronyl-Lysin (mg/kg)	0,03	0,08	0,16	0,12	0,15	0,24	0,29	0,27	0,28	0,43	
Kaltauszug	Stammwürze (%)	3,82	4,24	4,29	4,26	3,97	3,89	3,94	4,21	4,21	4,20
	pH-Wert	5,98	5,94	5,91	5,92	6,06	6,04	6,00	5,83	5,83	5,83
	Farbe (EBC)	3,3	3,9	4,2	4,4	3,7	4,0	4,4	5,0	6,0	6,9
	RV (%)	34	39	37	35	26	26	28	18	20	21
	TBZ	5	13	20	22	20	26	32	37	50	57
Zucker Malz (g/l)	Fructose	0,8	0,9	0,9	0,9	0,6	1,0	0,9	0,7	0,5	0,6
	Glucose	7,8	8,1	7,9	8,1	8,0	7,3	7,3	7,2	7,3	7,1
	Saccharose	2,4	2,9	2,7	2,8	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6	2,9
	Maltose	52,3	52,5	52,7	52,2	42,6	41,7	42,4	40,9	40,5	40,4
	Maltotriose	7,3	8,7	8,4	8,8	8,0	8,8	8,7	8,5	9,2	9,4
	vergärbare Zucker	70,6	73,1	72,6	72,8	61,8	61,3	61,8	59,9	60,1	60,4

Tabelle AH 2: Fortsetzung

Probe	Abdarrtemperatur	Schwelken	70 °C	70 °C	70 °C	80 °C	80 °C	80 °C	90 °C	90 °C	90 °C
	Abdarrdauer		5,25 h	10,5 h	15,25 h	2,5 h	5 h	7,5 h	1,25 h	2,5 h	3,75 h
Aminosäuren Malz (mg/l)	Asparaginsäure	55,0	57,8	58,7	60,1	59,1	57,2	60,3	59,0	58,2	57,8
	Glutaminsäure	20,4	22,9	24,2	24,9	24,1	22,5	23,5	24,6	25,8	26,5
	Asparaginsäure	90,4	99,7	103,5	104,5	97,1	89,8	89,8	95,7	99,2	100,0
	Serin	67,4	69,5	70,8	71,8	69,9	66,6	72,5	71,3	71,1	69,4
	Glutamin	178,2	178,3	177,4	174,1	171,7	166,5	159,8	163,0	162,1	158,2
	Histidin	27,1	28,9	29,5	29,6	28,2	26,2	26,0	26,8	27,5	27,5
	Glycin	74,1	76,1	78,0	79,4	72,0	70,1	76,4	74,5	74,7	72,2
	Threonin	68,5	71,2	72,7	73,3	70,4	66,4	68,1	69,3	71,1	71,3
	Alanin	60,5	62,5	64,3	65,7	64,2	60,2	61,3	64,8	68,7	70,7
	Arginin	151	154	158	159	155	151	153	157	160	160
	GABS	171	174	172	172	163	156	155	147	146	142
	Tyrosin	100,1	107,1	110,8	112,0	106,0	98,1	98,6	104,4	108,9	110,0
	Valin	98,8	101,2	102,4	102,7	100,0	97,1	97,4	100,1	102,2	102,9
	Methionin	36,5	38,9	39,8	40,2	38,0	35,4	35,4	37,7	39,3	39,7
	Tryptophan	52,9	56,5	58,2	58,7	55,7	52,2	52,7	55,0	56,8	56,8
	Phenylalanin	122	129	131	132	127	120	120	125	129	129
	Isoleucin	78,7	83,7	86,0	86,4	81,1	75,4	75,5	79,2	82,2	82,6
	Leucin	98,4	100,0	101,2	101,4	99,9	98,0	97,6	100,2	102,9	102,4
	Lysin	91,3	94,6	94,5	93,9	87,6	80,6	80,6	83,0	84,9	81,6
	AS Gesamt	1643	1706	1733	1741	1670	1589	1604	1637	1670	1661

Tabelle AH 3: Auswirkung von Anbauort und Gerstensorte auf das resultierende Malz

Standort	A					
	Sorte	1	2	3	4	5
<b>Malzanalyse</b>						
Wassergehalt	4,5	4,6	4,4	4,6	4,6	4,8
Extrakt wfr. (%)	82,6	81,7	81,5	82,4	82,1	82,0
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,482	1,490	1,488	1,510	1,475	1,475
EVG (%)	82,5	82,2	80,5	82,2	82,6	82,5
Friabilimeter (%)	83,6	84,6	85,1	83,4	82	84,6
Farbe (EBC)	2,8	3,1	2,9	2,9	2,9	2,8
pH-Wert	5,88	5,91	5,94	5,91	5,84	5,96
Rohprotein (%)	11,1	11,1	10,9	10,8	10,9	11,3
lösl. N (mg/100g)	728	744	685	716	814	660
ELG (%)	41,0	41,9	39,3	41,4	46,7	36,5
VZ 45 °C (%)	41,7	40,4	36,7	43,1	45,7	40,1
α-Amylase (ASBC)	79,5	73,0	67,7	68,0	68,6	69,1
DK (°WK)	415	377	265	362	384	466
<b>Kaltauszug</b>						
Stammwürze (%)	-	3,77	3,47	3,77	-	-
pH-Wert	-	6,07	6,05	6,00	-	-
Farbe (EBC)	-	4,8	4,2	5,0	-	-
RV (%)	-	25	23	26	-	-

Standort	B					
	Sorte	1	2	3	4	5
<b>Malzanalyse</b>						
Wassergehalt	5,0	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4
Extrakt wfr. (%)	84,2	83,9	82,8	82,6	83,0	83,5
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,484	1,451	1,464	1,487	1,475	1,462
EVG (%)	83,2	82,7	81,4	82,5	83,5	83,8
Friabilimeter (%)	84,9	88,7	94	85,1	87,3	92,1
Farbe (EBC)	2,7	3,0	3,2	2,9	3,0	2,7
pH-Wert	5,93	5,92	5,92	5,92	5,85	6,02
Rohprotein (%)	10,2	10,2	10,3	10,6	10,5	9,8
lösl. N (mg/100g)	695	736	725	770	828	680
ELG (%)	42,6	45,1	44,0	45,4	49,3	43,4
VZ 45 °C (%)	42,1	38,9	35,6	41,9	46,5	39,6
α-Amylase (ASBC)	82,3	85,3	68,4	71,3	64,0	60,4
DK (°WK)	413	412	247	341	379	409
<b>Kaltauszug</b>						
Stammwürze (%)	3,71	3,74	3,56	3,82	3,92	3,69
pH-Wert	5,98	6,01	6,02	5,97	5,93	6,09
Farbe (EBC)	4,4	4,6	4,2	5,1	4,9	5,3
RV (%)	25	26	24	29	29	34

Tabelle AH 3: Fortsetzung

Standort	C					
	1	2	3	4	5	6
Sorte						
Malzanalyse						
Wassergehalt (%)	4,5	4,5	5,6	5,0	4,7	5,0
Extrakt wfr. (%)	81,8	80,9	81,1	80,4	81,0	82,5
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,490	1,500	1,495	1,501	1,472	1,463
EVG (%)	80,9	80,8	80,4	81,0	81,5	81,3
Friabilimeter (%)	69,8	75,7	87,2	73,7	79,9	86
Farbe (EBC)	2,7	2,9	3,1	3,0	2,9	2,8
pH-Wert	6,01	6,02	5,96	5,98	5,89	6,02
Rohprotein (%)	11,5	10,8	10,9	11,4	11,4	10,9
lösl. N (mg/100g)	715	671	749	718	803	685
ELG (%)	38,9	38,8	42,9	39,4	44,0	39,3
VZ 45 °C (%)	44,9	40,5	38,4	41,5	44,9	43,6
α-Amylase (ASBC)	85,1	80,3	69,3	81,7	69,8	70,6
DK (°WK)	467	467	312	491	496	554
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,81	3,66	3,67	3,80	3,93	3,69
pH-Wert	6,15	6,20	6,08	6,14	6,02	6,18
Farbe (EBC)	4,8	5,1	4,0	5,0	4,7	5,0
RV (%)	31	31	28	32	30	35

Standort	D					
	1	2	3	4	5	6
Sorte						
Malzanalyse						
Wassergehalt (%)	4,2	4,1	4,0	4,2	4,1	4,3
Extrakt wfr. (%)	83,6	82,8	82,3	83,0	81,9	83,6
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,471	1,473	1,471	1,487	1,476	1,454
EVG (%)	81,8	81,6	79,7	82,4	81,6	83,0
Friabilimeter (%)	85,1	87,4	95,5	88,3	85,8	96,9
Farbe (EBC)	3,3	3,7	3,6	3,5	3,6	3,4
pH-Wert	5,93	5,91	5,88	5,9	5,79	5,95
Rohprotein (%)	9,9	9,4	9,4	9,6	10,1	9,1
lösl. N (mg/100g)	710	688	743	728	820	677
ELG (%)	44,8	45,7	49,4	47,4	50,7	46,5
VZ 45 °C (%)	46,4	42,1	40,6	46,1	45,2	40,7
α-Amylase (ASBC)	69,9	80,1	56,1	66,6	53,7	60,4
DK (°WK)	328	301	202	332	362	349
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,87	3,81	3,72	3,99	-	3,70
pH-Wert	5,98	6,03	6,02	5,97	-	6,07
Farbe (EBC)	5,2	5,8	4,5	5,3	-	5,1
RV (%)	25	28	22	26	-	26



Tabelle AH 3: Fortsetzung

Standort	E					
	Sorte	1	2	3	4	5
Malzanalyse						
Wassergehalt	4,7	4,5	4,3	4,4	4,3	4,2
Extrakt wfr. (%)	84,7	83,6	83,2	83,9	83,3	84,7
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,519	1,489	1,486	1,526	1,504	1,500
EVG (%)	84,1	83,4	80,9	82,5	82,4	82,4
Friabilimeter (%)	86,9	91,4	95,6	89,9	88,9	92,7
Farbe (EBC)	2,7	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0
pH-Wert	5,94	5,96	5,95	5,95	5,86	5,97
Rohprotein (%)	9,4	8,6	9,1	9,0	9,7	9,1
lösl. N (mg/100g)	653	612	663	640	727	631
ELG (%)	43,4	44,5	45,5	44,4	46,8	43,3
VZ 45 °C (%)	40,5	38,4	34,8	38,5	40,7	39,2
α-Amylase (ASBC)	63,5	65,3	56,7	56,2	49,8	51,7
DK (°WK)	335	314	205	313	326	313
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,58	3,64	3,55	3,71	3,83	3,71
pH-Wert	6,09	6,10	6,13	6,07	5,95	6,05
Farbe (EBC)	4,5	5,1	4,8	5,2	5,2	5,7
RV (%)	23	25	25	27	26	29

Standort	F					
	Sorte	1	2	3	4	5
Malzanalyse						
Wassergehalt	4,1	4,1	3,9	4,1	4,1	3,9
Extrakt wfr. (%)	84,2	83,6	83,7	83,2	83,2	84,5
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,534	1,538	1,497	1,558	1,507	1,466
EVG (%)	82,8	81,7	81,5	82,3	83,5	84,0
Friabilimeter (%)	84,4	83,4	93,2	82,7	84,4	92,5
Farbe (EBC)	3,0	3,3	4,0	3,0	3,1	3,0
pH-Wert	5,98	5,96	5,94	5,95	5,84	5,99
Rohprotein (%)	8,9	8,8	8,6	9,0	9,4	9,0
lösl. N (mg/100g)	630	612	634	634	739	620
ELG (%)	44,2	43,5	46,1	44,0	49,1	43,1
VZ 45 °C (%)	44,4	39,9	37,6	43,6	48,4	42,6
α-Amylase (ASBC)	59,0	55,9	46,7	52,5	49,8	59,1
DK (°WK)	305	290	197	298	329	338
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,64	3,72	3,49	3,61	3,67	3,40
pH-Wert	6,08	6,10	6,06	6,04	5,95	6,09
Farbe (EBC)	4,6	5,2	4,4	5,2	5,0	4,6
RV (%)	24	22	25	30	26	26

Tabelle AH 3: Fortsetzung

Standort	G					
	Sorte	1	2	3	4	5
Malzanalyse						
Wassergehalt	4,3	4,3	4,6	4,3	4,4	4,5
Extrakt wfr. (%)	84,1	84,3	83,5	83,6	83,8	85,1
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,505	1,473	1,486	1,501	1,495	1,474
EVG (%)	82,4	81,8	81,5	82,7	82,7	82,5
Friabilimeter (%)	80,1	83,9	89,3	79,4	81,7	89,8
Farbe (EBC)	3,7	4,0	3,8	3,8	3,8	4,1
pH-Wert	5,89	5,86	5,87	5,84	5,8	5,86
Rohprotein (%)	9,2	8,6	9,1	9,3	9,7	9,3
lösl. N (mg/100g)	706	705	729	760	801	726
ELG (%)	48,0	51,2	50,1	51,1	51,6	48,8
VZ 45 °C (%)	46,4	46,1	44,6	47,5	49,3	51,4
α-Amylase (ASBC)	71,3	80,3	60,3	72,4	56,2	63,3
DK (°WK)	313	243	196	273	351	321
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,95	4,16	3,66	4,05	3,90	3,83
pH-Wert	5,89	5,97	5,89	5,97	5,84	5,90
Farbe (EBC)	6,4	7,1	5,8	6,2	6,5	5,9
RV (%)	29	27	28	26	29	33

Standort	H					
	Sorte	1	2	3	4	5
Malzanalyse						
Wassergehalt	4,7	4,8	4,7	5,0	4,9	4,6
Extrakt wfr. (%)	83,2	82,5	82,7	82,9	82,0	82,2
Viskosität, 6,8 % (mPa×s)	1,443	1,452	1,460	1,458	1,464	1,473
EVG (%)	83,7	83,1	79,7	80,9	82,1	81,3
Friabilimeter (%)	90,5	91,1	96,2	91,9	86,8	90,6
Farbe (EBC)	3,4	2,8	3,2	2,6	3,0	2,9
pH-Wert	5,9	5,94	5,9	5,9	5,84	6,05
Rohprotein (%)	10,0	9,6	9,7	9,9	10,5	10,0
lösl. N (mg/100g)	635	645	675	681	754	605
ELG (%)	39,7	42,0	43,5	43,0	44,9	37,8
VZ 45 °C (%)	35,5	35,1	34,1	36,2	39,6	34,6
α-Amylase (ASBC)	52,5	52,5	50,8	48,9	48,8	41,4
DK (°WK)	388	306	236	368	382	392
Kaltauszug						
Stammwürze (%)	3,46	3,60	3,46	3,56	3,66	3,35
pH-Wert	6,07	6,09	6,11	6,06	5,99	6,14
Farbe (EBC)	4,6	5,4	4,9	4,7	5,2	5,3
RV (%)	25	27	26	27	28	29

Tabelle AH 4: Auswirkungen von Malztyp und Maischverfahren auf verschiedene Analysenmerkmale

Kaltauszug	KM 1	BM 1	BM 2	BM 3	BM 4	BM 5	KM 2	KM 3	KM 4	KM 5
Stammwürze (%)	3,47	4,00	3,84	4,13	4,54	4,66	4,00	4,75	5,36	5,97
pH	5,93	5,97	5,95	5,67	5,49	5,40	5,00	5,19	5,01	4,76
Farbe (EBC)	4,6	4,9	10	11	23	40	44	83	205	505
RV (%)	21	21	30	37	55	76	78	98	99	100
TBZ	15	18	66	74	150	205	204	369	567	1221
Pronyl-Lysin (mg/l)	-	0,02	-	-	2,01	-	-	-	5,39	-
Infusion 45	KM 1	BM 1	BM 2	BM 3	BM 4	BM 5	KM 2	KM 3	KM 4	KM 5
Stammwürze (%)	14,89	15,66	15,56	15,67	15,69	15,83	11,83	15,21	12,07	8,78
pH	5,88	5,78	5,85	5,59	5,43	5,34	4,97	5,20	5,00	4,61
Farbe (EBC)	5,3	5,9	14	14	30	61	67	102	236	368
RV (%)	17	10	47	39	59	81	96	97	99	100
TBZ	17	22	73	76	186	236	242	421	734	1493
Pronyl-Lysin (mg/l)	-	0,28	-	-	1,98	-	-	-	7,41	-
Infusion 62	KM 1	BM 1	BM 2	BM 3	BM 4	BM 5	KM 2	KM 3	KM 4	KM 5
Stammwürze (%)	14,99	15,45	15,50	15,84	16,08	16,06	12,88	15,39	9,93	9,71
pH	5,79	5,78	5,77	5,61	5,43	5,29	4,99	5,18	4,94	4,65
Farbe (EBC)	4,8	5,5	12	13	27	46	52	83	199	365
RV (%)	17	14	48	39	62	84	93	98	100	100
TBZ	19	20	73	81	155	248	234	440	619	1417
Pronyl-Lysin (mg/l)	-	0,11	-	-	1,6	-	-	-	7,08	-

Tabelle AH 5: Veränderung verschiedener Analysenmerkmale aufgrund der teilweisen Substitution der Schüttung durch verschiedene Malztypen

Kaltauszug	BM 1	5 % BM 5	10 % BM 5	20 % BM 5	5 % KM 2	10 % KM 2	20 % KM 2	5 % KM 4	10 % KM 4	20 % KM 4
Stammwürze (%)	4,12	4,34	4,24	4,24	4,13	4,30	4,51	4,21	4,42	4,91
pH	5,80	5,81	5,80	5,75	5,77	5,73	5,60	5,76	5,70	5,53
Farbe (EBC)	6,1	7,2	8,1	11	7,4	8,7	13	15	24	43
RV (%)	23	27	28	37	26	29	40	42	52	77
TBZ	17	28	35	53	28	36	55	44	70	128
Infusion 62	BM 1	5 % BM 5	10 % BM 5	20 % BM 5	5 % KM 2	10 % KM 2	20 % KM 2	5 % KM 4	10 % KM 4	20 % KM 4
Stammwürze (%)	16,59	16,35	16,25	16,09	16,02	16,11	15,95	15,91	16,35	16,39
pH	5,82	5,76	5,72	5,66	5,70	5,64	5,54	5,67	5,60	5,48
Farbe (EBC)	5,8	7,5	9,4	13	8,7	11	16	20	25	47
RV (%)	24	29	33	38	30	35	42	45	63	85
TBZ	18	30	41	64	31	43	75	53	85	137

Tabelle AH 6: Malzaromastoffanalyse verschiedener Malztypen in µg/l

	BM 1	BM 2	BM 5	KM 1	KM 2	KM 4
3-Methylbutanal	2088	12054	35754	934	6735	36008
2-Methylbutanal	693	4564	16860	366	4185	32939
2-Pentanon	n.a.	10,9	15,5	6,0	8,3	35
Pentanal	72	88	78	49	62	159
3-Methylbutanol	552	1725	1079	403	525	710
2-Methylbutanol	149	493	533	105	143	239
2-Acetylfuran	Sp.	Sp.	168,0	Sp.	83,0	1744,0
Phenylethanal	671	2756	2429	265	433	1140
γ-Nonalacton	28	7,6	43	29	27	55
2-Furfural	593	1314	3525	128	779	10844
Heptanal	23,0	29	52	14	11	40
Methional	Sp.	216	1863	Sp.	92	1323
Hexanal	587	488	n.a.	110	535	1377
Benzaldehyd	48	83	166	25	88	163
t2-c6-Nonadienal	44	38	53	58	Sp.	16
t2-Nonenal	39	42	43	46	Sp.	9,3
Pentanol	536	382	405	6,6	333	429
Octen-3-ol	43	71	80	30	104	124
Octanol	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Isobutyraldehyd	1879	6848	20942	618	5495	39072
Phenylethanol	n.a.	929	507	n.a.	1869	615
Σ Streckeraldehyde	3500	19673	57072	1590	11533	71573

Tabelle AH 7: Malzanalyse des Braumalzes zur Ermittlung der Auswirkung unterschiedlicher Einmischtemperaturen (Tab. AH 8)

Analysenmerkmal	Wert
Wassergehalt (%)	5,5
Extrakt (%)	77,7
Extrakt wfr. (%)	82,2
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,422
Friabilimeter (%)	95,7
Ganzglasigkeit (%)	0,8
Verzuckerung (min.)	<15
Ablauf	klar
Endvergärung (%)	87,4
Farbe (EBC)	3,4
Kochfarbe (EBC)	5,3
pH-Wert	5,90
Rohprotein (%)	10,3
lösl. N (mg/l)	754
ELG (%)	45,8

Tabelle AH 8: Auswirkung unterschiedlicher Einmischtemperaturen auf die Würze und das Bier

		Analyse	Probenahme	52 °C	62 °C
Würzeanalyse	Stammwürze (%)		10'	9,29	14,50
			76E	16,28	16,08
			VW	15,85	15,56
			PfV	9,93	9,81
			AW	11,13	10,95
	FAN (mg/l)	AW	22,33	20,89	
	pH		10'	5,85	5,76
			76E	5,69	5,66
			VW	5,67	5,66
			PfV	5,78	5,80
			AW	5,75	5,74
	Farbe (EBC)		10'	6,9	0,4
			78E	7,9	7,2
			VW	7,7	7,4
			PfV	5,9	5,7
			AW	9,3	9,6
	RV (%)		10'	50	44
			76E	65	65
			VW	72	73
			PfV	57	43
		AW	89	83	
TBZ		10'	40	39	
		76E	40	39	
		VW	40	39	
		PfV	26	26	
		AW	55	54	

		Analyse	52 °C	62 °C
Bieranalyse	Stammwürze (%)		10,73	10,76
	Stammwürze/f (%)		10,72	10,69
	Alkohol (Vol. %)		4,73	4,89
	Alkohol/f (Vol. %)		4,71	4,83
	Extrakt, s (%)		1,76	1,47
	Extrakt, s/f (%)		1,78	1,51
	VG,s (%)		84,3	86,8
	VG,s/f (%)		84,0	86,4
	Farbe (EBC)		6,0	6,2
	Farbe/f (EBC)		6,7	6,7
	pH		5,00	4,84
	pH/f		5,08	4,97
	Gesamtpolyphenole (mg/l)		144	124
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)		161	138
	Anthocyanogene (mg/l)		46	46
	Anthocyanogene, 12 % (mg/l)		51	51
	Polymerisationsindex		3,16	2,71
	Tannoide (mg/l PVP)		19	19
	RV (%)		21	20
	RV/f (%)		30	26
TBZ		40	41	
TBZ/f		39	39	
SO <sub>2</sub> (mg/l)		1,0	1,1	
SO <sub>2</sub> /f (mg/l)		0,0	0,1	
Schaum, NIBEM (s)		262	274	
Schaum, NIBEM/f (s)		259	266	

Tabelle AH 9: Ergebnisse der isothermen Maischversuche für die einzelnen Schrotfraktionen

25 °C	Spelzen	Grobgrieße	Feingrieße	Mehl	Gesamt
Extrakt (%)	3,48	4,2	4,48	4,13	4,06
Farbe (EBC)	5,4	9,2	5,6	5,4	5,4
EVG (%)	58,05	62,86	62,5	63,92	62,81
pH	5,79	5,75	5,81	5,88	5,81
TBZ	29	39	42	30	36
Anthocyanogene (mg/l)	37	29	34	13	30
Gesamtpolyphenole (mg/l)	75	67	86	36	67
Tannoiide (mg/l PVP)	37	26	33	17	33
Reduktionsvermögen	28	28	29	27	27
Viskosität (mPa×s)	1,273	1,307	1,321	1,305	1,301
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,682	1,671	1,662	1,676	1,68
FAN (mg/100 ml)	24,3	25,5	27,4	25,5	25
β-Glucan (mg/l)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

40 °C	Spelzen	Grobgrieße	Feingrieße	Mehl	Gesamt
Extrakt (%)	4,14	5,01	5,53	5,31	5,06
Farbe (EBC)	5,2	5,7	6,2	4,7	5,6
EVG (%)	62,80	65,87	67,81	70,43	67,00
pH	5,83	5,82	5,85	5,88	5,80
TBZ	29	37	41	31	34
Anthocyanogene (mg/l)	51	41	41	17	42
Gesamtpolyphenole (mg/l)	98	73	53	39	68
Tannoiide (mg/l PVP)	51	36	36	18	45
Reduktionsvermögen	31	26	28	24	27
Viskosität (mPa×s)	1,303	1,351	1,371	1,362	1,344
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,664	1,656	1,624	1,637	1,629
FAN (mg/100 ml)	21,7	24,4	26,2	22,8	24,1
β-Glucan (mg/l)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

60 °C	Spelzen	Grobgrieße	Feingrieße	Mehl	Gesamt
Extrakt (%)	11,34	12,98	13,8	14,56	13,14
Farbe (EBC)	5,9	6,4	6,7	4,2	6,0
EVG (%)	86,63	85,36	87,24	87,77	87,23
pH	5,64	5,68	5,64	5,62	5,64
TBZ	32	37	42	30	35
Anthocyanogene (mg/l)	73	63	62	26	62
Gesamtpolyphenole (mg/l)	119	101	102	53	106
Tannoiide (mg/l PVP)	57	55	46	19	55
Reduktionsvermögen	37	37	37	31	35
Viskosität (mPa×s)	1,816	1,898	1,959	2,002	1,771
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,553	1,504	1,493	1,477	1,442
FAN (mg/100 ml)	27,7	31,1	31,7	24,3	29,2
β-Glucan (mg/l)	264	136	91	68	109

Tabelle AH 10: Auswirkung einer Fraktionentrennung auf Pfannevoll- und Anstellwürze

Analyse	Pfannevoll		AW	
	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung
Extrakt (%)	8,08	7,81	12,6	12,29
Farbe (EBC)	4,46	4,21	9,5	8,6
TBZ	21,95	18,85	58	56
pH	5,68	5,65	5,5	5,42

Tabelle AH 11: Veränderung der Würzearomastoffe durch Fraktionentrennung

Aromastoff [ $\mu\text{g/l}$ ]	Pfannevoll		AW	
	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung	ohne Fraktionentrennung	mit Fraktionentrennung
3-Methylbutanal	90	186	67	54
2-Methylbutanal	26	60	21	19
Methional	21	21	12	9
Benzaldehyd	4,4	5,7	3,4	5,1
2-Phenylethanal	109	116	87	76
$\Sigma$ Streckeraldehyde	250	389	191	164
Pentanal	6,6	10,8	1,4	1,5
2-Pentanon	4,1	4,2	3,8	4,2
Hexanal	51	78	8,8	8,6
Heptanal	2,2	2,8	0,8	0,8
trans,2-cis,6-Nonadienal	0,6	0,6	Sp.	n. a.
2-Furfural	59	72	133	141
2-ac-Furan	n. a.	n. a.	1,1	n. a.
$\gamma$ -Nonalacton	4,5	4,2	2,9	2,7
3-Methylbutanol	19	26	13	23
2-Methylbutanol	5,2	8,5	4	7,3
1-Pentanol	17	23	2,5	3,5
1-Hexanol	8,4	11	1,7	2,1
1-Octanol	1,4	1,8	1,1	1,6
1-Octen-3-ol	3,4	4,8	0,5	0,7
Phenylethanol	74	68	67	65

Tabelle AH 12: Malzanalyse des Malzes zu den Versuchen Schrotfraktionen

Analysenmerkmal	Ergebnis
Wassergehalt (%)	4,4
Extrakt (%)	78,2
Extrakt, wfr. (%)	81,8
Friabilimeter (%)	82
Teilglasigkeit (%)	1,2
Ganzglasigkeit (%)	1,1
Ablauf	klar
Verzuckerungszeit (min.)	< 10
Farbe (EBC)	3,9
pH-Wert	5,7
Rohprotein (%)	11,2
lösl. N (mg/100 g TrS.)	813
ELG (%)	45,4
Viskosität, 8,6 % (mPa $\times$ s)	1,516

Tabelle AH 13: Einfluss des pH-Wertes auf den Maischprozess

BM 4			
Infusion 62	pH 4,02	pH 5,01	pH 5,98
Stammwürze (%)	14,94	17,42	16,40
pH	4,11	5,24	5,79
Pronyl-L-Lysin (mg/l)	1,70	1,60	1,27
Farbe (EBC)	31	36	37
RV (%)	74	74	76
TBZ	35	37	35

Tabelle AH 14: Einfluss des Gussverhältnisses auf den Maischprozess

	BM 1				BM 2				BM 4			
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6
Kaltauszug	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6
Stammwürze (%)	2,55	2,56	2,52	2,53	2,86	2,90	2,86	2,87	2,72	2,71	2,75	2,65
pH	5,98	5,99	5,96	6,08	5,87	5,87	5,85	5,86	5,52	5,53	5,54	5,56
Farbe (EBC)	3,8	3,9	3,9	3,9	6,7	6,9	7,1	6,7	17	16	17	17
RV (%)	13	13	14	14	26	27	28	28	42	42	43	44

	BM 1				BM 2				BM 4			
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6
Infusion 62	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6	1:3	1:4	1:5	1:6
Stammwürze (%)	8,78	8,73	8,70	8,57	9,09	9,10	9,03	9,02	8,91	8,92	8,81	8,87
pH	5,82	5,77	5,78	5,80	5,73	5,73	5,73	5,73	5,51	5,57	5,58	5,58
Farbe (EBC)	3,4	3,5	3,6	3,6	7,2	7,3	7,1	7,1	16	16	16	17
RV (%)	17	15	17	17	25	25	25	25	43	39	38	41

Tabelle AH 15: Malzanalyse (Versuche Maischesäuerung)

	Sorte 2	Sorte 8
Wassergehalt (%)	4,0	4,0
Extrakt (%)	78,9	78,1
Extrakt wfr. (%)	82,2	81,4
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,467	1,463
Viskosität 65 °C, 8,6 % (mPa×s)	1,502	1,503
Friabilimeter (%)	96,4	90,6
Ganzglasigkeit (%)	0,3	0
Teilglasigkeit (%)	1,0	0,2
Verzuckerung (min.)	< 10	< 10
Ablauf	klar	klar
Endvergärung (%)	82,6	80,9
Farbe (EBC)	2,4	3,1
Kochfarbe (EBC)	5,6	5,6
pH-Wert	6,01	5,96
Rohprotein (%)	9,1	11,7
lösl. N (mg/l)	565	644
ELG (%)	38,8	34,4
FAN (mg/100 g TrS.)	120	137
VZ 45 °C (%)	32,1	36
β-Glucan (mg/l)	181	98
β-Glucan 65 °C (mg/l)	205	200
TBZ	12	13
DMS-Vorläufer (ppm)	3,1	6,5
DK (°WK)	266	263
α-Amylase (ASBC)	62	51



Tabelle AH 16: klassische Würzeanalysen (Versuche Maischesäuerung)

Analysenmerkmal	Sorte 2/6,0	Sorte 8/6,0	Sorte 2/5,7	Sorte 8/5,7	Sorte 2/5,4	Sorte 8/5,4
Stammwürze 10' (%)	14,56	14,28	14,51	14,24	14,21	14,37
Stammwürze 62E (%)	15,42	15,37	15,39	15,54	15,11	15,42
Stammwürze 72A (%)	15,96	15,86	15,91	16,17	15,65	15,98
Stammwürze 72E (%)	16,14	16,05	16,20	16,30	15,72	16,13
Stammwürze 78A (%)	16,16	16,08	16,22	16,39	15,73	16,16
Stammwürze 78E (%)	16,16	16,05	16,27	16,33	15,88	16,2
Stammwürze VW (%)	15,58	15,53	15,64	15,49	15,31	15,36
Stammwürze PfV (%)	10,17	9,89	10,36	10,10	10,15	9,85
Stammwürze KA (%)	10,22	10,05	10,49	10,16	10,18	9,87
Stammwürze vH (%)	11,82	11,24	11,92	10,43	11,82	11,21
Stammwürze KE (%)	12,06	12,27	11,61	11,92	12,23	11,76
Stammwürze AW (%)	11,85	11,80	11,48	11,71	11,7	11,56
pH 10'	5,98	6,04	5,78	5,85	5,8	5,89
pH 62E	5,94	5,96	5,78	5,77	5,74	5,82
pH 72A	5,92	5,93	5,73	5,74	5,7	5,76
pH 72E	5,90	5,92	5,72	5,73	5,71	5,76
pH 78A	5,90	5,90	5,72	5,71	5,74	5,75
pH 78E	5,89	5,90	5,72	5,71	5,72	5,78
pH VW	5,78	5,74	5,59	5,62	5,59	5,64
pH PfV	5,85	5,85	5,70	5,73	5,69	5,73
pH KA	5,77	5,87	5,69	5,75	5,64	5,77
pH vH	5,75	5,79	5,67	5,75	5,58	5,64
pH KE	5,69	5,76	5,65	5,65	5,53	5,59
pH AW	5,69	5,76	5,66	5,69	5,61	5,63
Farbe 10' (EBC)	5,8	4,9	5,1	5,6	4,7	5,6
Farbe 62E (EBC)	6,2	5,8	5,4	6,1	5,0	6,1
Farbe 72A (EBC)	6,4	5,7	5,4	6,3	5,6	6,0
Farbe 72E (EBC)	6,4	5,9	5,7	6,2	5,5	6,1
Farbe 78A (EBC)	6,5	5,5	5,7	6,3	5,4	6,4
Farbe 78E (EBC)	6,6	5,8	5,6	5,7	5,6	5,7
Farbe VW (EBC)	7,4	6,6	7,4	7,3	6,1	6,6
Farbe PfV (EBC)	5,8	5,6	6,0	5,8	4,8	4,7
Farbe KA (EBC)	5,8	5,2	6,3	5,7	4,9	5,2
Farbe vH (EBC)	7,4	6,3	6,9	6,6	6,5	6,2
Farbe KE (EBC)	8,4	8,1	8,3	7,7	7,6	7,5
Farbe AW (EBC)	8,7	8,2	7,9	8,0	8,0	8,0
RV 10'	38	34	24	21	23	23
RV 62E	51	32	24	23	24	24
RV 72A	24	26	24	24	27	23
RV 72E	25	25	24	23	22	22
RV 78A	22	23	23	25	23	30
RV 78E	25	22	23	22	23	26
RV VW	62	53	59	54	68	58
RV PfV	34	26	62	56	62	63
RV KA	43	36	69	72	59	55
RV vH	66	51	61	56	63	51
RV KE	82	46	75	42	84	57
RV AW	66	36	58	36	59	65
TBZ 10'	21	20	19	23	21	19
TBZ 62E	21	20	19	22	21	20
TBZ 72A	21	20	19	22	21	21
TBZ 72E	21	20	19	22	23	21
TBZ 78A	21	20	19	23	22	21
TBZ 78E	22	20	19	23	20	21
TBZ VW	18	22	20	21	19	23
TBZ PfV	14	14	16	15	14	16
TBZ KA	15	15	16	15	14	18
TBZ vH	30	28	31	29	31	35
TBZ KE	32	34	33	33	32	37
TBZ AW	33	35	33	34	33	39
FAN AW (mg/l)	17,75	17,92	19,39	18,67	-	19,65

Würzeanalyse Maischen, Läutern, Kochen

Tabelle AH 17: Bieranalyse und Alterungsindikatoren (Versuche Maischesäuerung)

	Analysenmerkmal	Sorte 2/6,0	Sorte 8/6,0	Sorte 2/5,7	Sorte 8/5,7	Sorte 2/5,4	Sorte 8/5,4
Bieranalyse	pH-Wert	4,85	4,64	4,79	4,77	4,82	4,74
	pH-Wert/f	4,87	4,74	4,81	4,76	4,84	4,78
	Farbe (EBC)	5,3	5,2	5,5	5,2	4,9	5,4
	Farbe/f (EBC)	5,5	5,5	5,5	5,2	5,4	5,6
	TBZ	24	24	26	27	23	25
	TBZ/f	25	23	24	24	23	26
	RV (%)	17	17	23	22	20	20
	RV/f (%)	18	19	25	25	21	21
	Stammwürze (%)	11,19	12,09	11,35	11,15	11,61	11,59
	Stammwürze/f (%)	11,13	11,95	11,31	11,16	11,59	11,53
	Extrakt, s (%)	1,68	1,98	1,52	1,86	1,63	1,85
	Extrakt, s/f (%)	1,69	2,02	1,52	1,85	1,65	1,86
	Alkohol (Vol.%)	5,02	5,37	5,19	4,91	5,28	5,16
	Alkohol/f (%)	4,98	5,27	5,17	4,92	5,26	5,12
	Viskosität, 12 % (mPa×s)	1,543	1,525	1,554	1,578	1,568	1,541
	Viskosität, 12 %/f (mPa×s)	1,545	1,512	1,557	1,572	1,571	1,544
	VG (%)	85,5	84,2	87,1	83,9	86,5	84,7
	VG/f (%)	85,3	83,7	87,1	84,0	86,3	84,5
	Verkostung, DLG (gew. Note)	4,29	4,25	4,47	4,45	4,10	4,18
	Verkostung DLG/f (gew. Note)	3,66	3,74	4,13	4,08	3,79	3,66
	Alt. Verkostung (gew. Note)	1,00	1,00	1,00	1,04	1,00	1,00
	Alt. Verkostung/f (gew. Note)	1,90	1,98	1,66	1,76	1,82	2,00
	Alt. Akzeptanz (%)	68,0	63,8	76,0	68,0	58,3	46,7
	SO <sub>2</sub> (mg/l)	4,1	4,4	0,9	0,2	1,8	0,9
	SO <sub>2</sub> /f (mg/l)	-	-	0,2	0,3	0,5	0,3
	Schaum, NIBEM (s)	-	-	167	242	244	273
	Schaum, NIBEM/f (s)	-	-	200	249	238	264
	Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
2-Methyl-Butanal/f		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal		9,1	7,5	-	6,5	n.a.	5,8
3-Methyl-Butanal/f		16	15	n.a.	10	8,7	15
2-Furfural		Sp.	Sp.	-	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural/f		96	82	33	19	75	62
5-Methyl-Furfural		3,4	3,2	-	2,8	3,9	3,6
5-Methyl-Furfural/f		3,4	3,5	4	3,5	4,0	4,5
Benzaldehyd		Sp.	Sp.	-	0,5	Sp.	Sp.
Benzaldehyd/f		Sp.	0,9	0,9	1,1	Sp.	Sp.
2-Phenyl-Ethanal		5,5	5,6	-	5,9	4,8	5,1
2-Phenyl-Ethanal/f		15	11	8,1	8,2	8,8	12
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester		1,6	1,9	-	1,3	1,7	1,5
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f		1,8	2,0	2,3	2,2	1,8	1,9
Nicotinsäure-Ethyl-Ester		3,4	3,7	-	5,0	4,9	4,4
Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f		15	12	12	10	16	8,69
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester		0,7	0,6	-	0,5	0,7	0,5
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester/f		0,9	0,7	1,1	1,0	0,8	0,7
2-Acetyl-Furan		Sp.	Sp.	-	Sp.	Sp.	Sp.
2-Acetyl-Furan/f		3,2	3,2	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Propionyl-Furan		2,1	2,3	-	2,1	3,0	2,0
2-Propionyl-Furan/f		2,7	2,5	14	n.a.	3,2	2,8
gamma-Nonalacton		7,6	8,2	-	10	13	13
gamma-Nonalacton/f		15	15	19	15	22	18
Wärmeindikatoren, frisch		7,6	8,2	-	10	13	13
Wärmeindikatoren, forciert		111	97	52	34	97	80
Sauerstoffindikatoren, frisch		15	13	-	13	4,8	11
Sauerstoffindikatoren, forciert		31	26	8,9	19	17	27
Alterungskomponenten, frisch		30	29	-	30	27	31
Alterungskomponenten, forciert		154	136	82	61	124	117

Tabelle AH 18: Höhere Alkohole und Würzearomastoffe AW und PfV (Versuche Maischesäuerung)

	Analysenmerkmal	Sorte 2/6,0	Sorte 8/6,0	Sorte 2/5,7	Sorte 8/5,7	Sorte 2/5,4	Sorte 8/5,4	
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	10	8,9	13	8,0	9,5	8,6	
	Propanol-1	11	12	12	12	10	11	
	Ethylacetat	15	15	17	19	22	19	
	2-Methylpropanol	12	14	13	14	9,1	8,1	
	3-Methylbutanol	35	34	39	37	42	36	
	2-Methylbutanol	12	14	11	12	12	11	
	2-Methylpropylacetat	0,1	0,1	0,1	0,1	Sp.	n.n.	
	Buttersäureethylester	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	3-Methylbutylacetat	1,2	1,4	2,0	2,0	1,7	1,3	
	2-Methylbutylacetat	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	
	Hexansäureethylester	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Würzearomastoffe/VW (µg/l)	3-Methyl-Butanal	235	206	227	216	282	239	
	2-Methyl-Butanal	81	75	82	76	96	82	
	Methional	32	42	32	29	29	45	
	Benzaldehyd	3,8	3,3	6,8	4,0	16,2	15,5	
	2-Phenylethanal	160	159	188	175	214	151	
	Σ Streckeraldehyde VW	512	484	537	501	637	531	
	Pentanal	10,2	11,3	10,2	10,1	13,3	12,6	
	2-Pentanon	1,7	0,9	0,9	1,8	0,9	0,9	
	Hexanal	38	29	41	335	44	43	
	Heptanal	1,1	1,4	1,3	0,9	1,4	1,1	
	trans,2-cis,6-Nonadienal	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	
	2-Furfural	57	35	44	33	63	44	
	2-Acetyl-Furan	n.n.	9,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
	γ-Nonalacton	1,0	0,8	0,9	0,7	1,0	1,0	
	3-Methyl-Butanol	58	35	22	24	25	34	
	2-Methyl-Butanol	55	13	21	9,0	9,0	12	
	1-Pentanol	6,4	13,6	11,3	11,7	0,8	0,8	
	1-Hexanol	40,5	9,8	47,3	9,6	0,3	0,1	
	1-Octanol	0,2	1,1	0,2	0,1	0,1	0	
	1-Octen-3-ol	1,6	1,5	2,1	4,3	0,2	0,3	
	Phenylethanol	58	55	42	41	6,0	5,0	
	Würzearomastoffe/PfV (µg/l)	3-Methyl-Butanal	299	232	271	245	311	258
		2-Methyl-Butanal	112	86	101	90	106	88
Methional		33	48	50	32	40	42	
Benzaldehyd		9,0	4,2	5,2	4,2	21,6	15,8	
2-Phenylethanal		186	194	214	199	207	186	
Σ Streckeraldehyde PfV		640	564	642	570	686	590	
Pentanal		13	13	11,9	12,9	15,7	15,6	
2-Pentanon		2,5	2,6	1,9	0,9	1,0	1,0	
Hexanal		52	39	54	46	62	55	
Heptanal		1,3	1,2	2,6	1,3	1,5	2,6	
trans,2-cis,6-Nonadienal		n.n.	Sp.	1,1	0,8	n.n.	1,0	
2-Furfural		55	39	54	37	66	52	
2-Acetyl-Furan		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
γ-Nonalacton		1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	2,0	
3-Methyl-Butanol		44	38	36	25	37	37	
2-Methyl-Butanol		16	13	13	8	13	13	
1-Pentanol		17,8	15,2	17,3	13,5	0,8	0,8	
1-Hexanol		17,2	11,7	15,5	11,8	0,1	0,3	
1-Octanol		0,2	0,2	0,2	0,2	Sp.	0,1	
1-Octen-3-ol		2,8	2,2	3,2	2,5	0,3	0,3	
Phenylethanol		57	54	53	43	7,0	7,0	

Tabelle AH 19: Würzearomastoffe AW und Bieraromastoffe (Versuche Maischesäuerung)

	Analysenmerkmal	Sorte 2/6,0	Sorte 8/6,0	Sorte 2/5,7	Sorte 8/5,7	Sorte 2/5,4	Sorte 8/5,4
Würzearomastoffe/AW (µg/l)	3-Methyl-Butanal	34	29	47	43	45	52
	2-Methyl-Butanal	9,0	9,0	13	2,0	11	13
	Methional	34	30	0	0	n.n.	n.n.
	Benzaldehyd	1,3	1,4	1,7	2,2	2,7	1,7
	2-Phenylethanal	67	70	90	88	83	111
	Σ Streckeraldehyde AW	146	139	152	135	142	178
	Pentanal	3,5	3,4	2,3	2,1	3,3	2,5
	2-Pentanon	0,5	0,5	0,4	0,4	n.n.	n.n.
	Hexanal	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Heptanal	0,5	0,3	0,7	0,6	0,6	n.n.
	trans,2-cis,6-Nonadienal	0,4	n.n.	3,5	n.n.	n.n.	n.n.
	2-Furfural	62	41	76	54	78	92
	2-Acetyl-Furan	3,0	n.n.	5,0	3,0	3,0	3,0
	γ-Nonalacton	0,6	0,4	0,7	0,6	1,0	1,0
	3-Methyl-Butanol	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	0,0	1,0
	2-Methyl-Butanol	1,0	8,0	9,0	8,0	1,0	9,0
	1-Pentanol	0,3	1,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	1-Hexanol	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
	1-Octanol	n.n.	n.n.	n.n.	0,2	1,9	1,6
	1-Octen-3-ol	0,2	0,2	0,7	0,6	Sp.	0,1
Phenylethanol	38	34	33	29	1	2	
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	12	11	14	13	13	14
	Heptanol-1	3,2	3,5	3,8	8,3	5,3	6,3
	Octanol-1	10	14	14	16	8,7	10
	Decanol-1	5,7	6,6	6,2	6,8	4,6	5,5
	2-Phenylethanol	20676	22402	24136	27845	18285	15124
	Furfurylalkohol	333	352	747	635	423	534
	Essigsäure-Isobutylester	56	78	79	79	32	28
	Essigsäure-Hexylester	3,5	2,7	5,2	4,8	3,3	2,7
	Essigsäure-Heptylester	1,4	2,2	1,8	5,4	2,1	2,0
	Essigsäure-Octylester	2,1	2,8	2,0	2,9	1,5	1,8
	Essigsäure-Furfurylester	1,4	1,6	2,9	2,3	2,0	1,8
	Essigsäure-2-Phenylethylester	479	634	841	981	432	334
	Buttersäure-Ethylester	77	86	98	86	88	79
	Hexansäure-Ethylester	143	181	171	160	184	162
	Octansäure-Ethylester	229	266	314	281	304	248
	Decansäure-Ethylester	55	47	69	59	72	57
	Isovaleriansäure	815	817	49	n.a.	n.a.	437
	Hexansäure	1605	1920	2634	2410	2295	2138
	Octansäure	4900	5397	6564	6243	6314	5303
	Nonansäure	10,0	8,5	25	24	14	13
	Decansäure	958	727	1098	924	1185	969
	Dodecansäure	39	53	139	160	180	115
	α-Terpineol	n.a.	n.a.	4,0	2,3	2,7	2,8
Linalool	13,0	1,9	10	10	8,5	6,6	
Nerol	2,0	1,3	1,9	1,1	1,5	1,0	
γ-Nonalacton	7,9	7,7	12	10	12	14	

Tabelle AH 20: Malzanalyse (Kochversuche)

Analysenmerkmal	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Wassergehalt (%)	4,1	4,0	4,0	3,8
Extrakt (%)	77,2	78,7	78,1	77,8
Extrakt wfr. (%)	80,5	82	81,4	80,9
Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,493	1,464	1,463	1,490
Viskosität 65 °C, 8,6 % (mPa×s)	1,633	1,617	1,503	1,639
Friabilimeter (%)	85,8	79,7	90,6	90,4
Ganzglasigkeit (%)	0	0,1	0	0,1
Teilglasigkeit (%)	1,4	2,2	0,2	0,2
Verzuckerung (min.)	< 10	< 10	< 10	< 10
Ablauf	klar	klar	klar	klar
Endvergärung (%)	81,2	82,4	80,9	79,2
Farbe (EBC)	2,8	2,5	3,1	3,2
Kochfarbe (EBC)	5,9	5,5	5,6	5,8
pH-Wert	5,98	5,93	5,96	5,98
Rohprotein (%)	11,1	10,7	11,7	12,8
lösl. N (mg/l)	626	663	644	767
ELG (%)	35,2	38,7	34,4	37,5
FAN (mg/100 g TrS.)	113	146	137	149
VZ 45 °C (%)	33,3	41,7	36	39
β-Glucan (mg/l)	290	212	98	202
β-Glucan 65 °C (mg/l)	401	360	200	350
TBZ	13	18	13	12
DMS-Vorläufer (ppm)	3,8	5,2	6,5	5,2
DK (°WK)	347	329	263	335
α-Amylase (ASBC)	61	62	51	54

Tabelle AH 21: klassische Würzeanalysen (Kochversuche)

Analysenmerkmal	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Stammwürze 10' (%)	13,46	13,95	14,28	14,20
Stammwürze 62E (%)	14,88	15,28	15,37	15,32
Stammwürze 72A (%)	15,78	15,81	15,86	15,79
Stammwürze 72E (%)	15,96	16,11	16,05	15,92
Stammwürze 78A (%)	16,02	16,21	16,08	16,08
Stammwürze 78E (%)	16,04	16,23	16,05	16,07
Stammwürze VW (%)	15,28	15,66	15,53	15,23
Stammwürze PfV (%)	9,75	10,06	9,89	9,87
Stammwürze KA (%)	9,85	10,53	10,05	10,45
Stammwürze vH (%)	11,79	12,17	11,24	11,49
Stammwürze KE (%)	12,25	12,46	12,27	12,20
Stammwürze AW (%)	12,00	12,29	11,80	11,76
pH 10'	6,09	6,02	6,04	6,08
pH 62E	6,03	5,93	5,96	6,04
pH 72A	6,01	5,92	5,93	6,01
pH 72E	5,99	5,91	5,92	5,98
pH 78A	5,99	5,89	5,90	5,98
pH 78E	5,96	5,87	5,90	5,96
pH VW	5,87	5,76	5,74	5,76
pH PfV	5,93	5,88	5,85	5,91
pH KA	5,91	5,90	5,87	5,84
pH vH	5,82	5,78	5,79	5,91
pH KE	5,82	5,72	5,76	5,82
pH AW	5,77	5,73	5,76	5,73
Farbe 10' (EBC)	7,0	6,6	4,9	5,7
Farbe 62E (EBC)	6,7	7,0	5,8	5,8
Farbe 72A (EBC)	6,9	7,3	5,7	6,2
Farbe 72E (EBC)	7,1	7,5	5,9	6,3
Farbe 78A (EBC)	7,2	7,6	5,5	6,0
Farbe 78E (EBC)	7,1	7,8	5,7	5,9
Farbe VW (EBC)	7,6	7,6	6,6	8,4
Farbe PfV (EBC)	5,8	5,9	5,0	6,0
Farbe KA (EBC)	5,9	5,7	5,2	6,4
Farbe vH (EBC)	7,6	7,9	6,3	7,3
Farbe KE (EBC)	9,3	9,6	8,1	9,1
Farbe AW (EBC)	9,4	9,7	8,2	9,1
RV 10'	44	32	34	56
RV 62E	49	40	32	61
RV 72A	22	27	26	21
RV 72E	23	24	25	22
RV 78A	23	23	23	22
RV 78E	25	23	22	24
RV VW	69	64	53	64
RV PfV	62	34	26	55
RV KA	70	33	36	64
RV vH	61	46	51	62
RV KE	47	41	46	38
RV AW	42	33	36	34
TBZ 10'	21	30	20	18
TBZ 62E	23	30	20	18
TBZ 72A	23	30	20	19
TBZ 72E	23	30	20	18
TBZ 78A	24	29	20	19
TBZ 78E	23	30	20	18
TBZ VW	22	24	22	24
TBZ PfV	14	13	14	14
TBZ KA	16	20	15	17
TBZ vH	31	39	28	28
TBZ KE	34	43	34	34
TBZ AW	34	43	35	36
FAN AW (mg/l)	17,97	19,41	17,92	18,61

Würzeanalyse Maischen, Läutern, Kochen

Tabelle AH 22: Bieranalyse und Alterungsindikatoren (Kochversuche)

	Analysenmerkmal	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Bieranalyse	pH-Wert	4,77	4,73	4,64	4,74
	pH-Wert/f	4,83	4,91	4,74	4,74
	Farbe (EBC)	6,2	6,0	5,2	5,4
	Farbe/f (EBC)	6,8	6,5	5,5	5,8
	TBZ	25	33	24	23
	TBZ/f	26	34	23	23
	RV (%)	20	17	17	17
	RV/f (%)	22	19	19	18
	Stammwürze (%)	12,09	12,06	12,09	11,93
	Stammwürze/f (%)	11,87	11,87	11,95	11,78
	Extrakt, s (%)	2,11	1,83	1,98	2,10
	Extrakt, s/f (%)	2,13	1,86	2,02	2,16
	Alkohol (Vol.%)	5,30	5,43	5,37	5,22
	Alkohol/f (%)	5,17	5,31	5,27	5,11
	Viskosität, 12 % (mPa×s)	1,588	1,599	1,525	1,605
	Viskosität, 12 %/f (mPa×s)	1,603	1,611	1,512	1,605
	VG (%)	83,2	85,4	84,2	83,1
	VG/f (%)	82,7	84,9	83,7	82,4
	Verkostung, DLG (gew. Note)	4,16	4,24	4,25	4,15
	Verkostung DLG/f (gew. Note)	3,59	3,56	3,74	3,62
	Alt. Verkostung (gew. Note)	1,00	1,00	1,00	1,00
	Alt. Verkostung/f (gew. Note)	2,08	2,08	1,98	2,20
	Alt. Akzeptanz (%)	50,0	36,0	63,8	46,3
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	169	124	118	131
	Gesamtpolyphenole/F (mg/l)	173	133	148	129
	Anthozyanogene (mg/l)	59	41	48	35
	Anthozyanogene/F (mg/l)	73	45	52	37
	Tannoide (mg PVP/l)	26	15	12	17
	Tannoide/F (mg PVP/l)	25	8	14	0
	SO <sub>2</sub> (mg/l)	6,2	0,7	4,4	2,2
	Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.
2-Methyl-Butanal/f		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal		10	9,3	7,5	7,1
3-Methyl-Butanal/f		15	13	15	10
2-Furfural		Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural/f		76	84	82	106
5-Methyl-Furfural		3,1	3,9	3,2	3,1
5-Methyl-Furfural/f		3,9	4,3	3,5	3,7
Benzaldehyd		Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Benzaldehyd/f		Sp.	Sp.	0,9	1,0
2-Phenyl-Ethanal		6,8	7,5	5,6	5,0
2-Phenyl-Ethanal/f		11	13	11	10
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester		1,4	2,1	1,9	1,7
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f		1,7	2,5	2,0	n.a.
Nicotinsäure-Ethyl-Ester		3,3	4,4	3,7	3,8
Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f		12	13	12	11
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester		0,6	0,8	0,6	0,6
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester/f		0,8	0,8	0,7	0,6
2-Acetyl-Furan		Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Acetyl-Furan/f		3,4	4,4	3,2	3,3
2-Propionyl-Furan		2,3	3,0	2,3	2,3
2-Propionyl-Furan/f		2,9	3,0	2,5	2,8
gamma-Nonalacton		8,1	8,0	8,2	9,2
gamma-Nonalacton/f		17	14	15	18
Wärmeindikatoren, frisch		8,1	8,0	8,2	9,2
Wärmeindikatoren, forciert		92	97	97	124
Sauerstoffindikatoren, frisch		17	17	13	12
Sauerstoffindikatoren, forciert		26	26	26	22
Alterungskomponenten, frisch		32	35	29	29
Alterungskomponenten, forciert		131	139	136	156

Tabelle AH 23: Höhere Alkohole und Würzearomastoffe AW und PfV (Kochversuche)

	Analysenmerkmal	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	10	8,1	8,9	8,3
	Propanol-1	11	13	12	12
	Ethylacetat	14	12	15	14
	2-Methylpropanol	10	11	14	16
	3-Methylbutanol	29	38	34	33
	2-Methylbutanol	10	11	14	15
	2-Methylpropylacetat	0,05	0,04	0,10	0,07
	Buttersäureethylester	0,1	0,1	0,1	0,1
	3-Methylbutylacetat	1,1	1,1	1,4	1,3
	2-Methylbutylacetat	0,1	0,1	0,2	0,2
	Hexansäureethylester	0,2	0,1	0,2	0,2
Würzearomastoffe/VW (µg/l)	3-Methyl-Butanal	265	292	206	201
	2-Methyl-Butanal	98	92	75	70
	Methional	40	78	42	52
	Benzaldehyd	3,3	5,8	3,3	4,7
	2-Phenylethanal	185	176	159	147
	Σ Streckeraldehyde VW	591	644	484	475
	Pentanal	10,4	11,1	11,3	13,5
	2-Pentanon	0,9	2,7	0,9	2,2
	Hexanal	37	35	29	46
	Heptanal	1,1	1,1	1,4	1,8
	trans,2-cis,6-Nonadienal	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	2-Furfural	53	93	35	37
	2-Acetyl-Furan	n.n.	n.n.	9,0	n.n.
	γ-Nonalacton	0,91	0,78	0,80	0,95
	3-Methyl-Butanol	45	40	35	36
	2-Methyl-Butanol	16	12	13	12
	1-Pentanol	18,2	13,1	13,6	20,1
	1-Hexanol	14,7	6,0	9,8	8,3
	1-Octanol	1,2	1,9	1,1	1,6
	1-Octen-3-ol	1,9	1,5	1,5	2,7
Phenylethanol	56	44	55	48	
Würzearomastoffe/PfV (µg/l)	3-Methyl-Butanal	275	341	232	218
	2-Methyl-Butanal	95	111	86	78
	Methional	42	79	48	54
	Benzaldehyd	6,4	6,5	4,2	5,9
	2-Phenylethanal	173	191	194	163
	Σ Streckeraldehyde PfV	591	728	564	518
	Pentanal	14	14	13	16
	2-Pentanon	2,3	2,1	2,6	0,5
	Hexanal	54	49	39	60
	Heptanal	0,7	1,6	1,2	2,1
	trans,2-cis,6-Nonadienal	0,7	n.n.	Sp.	0,7
	2-Furfural	57	95	39	39
	2-Acetyl-Furan	1,0	n.n.	n.n.	1,0
	γ-Nonalacton	1,03	1,15	1,08	1,51
	3-Methyl-Butanol	46	45	38	40
	2-Methyl-Butanol	15	14	13	13
	1-Pentanol	14,8	15,2	15,2	22,5
	1-Hexanol	15,8	12,3	11,7	9,6
	1-Octanol	0,2	0,2	0,2	2,0
	1-Octen-3-ol	2,3	2,2	2,2	3,7
Phenylethanol	57	50	54	47	



Tabelle AH 24: Würzearomastoffe AW und Bieraromastoffe (Kochversuche)

	Analysenmerkmal	Sorte 2	Sorte 8	Sorte 9	Sorte 10
Würzearomastoffe/AW (µg/l)	3-Methyl-Butanal	51	49	29	33
	2-Methyl-Butanal	5,0	14,0	9,0	11,0
	Methional	19	29	30	n.n.
	Benzaldehyd	1,5	1,8	1,4	1,8
	2-Phenylethanal	100	87	70	70
	Σ Streckeraldehyde AW	177	182	139	115
	Pentanal	4,3	3,2	3,4	3,2
	2-Pentanon	n.n.	0,5	0,5	0,7
	Hexanal	4,0	3,0	3,0	3,0
	Heptanal	0,6	0,6	0,3	n.n.
	trans,2-cis,6-Nonadienal	0,5	1,1	n.n.	n.n.
	2-Furfural	52	77	41	40
	2-Acetyl-Furan	n.n.	4,0	n.n.	n.n.
	γ-Nonalacton	0,53	0,53	0,38	0,58
	3-Methyl-Butanol	100	1	1	n.n.
	2-Methyl-Butanol	n.n.	1,0	8,0	n.n.
	1-Pentanol	0,4	0,3	1,3	3,1
	1-Hexanol	Sp.	0,2	0,1	17,8
	1-Octanol	Sp.	n.n.	n.n.	Sp.
	1-Octen-3-ol	0,8	0,1	0,2	0,2
Phenylethanol	40	31	34	29	
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	11	11	11	13
	Heptanol-1	3,8	6,5	3,5	3,4
	Octanol-1	9,0	12	14	14
	Decanol-1	4,6	5,3	6,6	5,7
	2-Phenylethanol	21248	23629	22402	21723
	Furfurylalkohol	354	405	352	377
	Essigsäure-Isobutylester	47	43	78	84
	Essigsäure-Hexylester	2,6	3,1	2,7	3,5
	Essigsäure-Heptylester	1,5	1,6	2,2	1,5
	Essigsäure-Octylester	2,1	2,3	2,8	3,2
	Essigsäure-Furfurylester	1,1	1,9	1,6	1,4
	Essigsäure-2-Phenylethylester	462	414	634	667
	Buttersäure-Ethylester	74	70	86	84
	Hexansäure-Ethylester	128	110	181	168
	Octansäure-Ethylester	226	195	266	242
	Decansäure-Ethylester	60	37	47	38
	Isovaleriansäure	763	666	817	798
	Hexansäure	1579	1294	1920	1843
	Octansäure	4688	3857	5397	5331
	Nonansäure	9,1	6,8	8,5	9,4
	Decansäure	981	569	727	595
	Dodecansäure	70	30	53	33
	α-Terpineol	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	Linalool	4,6	8,3	1,9	2,3
	Nerol	2,3	2,4	1,3	1,1
γ-Nonalacton	7,6	7,9	7,7	10	

Tabelle AH 25: Würze-, Bieranalyse und der höheren Alkohole bei unterschiedlicher Kochdauer

	Analysenmerkmal	70 min	90 min	
Würzeanalyse	Stammwürze PfV (%)	9,87	9,91	
	Stammwürze AW (%)	11,44	12,12	
	pH PfV	5,98	5,94	
	pH AW	6,05	5,82	
	Farbe PfV (EBC)	5,0	5,0	
	Farbe AW (EBC)	7,3	9,0	
	RV PfV (%)	34	34	
	RV AW (%)	65	70	
	TBZ PfV	13	13	
	TBZ AW	26	32	
	FAN AW (mg/l)	15,41	19,88	
	Bieranalyse	Stammwürze (%)	11,32	12,24
Alkohol (Vol.%)		5,21	5,72	
Extrakt, s (%)		1,45	1,46	
VG (%)		87,7	88,5	
Farbe (EBC)		4,9	6,1	
pH-Wert		5,14	4,88	
Gesamtpolyphenole (mg/l)		144	179	
Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)		153	175	
Anthozyanogene (mg/l)		41	64	
Anthzyanogene, 12 % (mg/l)		43	63	
Polimerisationsindex		3,56	2,78	
Tannoiide (mg PVP/l)		n.a.	24	
RV (%)		18	28	
TBZ		22	24	
SO <sub>2</sub> (mg/l)		7,2	0,3	
Schaum, NIBEM (s)		189	219	
Gesamt-Stickstoff (mg/100 ml)		37,5	70,3	
Gesamt-Stickstoff, 12 % (mg/100 ml)		39,8	68,9	
FAN (mg/100 ml)		11,2	9,3	
FAN, 12 % (mg/100 ml)		11,9	9,1	
Verkostung, DLG (gew. Note)		4,2	4,20	
Verkostung DLG/f (gew. Note)		3,9	3,78	
Alt. Verkostung (gew. Note)		1,00	1,00	
Alt. Verkostung/f (gew. Note)		1,90	1,84	
Alt. Akzeptanz (%)		58	60,0	
Höhere Alkohole (mg/l)		Acetaldehyd	8,5	11
		Propanol-1	8,6	13
		Ethylacetat	30	16
	2-Methylpropanol	8,1	13	
	3-Methylbutanol	31	41	
	2-Methylbutanol	12,0	14	
	2-Methylpropylester	0,1	n.n.	
	Buttersäureethylester	0,1	0,1	
	3-Methylbutylacetat	1,7	1,3	
	2-Methylbutylacetat	0,2	0,1	
	Hexansäureethylester	0,4	0,3	

Tabelle AH 26: Alterungsindikatoren und Bieraromastoffe bei unterschiedlicher Kochdauer

	Analysenmerkmal	70 min	90 min
Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.
	2-Methyl-Butanal/f	n.a.	n.a.
	3-Methyl-Butanal	8,7	12
	3-Methyl-Butanal/f	12	14
	2-Furfural	Sp.	Sp.
	2-Furfural/f	32	40
	5-Methyl-Furfural	4,0	4,2
	5-Methyl-Furfural/f	4,4	5,4
	Benzaldehyd	Sp.	0,7
	Benzaldehyd/f	Sp.	0,8
	2-Phenyl-Ethanal	3,5	5,6
	2-Phenyl-Ethanal/f	6,4	8,2
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	1,5	Sp.
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f	1,5	Sp.
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester	2,0	2,2
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f	10	9,2
	Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester	0,5	0,5
	Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester/f	0,7	0,7
	2-Acetyl-Furan	3,3	Sp.
	2-Acetyl-Furan/f	3,3	Sp.
	2-Propionyl-Furan	3,3	2,3
	2-Propionyl-Furan/f	3,5	7,5
	gamma-Nonalacton	20	15
	gamma-Nonalacton/f	33	27
	Wärmeindikatoren, frisch	20	15
	Wärmeindikatoren, forciert	64	67
	Sauerstoffindikatoren, frisch	12	18
	Sauerstoffindikatoren, forciert	18	23
	Alterungskomponenten, frisch	45	40
	Alterungskomponenten, forciert	96	103
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	14	24
	Heptanol-1	8	6,5
	Octanol-1	13	15
	Decanol-1	6	6,5
	2-Phenylethanol	20484	20364
	Essigsäure-Isobutylester	39	950
	Essigsäure-Hexylester	5	3,8
	Essigsäure-Heptylester	4,10	2,7
	Essigsäure-Octylester	2,00	3,8
	Essigsäure-Furfurylester	1,80	3,2
	Essigsäure-2-Phenylethylester	475	405
	Buttersäure-Ethylester	90	84
	Hexansäure-Ethylester	246	201
	Octansäure-Ethylester	320	260
	Decansäure-Ethylester	50	50
	Isovaleriansäure	398	55
	Hexansäure	1691	2665
	Octansäure	6391	5424
	Nonansäure	16	15
	Decansäure	821	855
	Dodecansäure	87	98
	α-Terpineol	0,8	2,1
	Linalool	2,70	1,9
	Nerol	1,2	n.a.
	γ-Nonalacton	8,2	22

Tabelle AH 27: Malzanalyse zu den Versuchen der unterschiedlichen Kochdauer

		Analysenmerkmal	Wert
Malzanalyse		Wassergehalt (%)	5,5
		Extrakt (%)	77,7
		Extrakt wfr. (%)	82,2
		Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,422
		Friabilimeter (%)	95,7
		Ganzglasigkeit (%)	0,8
		Verzuckerung (min.)	<15
		Ablauf	klar
		Endvergärung (%)	87,4
		Farbe (EBC)	3,4
		Kochfarbe (EBC)	5,3
		pH-Wert	5,90
		Rohprotein (%)	10,3
		lösl. N (mg/l)	754
		ELG (%)	45,8

Tabelle AH 28: Veränderung der Zuckerkonzentration durch Reaktion mit verschiedenen Aminosäuren in Modelllösung

		Zucker (g/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Alanin		Glucose	9,6	8,5	9,4	8,4
		Fructose	1,9	2,0	2,0	2,1
		Saccharose	4,3	4,1	4,0	4,1
		Maltose	57,3	57,5	54,0	56,8
		Gesamt	73,1	72,1	69,4	71,4
Arginin		Glucose	8,3	8,0	8,5	8,5
		Fructose	2,1	2,0	2,3	2,3
		Saccharose	4,2	4,0	4,3	4,2
		Maltose	56,7	55,0	58,1	55,0
		Gesamt	71,3	69,0	73,2	70,0
Asparagin		Glucose	8,6	8,2	8,9	8,6
		Fructose	2,1	2,0	2,0	2,0
		Saccharose	4,0	3,9	4,1	3,8
		Maltose	59,9	60,7	61,6	63,6
		Gesamt	74,6	74,8	76,6	78,0
Asparagin- säure		Glucose	9,0	8,2	9,3	8,6
		Fructose	2,0	1,8	2,1	2,1
		Saccharose	4,1	4,1	4,2	3,8
		Maltose	53,1	52,4	55,3	54,9
		Gesamt	68,2	66,5	70,9	69,4
GABS		Glucose	8,3	8,4	8,5	8,4
		Fructose	1,9	2,0	2,0	2,0
		Saccharose	4,0	4,1	4,1	4,2
		Maltose	55,5	55,1	55,9	55,5
		Gesamt	69,7	69,6	70,5	70,1
Glutamin		Glucose	8,2	8,2	8,6	8,3
		Fructose	1,9	2,3	2,0	2,0
		Saccharose	4,3	4,6	4,1	4,1
		Maltose	55,3	55,6	58,6	55,5
		Gesamt	69,7	70,7	73,3	69,9
Glutamin- säure		Glucose	8,1	8,5	8,6	8,6
		Fructose	1,9	2,0	2,1	2,1
		Saccharose	4,0	4,2	3,9	4,1
		Maltose	56,1	54,9	55,5	55,8
		Gesamt	70,1	69,6	70,1	70,6

Tabelle AH 28: Fortsetzung

	Zucker (g/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Glycin	Glucose	8,1	8,2	8,2	8,2
	Fructose	1,9	1,9	2,0	2,1
	Saccharose	4,1	4,1	4,1	4,0
	Maltose	56,5	54,7	57,2	55,1
	Gesamt	70,6	68,9	71,5	69,4
Histidin	Glucose	8,3	8,6	8,2	9,1
	Fructose	2,0	2,1	2,1	2,2
	Saccharose	4,1	4,2	3,9	4,3
	Maltose	59,8	59,4	58,9	61,4
	Gesamt	74,2	74,3	73,1	77,0
Isoleucin	Glucose	8,6	8,8	9,1	9,6
	Fructose	2,1	2,1	2,4	2,3
	Saccharose	4,1	5,0	4,6	4,4
	Maltose	59,7	61,0	62,6	64,8
	Gesamt	74,5	76,9	78,7	81,1
Leucin	Glucose	8,5	8,8	9,0	9,4
	Fructose	1,7	1,8	2,0	2,3
	Saccharose	3,8	4,1	4,1	4,4
	Maltose	65,4	63,0	67,2	61,3
	Gesamt	79,4	77,7	82,3	77,4
Lysin	Glucose	8,1	8,1	8,6	8,7
	Fructose	2,0	1,9	2,2	2,5
	Saccharose	4,0	4,1	4,3	4,7
	Maltose	56,3	54,3	57,0	55,8
	Gesamt	70,4	68,4	72,1	71,7
Methionin	Glucose	8,0	8,0	8,6	8,5
	Fructose	2,0	2,0	1,9	1,9
	Saccharose	3,6	3,6	3,8	3,7
	Maltose	58,1	58,2	61,1	61,2
	Gesamt	71,7	71,8	75,4	75,3
Phenyl- alanin	Glucose	8,6	8,8	11,3	9,3
	Fructose	2,1	2,1	2,3	2,3
	Saccharose	3,9	4,1	4,1	4,1
	Maltose	59,7	61,1	61,8	61,1
	Gesamt	74,3	76,1	79,5	76,8
Serin	Glucose	8,3	8,5	9,3	9,4
	Fructose	2,1	1,9	2,3	2,3
	Saccharose	4,1	4,0	4,8	4,4
	Maltose	56,7	54,3	61,3	61,3
	Gesamt	71,2	68,7	77,7	77,4
Threonin	Glucose	8,6	7,4	9,6	9,5
	Fructose	2,3	2,0	2,6	2,6
	Saccharose	3,8	3,4	4,2	4,4
	Maltose	59,5	51,8	64,7	64,3
	Gesamt	74,2	64,6	81,1	80,8
Tryptophan	Glucose	8,9	8,2	8,8	8,8
	Fructose	2,1	2,1	2,2	2,1
	Saccharose	4,1	4,0	4,1	4,2
	Maltose	61,5	56,3	59,7	60,0
	Gesamt	76,6	70,6	74,8	75,1
Tyrosin	Glucose	8,5	8,2	8,4	8,3
	Fructose	1,9	1,9	2,1	2,0
	Saccharose	3,8	3,7	4,1	3,9
	Maltose	54,1	54,4	53,6	54,7
	Gesamt	68,3	68,2	68,2	68,9
Valin	Glucose	7,8	8,3	8,4	8,2
	Fructose	1,8	1,8	2,0	1,9
	Saccharose	4,0	4,0	4,1	3,9
	Maltose	52,7	54,5	56,5	53,3
	Gesamt	66,3	68,6	71,0	67,3

Tabelle AH 29: Einfluss der Kochung auf den pH, die TBZ und das RV (Modelllösung)

		ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
pH	Alanin	5,41	5,43	5,42	5,40
	Arginin	5,61	5,58	5,56	5,52
	Asparagin	5,44	5,45	5,40	5,40
	Asparginsäure	5,23	5,26	5,24	5,21
	GABS	5,44	5,42	5,45	5,40
	Glutamin	5,43	5,37	5,42	5,38
	Glutaminsäure	5,44	5,44	5,42	5,41
	Glycin	5,45	5,44	5,43	5,38
	Histidin	5,52	5,58	5,52	5,53
	Isoleucin	5,42	5,42	5,42	5,36
	Leucin	5,44	5,43	5,41	5,37
	Lysin	5,64	5,57	5,60	5,52
	Methionin	5,41	5,44	5,39	5,41
	Phenylalanin	5,43	5,42	5,38	5,38
	Serin	5,44	5,40	5,42	5,41
	Threonin	5,45	5,40	5,39	5,40
	Tryptophan	5,45	5,42	5,43	5,38
	Tyrosin	5,45	5,44	5,40	5,38
	Valin	5,43	5,44	5,42	5,38
TBZ	Alanin	2	2	10	9
	Arginin	2	2	10	8
	Asparagin	2	2	10	8
	Asparginsäure	1	2	10	8
	GABS	1	1	10	9
	Glutamin	2	2	10	9
	Glutaminsäure	2	2	9	7
	Glycin	1	1	8	7
	Histidin	2	2	9	7
	Isoleucin	2	2	9	8
	Leucin	2	2	10	8
	Lysin	2	2	12	10
	Methionin	2	2	10	8
	Phenylalanin	1	2	9	7
	Serin	1	2	9	8
	Threonin	2	2	12	11
	Tryptophan	2	1	10	7
	Tyrosin	2	1	9	7
	Valin	1	2	9	9
RV (%)	Alanin	12	7	8	5
	Arginin	22	20	14	15
	Asparagin	7	10	6	8
	Asparginsäure	11	7	8	3
	GABS	12	12	10	13
	Glutamin	10	14	9	11
	Glutaminsäure	14	9	13	4
	Glycin	16	11	13	8
	Histidin	8	12	8	14
	Isoleucin	19	12	15	5
	Leucin	15	11	7	11
	Lysin	17	13	14	10
	Methionin	17	13	8	7
	Phenylalanin	7	9	10	11
	Serin	4	8	16	8
	Threonin	8	12	8	7
	Tryptophan	11	11	7	12
	Tyrosin	19	17	17	14
	Valin	22	17	18	9

Tabelle AH 30: Einfluss der Kochung auf die Farbe, das ARP und die AS (Modelllösung)

	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert	
Farbe (EBC)	Alanin	0,019	0,077	0,136	0,198
	Arginin	0,074	0,061	0,236	0,470
	Asparagin	0,070	0,094	0,129	0,275
	Asparginsäure	0,060	0,062	0,164	0,256
	GABS	0,018	0,072	0,078	0,236
	Glutamin	0,046	0,064	0,162	0,220
	Glutaminsäure	0,064	0,074	0,177	0,169
	Glycin	0,118	0,031	0,151	0,329
	Histidin	0,067	0,084	0,115	0,290
	Isoleucin	0,093	0,074	0,129	0,216
	Leucin	0,017	0,037	0,079	0,410
	Lysin	0,020	0,083	0,195	0,563
	Methionin	0,016	0,083	0,114	0,222
	Phenylalanin	0,076	0,080	0,096	0,212
	Serin	0,060	0,084	0,117	0,342
	Threonin	0,081	0,042	0,174	0,321
	Tryptophan	0,118	0,070	0,134	0,209
	Tyrosin	0,087	0,039	0,176	0,196
	Valin	0,034	0,034	0,105	0,343
	Aminosäuren (mg/l)	Alanin	168	167	173
Arginin		142	145	137	130
Asparagin		151	133	137	128
Asparginsäure		80	82	80	84
GABS		66	65	65	63
Glutamin		75	81	9	6
Glutaminsäure		85	82	83	88
Glycin		39	48	39	47
Histidin		76	79	77	76
Isoleucin		140	125	135	136
Leucin		273	275	295	288
Lysin		137	133	120	108
Methionin		49	49	30	46
Phenylalanin		179	178	162	161
Serin		90	97	106	101
Threonin		88	94	87	93
Tryptophan		25	25	26	25
Tyrosin		179	179	161	156
Valin		162	163	170	169
ARP (%)		Alanin	6	8	6
	Arginin	7	8	6	6
	Asparagin	5	8	3	5
	Asparginsäure	5	7	7	4
	GABS	6	6	5	5
	Glutamin	3	6	4	5
	Glutaminsäure	0	6	5	5
	Glycin	4	4	8	4
	Histidin	8	11	5	5
	Isoleucin	5	7	2	2
	Leucin	5	5	6	7
	Lysin	8	8	5	7
	Methionin	9	10	5	6
	Phenylalanin	5	7	4	2
	Serin	4	6	3	10
	Threonin	3	9	5	0
	Tryptophan	3	8	5	5
	Tyrosin	6	7	5	4
	Valin	4	1	8	3

Tabelle AH 31: Veränderung der Aminosäurenkonzentration durch Reaktion mit einzelnen Zuckern

(Modelllösung)

Aminosäure (mg/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Alanin	156,3	170,9	135,6	170,2
Arginin	146,4	162,1	126,1	161,3
Asparagin	116,8	127,5	99,3	126,3
Asparaginsäure	68,5	76,4	57,3	76,6
GABS	66,3	74,9	56,9	75,1
Glutamin	73,4	76,6	10,2	7,8
Glutaminsäure	83,6	92,1	69,5	90,6
Glycin	37,9	44,3	32,9	44,1
Histidin	74,7	82,3	64,3	85,2
Isoleucin	125,8	139	109,0	138,6
Leucin	263,1	291,2	230,1	289,0
Lysin	138,4	151,9	115,2	150,7
Methionin	48,6	50,3	39,7	49,5
Phenylalanin	156,0	171,4	136,4	170,8
Serin	94,2	105,1	81,1	104,2
Threonin	84,3	92,5	72,4	92,8
Tryptophan	21,1	22,3	18,1	24,0
Tyrosin	164,3	160,9	147,4	161,4
Valin	171,6	188,1	149,4	187,3
Gesamt	2091,3	2279,8	1750,9	2205,5
Alanin	178,1	156,1	186,2	158,3
Arginin	169,7	145,9	171,8	144,7
Asparagin	134,8	116,2	138,9	117,2
Asparaginsäure	82,8	69,7	85,9	73,6
GABS	80,5	66,5	83,1	68,5
Glutamin	90,7	76	10,9	9,9
Glutaminsäure	101,2	85,7	103,9	87,9
Glycin	48,7	39,8	47,7	43,5
Histidin	78,6	74,6	86,6	75,2
Isoleucin	143,5	125,6	149,7	127,8
Leucin	295,4	260,5	302,9	263,5
Lysin	152,9	137,8	172,1	138,6
Methionin	52,6	45,2	54,3	45,7
Phenylalanin	176,1	154,6	183,4	156,3
Serin	112,7	95	115,6	103,7
Threonin	96,1	83,3	100,6	85,3
Tryptophan	27,3	21,2	28,6	21,4
Tyrosin	171,9	152,6	178,9	150,2
Valin	195,1	169,8	202,3	172,0
Gesamt	2388,7	2076,1	2403,4	2043,3



Tabelle AH 31: Fortsetzung

	Aminosäure (mg/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Galaktose	Alanin	153,5	152,8	145,8	145,6
	Arginin	145,8	145,6	138,5	138,6
	Asparagin	114,6	113,7	106,8	107,0
	Asparaginsäure	72,0	71,4	68,2	67,5
	GABS	67,8	67,8	64,3	64,0
	Glutamin	68,4	71,5	6,4	6,3
	Glutaminsäure	85,8	85,6	80,5	80,1
	Glycin	40,6	40,5	38,7	38,5
	Histidin	77,2	75,8	73,6	74,2
	Isoleucin	126,6	125,3	121,4	119,9
	Leucin	262,5	259,9	254,5	250,5
	Lysin	138,7	134,0	128,7	126,4
	Methionin	45,2	45	43,7	42,7
	Phenylalanin	154,2	153	148,8	147,3
	Serin	94,7	93,3	89,2	88,4
	Threonin	82,7	81,7	77,8	78,0
	Tryptophan	21,3	21,1	20,0	20,4
	Tyrosin	148,5	147,2	147,6	146,3
	Valin	169,4	168,5	162,0	161,2
	Gesamt	2069,5	2053,7	1916,5	1902,9
Glukose	Alanin	175,1	170,5	176,3	177,8
	Arginin	159,6	156,8	163,6	163,1
	Asparagin	127,3	124,6	133,9	135,0
	Asparaginsäure	77,6	75,0	81,9	67,2
	GABS	78,0	77,2	78,7	78,3
	Glutamin	83,6	74,4	16,1	6,3
	Glutaminsäure	92,2	89,5	97,7	95,0
	Glycin	44,9	42,0	47,3	50,0
	Histidin	81,5	80,4	83,9	83,9
	Isoleucin	137,2	134,9	142,5	142,9
	Leucin	287,0	280,3	295,7	295,3
	Lysin	152,9	152,4	150,9	152,3
	Methionin	48,7	47,5	51,7	50,2
	Phenylalanin	169,0	164,0	174,9	176,9
	Serin	104,6	101,2	109,4	110,4
	Threonin	90,3	88,8	94,0	96,2
	Tryptophan	23,3	24,7	26,6	25,9
	Tyrosin	155,5	154,0	164,5	167,4
	Valin	185,7	182,4	192,7	194,1
	Gesamt	2274,0	2220,6	2282,3	2268,2

Tabelle AH 31: Fortsetzung

	Aminosäure (mg/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Maltose	Alanin	173,4	174,9	183,8	176,4
	Arginin	166,2	166,2	166,2	153,9
	Asparagin	129,8	126,7	130,8	123,7
	Asparaginsäure	81,7	81,6	87,7	83,0
	GABS	77,1	76,1	80,6	76,9
	Glutamin	86,3	81,0	17,5	29,2
	Glutaminsäure	98,0	98,9	104,6	99,9
	Glycin	46,4	46,1	53,2	52,3
	Histidin	82,7	84,0	82,6	74,3
	Isoleucin	142,1	143,2	149,7	143,4
	Leucin	295,2	294,2	310,1	298,4
	Lysin	165,0	168,4	153,1	139,2
	Methionin	50,9	49,8	50,6	46,3
	Phenylalanin	174,5	175,4	185,8	177,7
	Serin	107,4	107,5	113,8	108,1
	Threonin	106,6	108,7	100,8	96,8
	Tryptophan	25,8	25,9	26,7	22,3
	Tyrosin	179,2	171,1	178,7	169,9
	Valin	191,1	192,0	203,8	194,9
	Gesamt	2379,4	2371,7	2380,1	2266,6
Ribose	Alanin	184,7	171,8	168,2	173,2
	Arginin	164,1	162,9	156,8	164,9
	Asparagin	135,0	129,8	125,7	129,7
	Asparaginsäure	85,9	76,1	76,1	77,8
	GABS	79,4	74,8	72,7	75,9
	Glutamin	89,6	79,0	13,7	7,6
	Glutaminsäure	115,4	95,9	95,1	96,0
	Glycin	48,8	44,1	43,3	45,0
	Histidin	85,3	82,0	79,3	82,4
	Isoleucin	143,4	139,7	135,8	141,1
	Leucin	300,2	292,7	285,3	296,0
	Lysin	158,4	150,9	146,5	152,0
	Methionin	49,7	50,4	47,9	48,0
	Phenylalanin	179,4	172,0	168,3	173,6
	Serin	112,0	104,8	102,9	106,2
	Threonin	101,3	91,9	91	95,4
	Tryptophan	27,3	24,2	23,9	26,2
Tyrosin	180,7	157,1	166,8	164,6	
Valin	197,3	188,9	184,3	190,5	
Gesamt	2437,9	2289,0	2183,6	2246,1	

Tabelle AH 31: Fortsetzung

	Aminosäure (mg/l)	ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
Saccharose	Alanin	168,2	176,4	157,6	175,8
	Arginin	159,7	167,9	149,5	166,9
	Asparagin	127,1	133,4	117,4	131,7
	Asparaginsäure	79,5	82,3	74,7	82,2
	GABS	74,1	76,5	68,9	76,8
	Glutamin	80,6	87,5	4,9	7,7
	Glutaminsäure	95,2	99,5	87,9	97,7
	Glycin	45,0	44,5	44,1	45,3
	Histidin	83,4	88,4	77,4	87,4
	Isoleucin	138,2	144,1	130,1	144,2
	Leucin	286,3	295,4	270,1	293,7
	Lysin	153,7	164,9	141,0	158,7
	Methionin	48,9	51,0	45,9	50,8
	Phenylalanin	172,4	179,2	162,4	179,0
	Serin	105,3	109,5	97,6	109,0
	Threonin	90,5	96,8	84,8	95,5
	Tryptophan	28,9	27,1	27,0	29,8
	Tyrosin	174,4	155,0	151,0	160,3
	Valin	189,8	197,7	179,7	198,0
	Gesamt	2301,2	2377,1	2072,0	2290,5
Xylose	Alanin	154,3	156,0	155,1	167,5
	Arginin	146,5	146,2	147,9	159,8
	Asparagin	115,0	114,9	116,1	124,1
	Asparaginsäure	67,2	68,5	70,3	78,5
	GABS	68,2	67,9	68,0	73,5
	Glutamin	79,4	71,6	12,2	17,8
	Glutaminsäure	85,0	85,5	85,6	91,7
	Glycin	43,5	39,4	43,6	48,1
	Histidin	71,1	68,5	70,7	35,1
	Isoleucin	125,2	126,2	126,9	135,1
	Leucin	263,3	261,6	265,2	276,1
	Lysin	134,4	138,7	132,1	147,3
	Methionin	45,2	44,9	45,6	47,3
	Phenylalanin	153,8	154,9	156,5	176,5
	Serin	94,1	94,7	94,7	103,6
	Threonin	83,8	82,8	84,7	94,1
	Tryptophan	23,3	22,5	23,5	12,9
	Tyrosin	142,0	147,6	153,2	156,3
	Valin	169,4	169,8	171,9	184,3
	Gesamt	2064,7	2062,2	2023,8	2129,6

Tabelle AH 32: Einfluss der Kochung auf verschiedene Analysenmerkmale (Modelllösung)

		ungekocht	ungekocht, gelagert	gekocht	gekocht, gelagert
ARP (%)	Arabinose	7	8	5	7
	Fructose	13	9	8	7
	Galactose	4	6	6	6
	Glucose	5	7	4	6
	Maltose	6	6	7	11
	Ribose	6	6	8	4
	Sucrose	8	5	3	6
	Xylose	3	6	6	3
Farbe (EBC)	Arabinose	0,042	0,070	0,118	0,075
	Fructose	0,088	0,018	0,108	0,234
	Galactose	0,033	0,013	0,037	0,022
	Glucose	0,012	0,012	0,039	0,178
	Maltose	0,089	0,036	0,498	1,420
	Ribose	0,081	0,059	0,083	0,074
	Sucrose	0,052	0,026	0,046	0,062
	Xylose	0,034	0,019	0,058	0,070
pH	Arabinose	5,77	5,74	5,76	5,65
	Fructose	5,79	5,81	5,81	5,71
	Galactose	5,78	5,74	5,74	5,74
	Glucose	5,74	5,77	5,72	5,71
	Maltose	5,70	5,75	5,68	5,65
	Ribose	5,76	5,74	5,75	5,74
	Sucrose	5,79	5,78	5,82	5,78
	Xylose	5,80	5,78	5,76	5,72
RV (%)	Arabinose	4	5	5	3
	Fruktose	4	3	4	4
	Galaktose	5	4	4	4
	Glukose	3	5	4	5
	Maltose	12	10	11	9
	Ribose	4	4	4	4
	Saccharose	4	4	4	4
	Xylose	1	4	2	5
TBZ	Arabinose	0	0	0	0
	Fruktose	0	0	2	3
	Galactose	0	0	0	0
	Glukose	0	0	2	4
	Maltose	1	1	10	10
	Ribose	0	0	0	0
	Sucrose	0	0	0	0
	Xylose	0	0	0	0
Zucker (g/l)	Arabinose	0,03	0,03	0,04	0,04
	Fructose	2,01	1,98	1,93	1,97
	Galactose	0,03	0,02	0,03	0,02
	Glucose	7,71	6,45	7,73	7,5
	Maltose	56,27	55,9	58,34	56,16
	Ribose	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Sucrose	3,83	4,05	3,77	4,23
	Xylose	0,05	0,04	0,01	0,05

Tabelle AH 33: Farbe, RV und Stammwürze von Handelsbieren

	lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)		lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)
Alkohol- freies Bier	1	9,8	53	4,8	Schank- bier	1	4,5	29	9,3
	2	5,3	25	7,4		2	4,4	29	8,4
	3	7,8	15	7,2		3	19	60	9,3
Export Hell	1	12	55	12,3	Kellerbier Hell	1	7,3	44	12,4
	2	11	45	12,6		2	7,3	36	12,1
	3	7,0	40	12,7		3	12	56	12,9
	4	6,0	41	12,2		4	9,3	41	11,7
	5	8,5	48	12,5		5	5,0	23	12,4
	6	5,6	44	12,7		6	16	56	12,6
	7	7,3	50	12,2		8	5,2	41	11,1
	8	7,3	47	12,8		9	5,6	34	12,0
	9	7,3	43	12,4		10	12	54	12,4
	10	7,3	39	12,2		11	11	49	12,5
	11	7,0	40	12,1		12	18	64	12,8
	12	6,3	41	12,4		13	5,6	35	12,9
	13	4,7	27	12,3		Kellerbier Dunkel	1	44	94
	14	5,6	38	12,6	2		56	97	12,3
	15	5,9	47	12,0	Märzen	1	15	63	13,0
	16	6,3	43	12,9		2	13	54	13,3
	17	7,5	42	12,1		3	7,5	42	13,3
	18	6,5	43	12,2		4	5,3	44	12,2
	19	4,5	13	12,3	Bock Dunkel	1	39	91	17,0
	20	5,3	27	12,4		2	58	91	16,0
	21	11	51	12,3	Bock Hell	1	9,3	46	16,7
	22	12	53	12,9		Export Dunkel	1	58	97
	23	5,6	37	12,5	2		58	94	12,6
	24	9,8	34	12,5	3		41	90	12,6
	25	12	54	12,3	4		60	95	12,3
	26	8,5	38	12,3	5		83	98	11,3
	27	5,8	37	12,6	6		80	98	13,7
	28	7,3	21	12,2					
	29	4,8	27	12,1					

Tabelle AH 33: Fortsetzung

lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)		lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)
1	7,5	45	11,6	Pils	35	3,8	8	11,3
2	5,2	44	11,9		36	7,5	31	12,3
3	11	-	12,9		37	5,2	34	11,3
4	6,3	44	11,9		38	7,0	48	11,6
5	4,2	23	11,3		39	5,0	19	11,1
6	5,6	33	11,1		40	4,7	27	11,4
7	7,5	41	11,6		41	7,3	37	11,6
8	5,0	33	11,3		42	5,2	19	11,4
9	6,3	42	11,7		43	5,0	31	11,5
10	7,3	45	11,7		44	5,6	35	11,6
11	5,6	40	11,3		45	5,3	30	11,1
12	5,8	39	11,3		46	5,2	30	11,2
13	5,6	40	11,7		47	5,6	35	11,5
14	4,8	28	11,5		48	5,0	33	11,7
15	5,3	30	11,6		49	5,2	34	11,5
16	5,3	29	11,9		50	5,0	29	11,5
17	5,2	34	11,4		51	5,2	31	11,4
18	7,8	50	11,6		52	5,2	31	11,4
19	5,2	38	11,7		53	4,5	32	11,6
20	5,8	30	11,4		54	6,3	38	11,6
21	6,3	43	11,3		1	39,0	83	11,4
22	7,3	45	11,8		2	60,0	100	12,7
23	4,8	36	11,8		3	43,0	91	12,6
24	5,2	36	11,7		4	58,0	93	11,2
25	5,0	32	11,3		5	50,0	96	12,7
26	6,0	35	11,4		6	39,0	91	12,1
27	7,3	37	11,6		7	40,0	83	12,2
28	4,5	34	11,6		8	41,0	83	12,2
29	5,2	31	11,3		9	41,0	88	12,2
30	4,8	20	11,8		10	63,0	94	11,8
31	7,8	49	11,3					
32	5,2	46	11,6					
33	5,2	37	11,1					
34	5,2	33	11,2					

Pils  
(Fort-  
setzung)Vollbier  
dkl.

Tabelle AH 33: Fortsetzung

lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)		lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)
1	7,3	44	11,8	Vollbier Hell	31	5,6	17	11,7
2	5,5	32	11,5		32	5,8	21	11,3
3	4,7	30	11,6		33	5,9	37	12,2
4	4,8	33	11,9		34	5,6	34	11,7
5	4,8	38	11,7		35	18,5	66	13,0
6	6,3	33	11,3		1	16,0	47	12,4
7	5,5	35	12,0		2	16,0	52	12,2
8	5,5	37	11,4		3	16,0	59	12,2
9	7,8	41	11,5		4	16,0	55	12,1
10	5,2	34	11,7		5	13,0	54	12,3
11	5,8	30	11,5		6	19,5	56	12,6
12	5,6	18	11,7		7	12,0	50	12,8
13	6,3	37	11,6		8	15,0	49	12,5
14	7,8	42	11,6		9	12,0	48	12,6
15	5,5	40	11,5		10	12,5	45	12,5
16	6,0	44	12,0		11	23,0	66	12,1
17	6,0	41	11,7		12	5,3	27	12,6
18	5,0	37	11,5		13	10,5	41	12,6
19	5,3	19	11,7		14	9,3	49	12,9
20	5,3	34	11,6		15	13,0	41	12,2
21	4,4	11	11,4		16	20,5	70	12,1
22	9,3	27	11,5		17	11,5	43	12,5
23	5,8	37	11,5		18	11,5	31	12,3
24	5,3	67	12,8		19	15,5	55	12,6
25	5,6	35	11,1		1	5,3	37	12,7
26	6,3	35	11,8		2	7,0	49	12,1
27	7,8	42	11,6		3	7,8	44	12,1
28	8,0	47	11,8		4	5,8	29	12,0
29	5,2	26	11,9					
30	5,3	32	11,0					

Tabelle AH 33: Fortsetzung

	lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)		lfd. Nr.	Farbe (EBC)	RV (%)	Stw. (%)
Weizen- vollbier Hell	1	15	58	12,6	Weizen- vollbier dkl.	1	34,0	74	11,8
	2	5,9	37	12,2		2	27,5	67	12,1
	3	18	62	12,9		3	24,5	68	12,4
	5	8,3	37	11,8		4	24,5	75	12,2
	6	12	50	12,5		5	44,0	87	12,3
	7	12	55	11,9		6	78,0	98	12,4
	8	9,8	47	11,5		7	48,0	89	11,9
	9	12	53	12,0		8	39,0	79	12,4
	10	17	54	11,6		9	44,0	84	11,7
	11	9,8	43	12,2		10	78,0	97	12,8
	12	13	52	12,1		11	23,8	77	12,9
	13	13	62	12,4	Weizen- schank- bier Hell	1	9,8	43	9,0
	14	16	56	12,7		2	9,3	34	8,3
	15	11	39	11,9		3	17	47	8,6
	16	10	37	12,0		4	12	35	7,6
	17	9,5	61	12,4		5	13	41	8,1
	18	11	51	11,8		7	16	43	7,8
	19	9,3	51	11,8		8	9,3	34	8,0
	20	10	39	12,5		9	5,8	27	7,5
	21	17	59	12,4		10	12	43	8,4
	22	12	48	11,8		11	16	62	8,6
	24	7,8	60	11,5		13	9,5	40	7,8
	25	7,5	42	11,4	Weizen- bier Export dkl.	1	28,8	77	13,2
	26	7,8	38	12,4		2	46,0	90	12,8
	27	7,5	31	11,5		3	58,0	89	12,1
	28	9,5	39	12,3		4	75,0	96	12,3
	29	19	78	12,7		5	60,0	91	12,9
	30	11	49	12,6		6	34,0	86	11,8
	31	12	50	12,1		7	46,0	83	12,6
	32	12	47	12,2		8	39,0	85	12,7
	33	9,3	36	12,5		9	41,0	77	12,4
	34	12	42	12,6	Weizen- bock				
	35	8,0	35	11,9		1	54	95	16,0



Tabelle AH 34: Malzanalyse zu den Sorten- und Standortversuchen

	Standort		D						B					
	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Malzanalyse														
Sorte	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Wassergehalt (%)	4,4	4,5	4,5	4,4	4,5	4,6	4,4	4,6	4,7	4,7	4,5	4,4	4,6	4,8
Extrakt (%)	79,9	79,7	80,5	80,5	80,4	80,4	81,4	78,0	78,2	79,0	78,2	78,2	78,1	78,7
Extrakt wfr. (%)	83,6	83,5	84,3	84,2	84,2	84,3	85,1	81,8	82,1	82,9	81,9	81,8	81,9	82,7
Viskosität, 8,6 % (mPa·s)	1,504	1,513	1,488	1,463	1,462	1,461	1,448	1,482	1,474	1,437	1,475	1,445	1,449	1,434
Friabilimeter (%)	88,3	90,0	90,1	92,9	90,2	88,4	91,7	80,9	84,0	85,4	89,1	83,6	85,1	89,6
Ganzglasigkeit (%)	0,3	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1	0,0	0,2	0,4
Teilglasigkeit (%)	11,4	9,4	9,8	7,1	9,8	11,6	8,3	19,1	16,0	13,9	10,8	16,4	14,7	10,0
Endvergärung (%)	83,1	80,5	81,1	81,9	81	81,4	82,4	80	80,4	81,9	81,2	80,8	81,8	81,8
Farbe (EBC)	2,5	2,3	2,1	2,2	3,1	2,4	2,5	2,3	2,0	2,4	2,2	2,4	2,1	1,9
pH-Wert	5,92	6,01	5,92	5,98	5,92	5,94	5,97	5,95	5,97	5,89	5,93	5,95	5,97	5,99
Rohprotein (%)	9,4	9,6	9,9	9,4	10,2	10,0	9,3	11,2	10,8	11,3	11,3	11,4	11,9	10,9
ELG (%)	44,3	40,7	42,6	40,5	44,9	45,8	45,6	38,5	36,8	38,4	38,0	39,3	35,6	39,0
lösl. N (mg/l)	666	625	674	609	733	733	679	690	636	694	687	717	678	681
VZ 45 °C (%)	36,6	32,2	37,3	36,6	45,1	35,8	39,4	35,4	32,9	40,8	35,9	36,1	38,3	42,9
	Standort		E						I					
	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Malzanalyse														
Sorte	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Wassergehalt (%)	4,6	4,9	5,1	5,1	5	4,8	5	5,1	4,9	4,8	4,8	5,1	5,1	5,1
Extrakt (%)	80,3	79,6	79,4	79,7	80,3	79,8	80,6	78,6	78,1	79,3	79,0	78,8	78,2	78,9
Extrakt wfr. (%)	84,2	83,7	83,7	84,0	84,5	83,8	84,8	82,8	82,1	83,3	83,0	83,0	82,4	83,1
Viskosität, 8,6 % (mPa·s)	1,551	1,547	1,498	1,492	1,468	1,491	1,459	1,477	1,489	1,468	1,466	1,446	1,475	1,431
Friabilimeter (%)	87,1	86,8	86,0	90,9	82,3	88,7	91,6	82,4	85,0	85,4	88,2	85,2	81,1	90,2
Ganzglasigkeit (%)	1,5	0,5	0,6	0,2	1,4	0,6	1,1	0,5	0,4	1,0	0,6	0,3	0,6	0,0
Teilglasigkeit (%)	11,4	12,7	13,4	8,9	16,3	10,7	7,3	17,1	14,6	13,6	11,2	14,5	18,3	9,8
Endvergärung (%)	81,8	79,1	81,5	81,7	80,5	80,5	80,7	81,2	79,1	81,3	81,3	80,6	79,2	82,6
Farbe (EBC)	2,1	2,6	2,2	2,0	3,1	3,0	2,2	2,2	2,3	2,3	2,1	2,5	2,4	2,4
pH-Wert	5,94	5,99	5,92	5,89	5,91	5,88	5,86	5,92	5,97	5,93	6,00	5,91	5,89	5,95
Rohprotein (%)	10,0	9,7	10,3	9,6	10,8	10,2	10,1	11,2	10,9	11,6	11,3	12,1	12,1	11,5
ELG (%)	39,6	39,0	37,9	37,0	40,7	41,5	42,0	41,9	39,0	38,4	37,8	41,2	41,0	43,3
lösl. N (mg/l)	634	605	625	568	704	677	679	751	681	713	684	797	793	796
VZ 45 °C (%)	35,4	33,3	37,4	37,4	43,2	36,3	42,2	35,4	32,8	37,8	36,0	41,4	34,1	41,4

Tabelle AH 35: Würzeanalysen der Sorten- und Standortversuche

	Standort		D						B							
	Sorte		2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Würzeanalyse	Stammwürze (%)		11,70	11,79	11,74	11,98	11,60	11,80	11,80	11,75	11,49	12,01	11,63	11,52	11,72	11,73
	Endvergärungsgrad, s (%)		85,2	84,0	87,1	86,3	84,9	84,8	87,6	83,5	85,4	84,4	85,0	84,5	85,4	84,8
	pH		5,65	5,70	5,69	5,72	5,66	5,65	5,72	5,72	5,75	5,74	5,74	5,76	5,76	5,72
	Gesamt-N (mg/100 ml)		102,7	106,4	101,5	96,4	113,9	106,4	85,4	106,7	108,3	108,0	108,6	110,6	104,3	108,6
	Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)		105,3	108,3	103,7	96,5	117,9	108,3	87,0	109,0	113,1	108,0	112,1	115,3	106,8	111,1
	Hochmolekularer N (mg/100 ml)		19,7	21,2	25,0	18,8	22,6	22,5	23,6	21,8	26,2	23,7	25,0	24,8	22,1	23,6
	Hochmolekularer N, 12 % (mg/100 ml)		20,2	21,6	25,6	18,8	23,4	22,8	23,9	22,3	27,4	23,7	25,8	25,8	22,6	24,2
	FAN (mg/100 ml)		25,7	24,6	25,0	24,1	27,0	25,5	23,1	25,0	23,5	24,3	23,3	25,3	23,6	24,8
	FAN, 12 % (mg/100 ml)		26,4	25,1	25,5	24,3	27,9	25,9	23,5	25,5	24,6	24,2	24,1	26,4	24,2	25,4
	Bittereinheiten (EBC)		32	32	31	31	31	31	32	30	31	33	34	33	33	33
	Gesamtpolyphenole (mg/l)		230	192	204	247	199	247	173	232	216	218	213	258	241	206
	Gesamtpolyphenole, 12% (mg/l)		236	196	208	248	206	251	176	237	225	218	219	269	246	210
	Anthozyanogene (mg/l)		81	74	65	91	72	95	66	93	77	78	73	106	78	77
	Anthocyanogene, 12% (mg/l)		83	75	67	91	75	97	67	95	80	78	75	111	80	79
	Tanninoide (mg PVP/l)		94	69	66	99	68	96	68	97	67	68	71	96	82	79
	β-Glucan (mg/l)		312	234	252	282	261	415	250	549	294	292	213	338	312	206
	RV (%)		23	20	15	22	35	31	26	31	29	29	29	32	35	32

	Standort		E						I							
	Sorte		2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Würzeanalyse	Stammwürze (%)		11,54	11,91	11,63	12,05	11,74	11,75	11,65	11,43	11,58	11,69	11,70	11,63	11,76	11,81
	Endvergärungsgrad, s (%)		84,8	84,8	86,9	85,8	85,3	85,2	87,4	83,0	83,0	85,4	84,9	83,7	82,7	84,5
	pH		5,70	5,68	5,65	5,70	5,70	5,69	5,76	5,72	5,72	5,67	5,80	5,73	5,71	5,70
	Gesamt-N (mg/100 ml)		102,2	93,3	99,7	88,4	104,4	110,1	105,5	113,7	107,7	113,6	104,8	118,6	122,7	123,6
	Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)		106,2	94,0	102,8	88,0	106,8	112,4	108,6	119,3	111,6	116,6	107,5	122,4	125,2	125,6
	Hochmolekularer N (mg/100 ml)		20,3	20,0	22,6	17,9	22,7	23,5	24,3	24,8	22,9	27,5	24,5	26,4	23,8	29,0
	Hochmolekularer N, 12 % (mg/100 ml)		21,1	20,1	23,3	17,8	23,2	24,0	25,1	26,0	23,8	28,3	25,1	27,3	24,3	29,5
	FAN (mg/100 ml)		23,6	22,0	22,6	20,9	24,9	26,2	23,7	26,9	25,0	25,0	21,3	24,1	28,6	27,4
	FAN, 12 % (mg/100 ml)		24,5	22,2	23,3	20,8	25,4	26,7	24,4	28,3	25,9	25,7	21,8	24,8	29,2	27,8
	Bittereinheiten (EBC)		33	33	33	34	32	30	31	31	32	31	34	32	31	32
	Gesamtpolyphenole (mg/l)		222	221	223	260	220	270	185	239	216	208	254	209	237	199
	Gesamtpolyphenole, 12% (mg/l)		230	223	230	259	225	276	190	251	224	213	261	215	242	202
	Anthozyanogene (mg/l)		81	71	73	96	81	103	73	88	71	78	92	89	86	80
	Anthocyanogene, 12% (mg/l)		85	72	75	96	83	105	76	92	74	81	94	92	88	81
	Tanninoide (mg PVP/l)		88	78	81	109	90	141	66	90	76	67	82	73	84	70
	β-Glucan (mg/l)		287	262	327	347	234	263	184	503	328	237	314	174	571	195
	RV (%)		32	34	20	27	25	28	24	29	38	37	42	44	40	39

Tabelle AH 36: Bieranalysen der Sorten- und Standortversuche

	Standort	D						B							
	Sorte	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Bieranalyse	Stammwürze (%)	11,75	11,79	11,76	11,99	11,62	11,81	11,83	11,93	11,45	12,01	11,72	11,53	11,66	11,80
	Alkohol (Vol %)	5,28	5,23	5,39	5,46	5,11	5,20	5,37	5,23	5,06	5,30	5,21	5,02	5,18	5,25
	Extrakt, w (%)	3,71	3,84	3,54	3,68	3,84	3,89	3,65	3,97	3,74	3,95	3,79	3,88	3,77	3,78
	Extrakt, s (%)	1,80	1,94	1,59	1,70	1,99	2,00	1,71	2,08	1,90	2,03	1,90	2,06	1,89	1,88
	VG, w (%)	69,8	68,9	71,2	70,7	68,4	68,5	70,5	68,2	68,7	68,5	69,1	67,7	69,1	69,3
	VG, s (%)	85,4	84,2	87,1	86,4	83,6	83,7	86,1	83,3	84,0	83,7	84,5	82,9	84,5	84,7
	pH-Wert	4,92	4,87	4,91	4,89	5,04	5,03	5,01	5,06	5,09	5,11	5,00	5,01	5,06	5,07
	Farbe (EBC)	6,0	6,0	4,9	5,2	6,3	5,8	4,9	5,6	5,9	6,0	5,9	6,2	5,5	5,6
	Viskosität (mPa×s)	1,577	1,562	1,560	1,564	1,520	1,559	1,516	1,584	1,513	1,550	1,540	1,515	1,528	1,498
	Viskosität, 12 % (mPa×s)	1,597	1,579	1,575	1,565	1,542	1,571	1,525	1,589	1,544	1,550	1,557	1,541	1,548	1,510
	Schaum, NIBEM (s)	206	229	238	221	189	208	193	199	205	203	226	213	213	206
	Forciertest (Warmtage)	6,0	7,0	7,8	2,2	7,7	0,6	7,8	1,5	0,4	1,2	5,1	0,8	3,2	1,3
	AKT (EBC)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	47	40
	RV (%)	20	18	15	17	33	32	27	31	27	25	19	22	34	35
	DMS (ppm)	65	64	56	59	62	50	53	71	54	66	69	65	64	82

	Standort	E						I							
	Sorte	2	11	12	13	14	15	16	2	11	12	13	14	15	16
Bieranalyse	Stammwürze (%)	11,13	11,89	11,41	11,90	11,30	11,42	11,38	11,41	11,53	11,68	11,46	11,55	11,54	11,80
	Alkohol (Vol %)	4,91	5,20	5,10	5,33	4,96	5,04	5,14	4,95	5,03	5,24	5,08	5,04	4,99	5,22
	Extrakt, w (%)	3,63	3,98	3,62	3,79	3,72	3,74	3,53	3,85	3,86	3,70	3,72	3,87	3,95	3,85
	Extrakt, s (%)	1,84	2,09	1,76	1,87	1,92	1,91	1,66	2,05	2,04	1,80	1,88	2,04	2,13	1,96
	VG, w (%)	69,0	68,0	69,6	69,5	68,4	68,6	70,3	67,6	67,9	69,7	68,9	67,9	67,2	68,8
	VG, s (%)	84,1	83,1	85,2	84,9	83,7	83,9	86,0	82,7	83,0	85,3	84,3	82,8	82,2	84,1
	pH-Wert	5,01	5,00	4,92	4,89	4,97	5,03	5,04	5,14	5,00	4,95	5,08	4,92	5,04	4,92
	Farbe (EBC)	5,5	5,8	4,8	4,9	5,2	5,5	4,6	6,1	6,2	5,4	5,4	6,5	6,1	7,3
	Viskosität (mPa×s)	1,539	1,593	1,546	1,586	1,503	1,517	1,499	1,569	1,539	1,524	1,512	1,507	1,573	1,520
	Viskosität, 12 % (mPa×s)	1,594	1,600	1,585	1,593	1,545	1,552	1,534	1,611	1,567	1,542	1,542	1,532	1,602	1,531
	Schaum, NIBEM (s)	187	192	242	214	205	212	206	204	214	231	218	233	236	225
	Forciertest (Warmtage)	3,0	5,9	6,9	1,8	6,7	4,2	7,9	0,8	2,8	0,9	2,0	3,0	2,6	3,7
	AKT (EBC)	27	n.m.	53	48	22	n.m.	n.m.	n.m.	35	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
	RV (%)	29	31	17	17	17	22	21	27	20	21	26	32	22	34
	DMS (ppm)	58	57	51	46	57	55	48	56	58	66	60	73	58	61

Tabelle AH 37: Würze- und Jungbieranalysen im Brauverlauf

	KA	ME	VW	PfV	KE	AW	EHG	ER	1WL	EL	nF		
BM 1	Stammwürze (%)	4,00	16,11	15,29	9,91	12,36	12,12	12,35	12,26	11,99	12,06	12,17	
	Alkohol (Vol.%)							5,21	5,61	5,50	5,54	5,63	
	Extrakt, s (%)							2,58	1,71	1,62	1,62	1,57	
	Vergärungsgrad, s (%)							79,10	86,08	86,49	86,53	87,10	
	Farbe (EBC)	4,9	5,6	6,7	5,0	8,8	9,0	7,5	7,2	7,0	6,3	5,7	
	pH	5,97	5,86	5,81	5,94	5,79	5,82	4,69	4,67	4,64	4,79	4,79	
	RV (%)	21	32	66	34	82	70	31	36	31	32	31	
	TBZ	18	20	19	13	33	32	29	27	25	25	25	
	FAN (mg/100 ml)							19,9					
	Pronyl-Lysin (mg/l)	0,02	0,12	0,14	0,11	0,36	0,55	0,58	0,61	0,63	0,64	0,61	
BM 4	Stammwürze (%)	4,54	16,55	15,77	10,25	12,57	12,40	12,08	11,82	11,97	12,04	12,13	
	Alkohol (Vol.%)							4,79	4,96	5,03	5,03	5,10	
	Extrakt, s (%)							3,10	2,48	2,52	2,58	2,55	
	Vergärungsgrad, s (%)							74,35	79,01	78,99	78,53	78,99	
	Farbe (EBC)	29	32	36	25	41	46	29	29	28	26	26	
	pH	5,49	5,50	5,45	5,55	5,35	5,39	4,51	4,72	4,65	4,68	4,67	
	RV (%)	55	71	78	65	91	80	80	84	78	78	77	
	TBZ	150	180	170	110	180	178	159	149	145	144	145	
	FAN (mg/100 ml)							20,2					
	Pronyl-Lysin (mg/l)	2,01	1,28	0,78	0,56	0,90	1,41	1,46	1,52	1,54	1,57	1,60	

Tabelle AH 38: Bieranalysen zu den Versuchen „Brauverlauf“

	BM 1			BM 4			
	Bier	Bier/f	3 M	B, fr	B, for	3 M	
Bieranalysen	Stammwürze (%)	12,24	12,24	12,13	12,14	12,16	12,01
	Alkohol (Vol.%)	5,72	5,72	5,66	5,16	5,17	5,09
	Extrakt, s (%)	1,46	1,47	1,47	2,44	2,45	2,44
	VG (%)	88,50	88,50	88,40	80,6	80,6	80,4
	Farbe (EBC)	6,1	6,2	6,7	26	27	26
	pH-Wert	4,88	4,90	4,81	4,78	4,77	4,7
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	179	176	186	180	166	189
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)	175	173	184	178	164	189
	Anthozyanogene (mg/l)	64	64	67	58	63	62
	Anthzyanogene, 12 % (mg/l)	63	63	66	57	62	62
	Polimerisationsindex	2,78	2,75	2,79	3,12	2,65	3,05
	Tannoide (mg PVP/l)	24	27	35	16	16	18
	RV (%)	28	24	28	61	60	67
	TBZ	24	23	23	143	136	137
	SO <sub>2</sub> (mg/l)	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0
	Schaum, NIBEM (s)	219	214	206	235	225	215
	Gesamt-Stickstoff (mg/100 ml)	70,3	66,8	69,3	79,4	82,5	79,1
	Gesamt-Stickstoff, 12 % (mg/100 ml)	68,9	65,5	68,3	78,5	81,4	79,0
	FAN (mg/100 ml)	9,3	9,4	6,9	12,0	12,0	11,9
	FAN, 12 % (mg/100 ml)	9,1	9,2	6,8	11,9	11,8	11,9
Pronyl-Lysin (mg/l)	0,64	0,57	0,62	1,60	1,55	1,62	
DLG-Verk.	Geruch	4,0	3,5	3,0	4,1	3,6	3,3
	Trunk	4,1	3,4	2,9	4,1	3,6	3,2
	Vollmundigkeit	4,4	4,1	4,1	4,3	4,2	4,0
	Rezenz	4,5	4,2	4,1	4,4	4,2	4,1
	Bittere	4,2	4,0	3,8	4,1	4,0	3,7
	gew. Note	4,20	3,78	3,45	4,15	3,84	3,56
Alt. verk.	Geruch	1,0	2,0	2,9	1,0	1,7	2,5
	Trunk	1,0	1,9	2,8	1,0	2,0	2,6
	Bittere	1,0	1,4	1,6	1,0	1,4	1,4
	gew. Note	1,00	1,84	2,60	1,00	1,76	2,32
	Akzeptanz	100,0	60,0	30,0	100,0	65,7	42,0

Tabelle AH 38: Fortsetzung

	BM 1			BM 4			
	Bier	Bier/f	3 M	B. fr	B. for	3 M	
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	24	-	19	17	-	17
	Heptanol-1	6,5	-	9,4	5,5	-	7,5
	Octanol-1	15	-	16	15	-	17
	Decanol-1	6,5	-	6,5	6,9	-	6,5
	2-Phenylethanol	20364	-	24662	22440	-	24527
	Furfurylalklhol	950	-	-	1352	-	-
	Essigsäure-Isobutylester	45	-	45	48	-	49
	Essigsäure-Hexylester	3,8	-	3,4	3,5	-	3,0
	Essigsäure-Heptylester	2,7	-	1,6	2,5	-	1,5
	Essigsäure-Octylester	3,8	-	1,3	4,1	-	1,7
	Essigsäure-Furfurylester	3,2	-	Sp.	5,6	-	Sp.
	Essigsäure-2-Pehnylethylester	405	-	366	514	-	427
	Buttersäure-Ethylester	84	-	77	77	-	73
	Hexansäure-Ethylester	201	-	147	175	-	134
	Octansäure-Ethylester	260	-	260	292	-	288
	Decansäure-Ethylester	50	-	48	67	-	61
	Isovaleriansäure	55	-	544	72	-	585
	Hexansäure	2665	-	2048	2526	-	1980
	Octansäure	5424	-	5094	6245	-	5592
	Nonansäure	15	-	14	14	-	13
Decansäure	855	-	852	1146	-	1089	
Dodecansäure	98	-	97	168	-	152	
α-Terpineol	2,1	-	2,4	1,9	-	3,5	
Linalool	1,9	-	2,9	4,3	-	5,4	
Nerol	n.a.	-	1,1	n.a.	-	1,3	
γ-Nonalacton	22	-	52	22	-	34	
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	11	-	8,2	7,2	-	5,5
	Propanol-1	13	-	14	12	-	12
	Ethylacetat	16	-	18	21	-	18
	2-Methylpropanol	13	-	12	13	-	12
	3-Methylbutanol	41	-	40	45	-	44
	2-Methylbutanol	14	-	14	15	-	14
	2-Methylpropylester	n.n.	-	0,05	0,1	-	0,05
	Buttersäureethylester	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1
	3-Methylbutylacetat	1,3	-	1,2	1,8	-	1,5
	2-Methylbutylacetat	0,1	-	0,1	0,2	-	0,1
Hexansäureethylester	0,3	-	0,2	0,2	-	0,2	
Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	3-Methyl-Butanal	12	14	12	13	28	27
	2-Furfural	Sp.	40	51	Sp.	86	146
	5-Methyl-Furfural	4,2	5,4	5,7	5,1	6,6	6,9
	Benzaldehyd	0,7	0,8	2,0	Sp.	0,7	0,9
	2-Phenyl-Ethanal	5,6	8,2	6,3	9,0	19	16
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	Sp.	Sp.	1,9	1,3	1,8	2,1
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester	2,2	9,2	39	4,4	11	28
	Phenylesigsäure-Ethyl-Ester	0,5	0,7	1,3	0,6	0,8	1,3
	2-Acetyl-Furan	Sp.	Sp.	3,9	18	27	33
	2-Propionyl-Furan	2,3	7,5	4,7	3,2	12	15
	γ-Nonalacton	15	27	48	14	20	33
	Summe Wärmeindikatoren	15	67	98	14	106	179
	Summe Sauerstoffindikatoren	18	23	21	21	48	44
Summe Alterungskomponenten	40	103	137	64	202	280	

Tabelle AH 39: Veränderung der Würzeanalysen durch Melanoidinzugabe

Analysemerkmale	BM 1		BM 1 + Mel.	
	PfV	AW	PfV	AW
Stammwürze (GG%)	9,87	11,44	10,68	11,91
Farbe	5,0	7,3	7,5	12
pH	5,98	6,05	5,22	5,17
ITT/RV	34	65	35	70
TBZ	13	26	96	115
FAN	-	15,4	-	27,6
Pronyl-Lysin (mg/l)	0,16	0,64	0,94	1,48
Asparaginsäure	81	68	84	89
Glutaminsäure	136	107	144	142
Asparagin	128	127	136	154
Serin	67	57	77	79
Glutamin	152	37	173	55
Histidin	70	58	68	70
Glycin	39	32	40	43
Threonin	70	61	88	91
Arginin	141	112	176	167
Alanin	136	115	155	155
γ-Aminobuttersäure	66	56	64	66
Tyrosin	111	93	147	143
Valin	144	119	179	174
Methionin	31	23	41	37
Tryptophan	57	42	71	70
Phenylalanin	146	119	191	186
Isoleucin	88	74	108	105
Leucin	208	166	304	285
Lysin	109	87	129	126
Aminosäuren Gesamt	1978	1553	2376	2234
Fructose	0,6	0,9	1,0	1,4
Glucose	6,3	7,3	8,2	9,1
Saccharose	5,2	6,2	5,3	6,1
Maltose	57,0	63,2	60,4	64,4
Maltotriose	11,2	12,4	14,0	14,9
vergärbare Zucker	80,3	90,0	88,9	95,9
3-me-Butanal	232	79	186	-
2-me-Butanal	71	19	60	-
Methional	36	46	39	-
Benzaldehyd	15	2,6	10	-
2-Pehnylethanal	70	107	117	-
Σ Streckeraldehyde	424	254	412	-
Pentanal	16	0,8	21	-
2-Pentanon	1,1	Sp.	1,3	-
Hexanal	101	2,8	125	-
Heptanal	Sp.	1,5	n.a.	-
tr, 2-cis, 6-Nonadienal	n.n.	1,3	2,0	-
2-Furfural	164	440	80	-
2-ac-Furan	3,0	8,2	n.a.	-
γ-Nonalacton	6,0	3,5	7,4	-
3-me-Butanol	33	2,3	30	-
2-me-Butanol	9,4	2,1	10	-
1-Pentanol	47	Sp.	46	-
1-Hexanol	52	n.n.	53	-
1-Octanol	n.n.	0,1	3,0	-
1-Octen-3-ol	5,8	n.a.	6,5	-
Phenylethanol	61	56	59	-

Tabelle AH 40: Auswirkung einer Melanoidinzugabe auf die Verkostung und die Bieranalysen

	Analysenmerkmale	BM 1	BM 1+ Mel.
Bieranalysen	Stammwürze (GG%)	11,32	10,95
	Alkohol (Vol.%)	5,21	4,92
	Extrakt, s (GG%)	1,45	1,61
	Vergärungsgrad, s (GG%)	87,70	85,8
	Farbe	4,9	8,7
	pH	5,14	4,88
	Gesamtpolyphenole	144	87
	Gesamtpolyphenole (12 GG%)	153	95
	Anthzyanogene	41	27
	Anthzyanogene (12 GG%)	43	30
	Polimerisationsindex	3,56	3,17
	Tannoide	n.a.	n.a.
	ITT/RV	18	24
	TBZ	22	75
	SO <sub>2</sub>	7,2	10,6
	Schaum (NIBEM)	189	177
	Gesamt-Stickstoff	37,5	70,3
	Gesamt-Stickstoff (12 GG%)	39,8	77,0
	FAN	11,2	17,0
	FAN (12 GG%)	11,9	18,6
	Pronyl-Lysin (mg/l)	0,76	1,42
DLG-Verk.	Geruch	4,2	4,1
	Geruch/f	3,8	3,1
	Trunk	4,1	4,0
	Trunk/f	3,6	3,1
	Vollmundigkeit	4,3	4,1
	Vollmundigkeit/f	4,0	4,1
	Rezenz	4,3	4,3
	Rezenz/f	4,3	4,3
	Bittere	4,2	4,1
	Bittere/f	4,0	4,0
	gew. Note	4,20	4,10
	gew. Note/f	3,89	3,60
	Alt. verk.	Geruch	1,9
Trunk		2,1	2,3
Bittere		1,5	1,6
gew. Note		1,90	2,16
Akzeptanz		58,0	46,0
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	8,5	9,8
	Propanol-1	8,6	8,5
	Ethylacetat	30	26
	2-Methylpropanol	8,1	7,1
	3-Methylbutanol	31	42
	2-Methylbutanol	12	5,7
	2-Methylpropylester	0,1	Sp.
	Buttersäureethylester	0,1	0,1
	3-Methylbutylacetat	1,7	1,8
	2-Methylbutylacetat	0,2	0,1
Hexansäureethylester	0,4	0,4	

Tabelle AH 40: Fortsetzung

	Analysenmerkmale	BM 1	BM 1+ Mel.
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	14	11
	Heptanol-1	7,7	5,4
	Octanol-1	13	16
	Decanol-1	5,8	5,0
	2-Phenylethanol	20484	17283
	Essigsäure-Isobutylester	39	25
	Essigsäure-Hexylester	5,3	4,3
	Essigsäure-Heptylester	4,1	3,5
	Essigsäure-Octylester	2,0	2,2
	Essigsäure-Furfurylester	1,8	3,2
	Essigsäure-2-Phenylethylester	475	390
	Buttersäure-Ethylester	90	68
	Hexansäure-Ethylester	246	230
	Octansäure-Ethylester	320	297
	Decansäure-Ethylester	50	57
	Isovaleriansäure	398	301
	Hexansäure	1691	1698
	Octansäure	6391	6322
	Nonansäure	16	13
	Decansäure	821	931
	Dodecansäure	87	169
	α-Terpineol	0,8	0,8
	Linalool	2,7	4,2
Nerol	1,2	0,7	
γ-Nonalacton	8,2	4,6	
Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.
	2-Methyl-Butanal/f	n.a.	n.a.
	3-Methyl-Butanal	8,7	9,1
	3-Methyl-Butanal/f	12	22
	2-Furfural	Sp.	Sp.
	2-Furfural/f	32	106
	5-Methyl-Furfural	4,0	4,8
	5-Methyl-Furfural/f	4,4	5,1
	Benzaldehyd	Sp.	Sp.
	Benzaldehyd/f	Sp.	0,8
	2-Phenyl-Ethanal	3,5	3,4
	2-Phenyl-Ethanal/f	6,4	21
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	1,5	n.a.
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f	1,5	1,7
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester	2,0	4,2
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f	10	9,0
	Phenylesigsäure-Ethyl-Ester	0,5	Sp.
	Phenylesigsäure-Ethyl-Ester/f	0,7	0,8
	2-Acetyl-Furan	3,3	Sp.
	2-Acetyl-Furan/f	3,3	3,8
	2-Propionyl-Furan	3,3	n.a.
	2-Propionyl-Furan/f	3,5	n.a.
	γ-Nonalacton	20	24
	γ-Nonalacton/f	33	38
	Summe Wärmeindikatoren	20	24
	Summe Wärmeindikatoren/f	64	144
	Summe Sauerstoffindikatoren	12	13
	Summe Sauerstoffindikatoren/f	18	43
	Summe Alterungskomponenten	45	41
Summe Alterungskomponenten/f	96	198	



Tabelle AH 41: Chemilumineszenz-Messung von BM 1 und BM 1 + Melanoidin

	Chemiluminiszenz	Time	Total Counts	CL Average	CL Peak Count
300 s	Pils	193	1,941E+06	6447	15135
	Pils2	215	2,034E+06	6757	16316
	Ø Pils		1,987E+06	6602	15726
	Abweichung	+/-	0,047E+06	155	591
	Pils + Melanoidin	149	2,225E+06	7391	18684
	Pils + Melanoidin 2	208	2,228E+06	7401	18898
	Ø Pils + Melanoidin		2,226E+06	7396	18791
	Abweichung	+/-	0,001E+06	5	107
600 s	Pils	193	2,829E+06	4708	15135
	Pils2	215	2,927E+06	4871	16316
	Ø Pils		2,878E+06	4790	15726
	Abweichung	+/-	0,049E+06	82	591
	Pils + Melanoidin	149	3,302E+06	5493	18684
	Pils + Melanoidin 2	208	3,293E+06	5480	18898
	Ø Pils + Melanoidin		3,298E+06	5487	18791
	Abweichung	+/-	0,004E+06	7	107

Tabelle AH 42: Malzanalyse und Kaltauszug der „Iso-TBZ“-Malze

Abdarrtemperatur		50 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Malzanalyse	Wassergehalt (%)	6,5	3,6	4,5	4,5
	Extrakt (%)	77,8	80,2	79,3	79,3
	Extrakt wfr. (%)	83,2	83,2	83,0	83,0
	Viskosität, 8,6 % (mPa×s)	1,471	1,498	1,509	1,509
	Friabilimeter (%)	85,5	87,2	86,5	86,5
	Ganzglasigkeit (%)	0,6	1,5	1,3	1,3
	Verzuckerung (min.)	< 10	< 10	< 10	< 10
	Ablauf	klar	klar	opal	opal
	Endvergärung (%)	80,8	81,4	78,6	78,6
	Farbe (EBC)	3,5	4,3	4,2	4,2
	Kochfarbe (EBC)	4,2	4,6	4,6	4,6
	pH-Wert	6,06	5,97	5,97	5,97
	Rohprotein (%)	9,8	9,8	9,7	9,7
	lösl. N (mg/l)	615	602	611	611
	ELG (%)	39,2	38,4	39,4	39,4
	FAN (mg/100 g TrS.)	113	114	109	107
	DK (°WK)	378	295	272	257
	α-Amylase (ASBC)	71	66	58	59
	TBZ	8	6	8	8
	DMS-Vorläufer (ppm)	8,3	5,5	4,6	4,3
Pronyl-Lysin (mg/l)	0,14	0,16	0,18	0,21	
Kaltauszug	Stammwürze (%)	3,6	3,8	3,6	3,5
	pH	6,04	5,99	6,04	6,05
	Farbe (EBC)	6,4	6,3	6,1	5,6
	RV (%)	33	31	32	34
	TBZ	4	11	11	12

Tabelle AH 42: Fortsetzung

Abdarrtemperatur		50 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Maizaromastoffe (µg/l)	3-Methylbutanal	30	287	283	331
	2-Methylbutanal	13	148	150	166
	2-Pentanon	4,5	n.a.	n.a.	n.a.
	Pentanal	42	26	32	27
	3-Methylbutanol	97	463	533	476
	2-Methylbutanol	24,0	85	101	92
	2-Acetylfuran	Sp.	37	5,2	15
	Phenylethanal	27	139	123	164
	γ-Nonalacton	8,5	9,3	7,0	6,8
	2-Furfural	Sp.	63	56	80
	Heptanal	14,0	13	15	13
	Methional	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	Hexanal	112	142	161	189
	Benzaldehyd	2,6	7,7	4,6	6,5
	Δ <sup>2</sup> -c6-Nonadienal	17	38	36	50
	Δ <sup>2</sup> -Nonenal	9,4	26	29	43
	Pentanol	105	115	127	107
	Octen-3-ol	26	25	27	24
	Octanol	4,1	3,9	4,2	4,5
	Isobutyraldehyd	94	358	349	326
	Phenylethanol	171	291	301	340
	Σ Streckeraldehyde	73	582	561	668
	Aminosäuren Malz (mg/l)	Asparaginsäure	47,9	49,1	46,3
Glutaminsäure		21,5	20,8	21,3	28,8
Asparagin		103,0	103,7	101,6	108,0
Serin		51,7	54,8	49,3	57,8
Glutamin		110,6	112,4	96,8	103,2
Histidin		48,7	50,9	49,7	46,0
Glycin		28,9	28,9	27,2	31,1
Threonin		45,7	48,0	45,0	48,0
Arginin		86,1	97,2	89,5	101,5
Alanin		79,5	82,4	77,2	87,2
γ-Amino.bu.sre		77,1	72,6	71,6	70,9
Tyrosin		65,1	68,9	64,0	71,3
Valin		87,7	90,1	85,1	93,2
Methionin		23,0	22,9	21,5	24,0
Tryptophan		35,9	39,5	37,7	40,1
Phenylalanin		82,2	86,0	80,6	91,7
Isoleucin		53,5	54,5	50,2	58,0
Leucin		117,47	122,8	114,2	131,8
Lysin	95,2	96,2	84,3	93,8	
AS Gesamt	1260,5	1301,7	1213,1	1338,5	

Tabelle AH 43: Würzeanalyse zu den Versuchen „Iso-TBZ“

	70 °C		80 °C		90 °C			
	PfV	AW	PfV	AW	PfV	AW		
Würze- analysen	Stammwürze (%)	9,9	11,3	10,4	12,2	10,1	11,1	
	Farbe (EBC)	4,6	7,4	5,1	8,1	4,7	7,3	
	pH	6,13	6,01	6,14	5,97	6,07	6,04	
	RV (%)	47	57	54	72	67	71	
	TBZ	7	20	8	22	8	21	
	Würzearomastoffe (µg/l)	3-me-Butanal	73	21	66	22	72	16
		2-me-Butanal	27	11	25	11	25	7,9
Methional		15	Sp.	11	Sp.	15	6,8	
Benzaldehyd		2,1	0,8	2,1	0,8	2,0	0,9	
2-Pehnylethanal		57	39	54	39	62	34	
Σ Streckeraldehyde		175	72	158	73	176	66	
Pentanal		7,3	0,6	7,5	0,7	9,6	0,5	
2-Pentanon		0,9	Sp.	0,8	Sp.	0,7	Sp.	
Hexanal		32	2,0	30	2,1	37	1,6	
Heptanal		1,8	1,3	2,1	2,5	2,3	1,5	
tr, 2-cis, 6-Nonadienal		1,7	0,9	1,6	1,2	1,9	1,4	
2-Furfural		16	30	14	30	15	26	
2-ac-Furan		Sp.	n.n.	Sp.	n.n.	Sp.	n.n.	
γ-Nonalacton		1,1	0,8	1,1	0,8	1,0	0,6	
3-me-Butanol		26	2,9	21	3,4	40	3,6	
2-me-Butanol		7,9	1,9	6,4	2,4	11	1,9	
1-Pentanol		15	n.n.	13	n.n.	13	n.n.	
1-Hexanol		8,6	n.a.	8,2	0,6	8,0	n.n.	
1-Octanol		0,1	n.a.	0,1	n.a.	Sp.	0,1	
1-Octen-3-ol		2,8	n.a.	2,7	n.a.	2,7	n.a.	
Phenylethanol	99	27	34	31	48	30		

Tabelle AH 44: Bieranalysen zu den Versuchen „Iso-TBZ“

	70 °C	80 °C	90 °C	
	Bieranalysen	Stammwürze (%)	10,92	11,76
Alkohol (Vol.%)		4,77	5,06	4,67
Extrakt, s (GG%)		1,88	2,23	2,44
VG, s (%)		83,40	81,8	79
Farbe (EBC)		4,4	4,6	4,3
pH		5,10	5,11	4,99
Gesamtpolyphenole (mg/l)		146	148	143
Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)		160	151	152
Anthzyanogene (mg/l)		46	40	38
Anthzyanogene, 12 % (mg/l)		51	41	40
Polimerisationsindex		3,14	3,68	3,8
Tannoide (mg/l PVP)		n.a.	30	26
RV (%)		14,0	17,0	16,0
TBZ		14	15	15
SO <sub>2</sub> (mg/l)		6,1	7,3	4,0
Schaum, NIBEM (s)		209	218	259
Gesamt-N (mg/100 ml)		33,3	32,9	28,6
Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)		36,6	33,6	30,5
FAN (mg/100 ml)		6,9	6,8	6,7
FAN, 12 % mg/100 ml)		7,6	6,9	7,1
Pronyl-Lysin (mg/l)	0,50	0,48	0,66	
Pronyl-Lysin/f (mg/l)	0,34	0,34	0,58	
DLG-Verk.	Geruch	4,2	4,7	4,0
	Geruch/f	3,5	3,9	3,4
	Trunk	4,2	4,4	4,0
	Trunk/f	3,4	3,8	3,5
	Vollmundigkeit	4,3	4,3	4,3
	Vollmundigkeit/f	4,1	4,1	4,0
	Rezenz	4,3	4,5	4,5
	Rezenz/f	4,4	4,3	4,3
	Bittere	4,2	4,1	4,1
	Bittere/f	4,1	4,0	4,1
	gew. Note	4,23	4,40	4,13
	gew. Note/f	3,81	3,98	3,79

Tabelle AH 44: Fortsetzung

	70 °C	80 °C	90 °C
Hexanol-1	6,5	7,6	3,2
Heptanol-1	12	10	8,5
Octanol-1	12	13	13
Decanol-1	4,5	5,8	6,4
2-Phenylethanol	24327	24030	21889
Essigsäure-Isobutylester	48	43	29
Essigsäure-Hexylester	2,4	4,2	2,2
Essigsäure-Heptylester	4,7	4,2	4,6
Essigsäure-Octylester	1,9	1,9	2,3
Essigsäure-Furfurylester	1,2	1,3	9
Essigsäure-2-Phenylethylester	463	539	419
Buttersäure-Ethylester	84	79	65
Hexansäure-Ethylester	205	206	178
Octansäure-Ethylester	283	275	276
Decansäure-Ethylester	47	52	64
Isovaleriansäure	415	364	250
Hexansäure	1935	1580	1085
Octansäure	6622	6907	6521
Nonansäure	15	16	15
Decansäure	972	1053	1417
Dodecansäure	65	78	180
$\alpha$ -Terpineol	Sp.	0,9	0,8
Linalool	3,5	5,9	2,5
Nerol	0,6	0,6	0,4
$\gamma$ -Nonalacton	9,1	n.a.	7,8
Acetaldehyd	6,8	7,9	4,4
Propanol-1	9,1	9,6	9,8
Ethylacetat	21	24	23
2-Methylpropanol	11	11	8,9
3-Methylbutanol	33	34	29
2-Methylbutanol	14	15	12
2-Methylpropylester	0,1	0,1	0,0
Buttersäureethylester	0,1	0,1	0,1
3-Methylbutylacetat	1,3	1,4	1,1
2-Methylbutylacetat	0,2	0,2	0,1
Hexansäureethylester	0,3	0,3	0,3

Tabelle AH 44: Fortsetzung

	70 °C	80 °C	90 °C
Geruch	1,8	1,5	1,8
Trunk	1,8	1,6	1,6
Bittere	1,1	1,0	1,2
gew. Note	1,66	1,44	1,60
Akzeptanz	72,0	84,0	70,0
2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.
2-Methyl-Butanal/f	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal	8,3	6,2	5,4
3-Methyl-Butanal/f	8,8	6,6	6,3
2-Furfural	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural/f	26	17	26
5-Methyl-Furfural	2,9	3,2	4,8
5-Methyl-Furfural/f	3,7	3,7	4,9
Benzaldehyd	Sp.	0,3	0,9
Benzaldehyd/f	Sp.	0,8	1,0
2-Phenyl-Ethanal	3,9	2,4	4,4
2-Phenyl-Ethanal/f	4,9	2,5	5,8
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	Sp.	0,7	n.a.
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f	1,4	0,7	0,8
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	2,9	4,6	4,3
Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f	8,8	12	12
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	0,6	0,5	0,4
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester/f	1,7	0,7	0,6
2-Acetyl-Furan	3,4	4,7	2,8
2-Acetyl-Furan/f	4,6	5,3	3,0
2-Propionyl-Furan	0,9	n.a.	3,1
2-Propionyl-Furan/f	3,9	2,9	3,1
$\gamma$ -Nonalacton	7,2	8,4	10
$\gamma$ -Nonalacton/f	10	12	15
Summe Wärmeindikatoren	7,2	8,4	10
Summe Wärmeindikatoren/f	36	29	40
Summe Sauerstoffindikatoren	12	8,8	11
Summe Sauerstoffindikatoren/f	14	10	13
Summe Alterungskomponenten	31	26	32
Summe Alterungskomponenten/f	65	52	66

Tabelle AH 45: Würzeanalysen zu den Versuchen „Iso-Farbe“

	BM 1/BM 4			BM 2			BM 1/KM 2			
	KA	PfV	AW	KA	PfV	AW	KA	PfV	AW	
Würzeanalysen	Stammwürze (%)	4,20	9,83	12,03	4,36	9,90	12,06	4,38	9,60	11,92
	Farbe (EBC)	10,2	9,2	15,1	9,9	9,0	15,2	10,5	10,4	16,2
	pH	5,83	5,88	5,69	5,77	5,86	5,67	5,72	5,82	5,67
	RV (%)	36	40	72	36	43	78	34	45	74
	TBZ	55	36	64	66	43	74	49	34	68
	FAN (mg/100 ml)	-	-	18,35	-	-	18,74	-	-	18,10
	Pronyl-Lysin (mg/l)	0,41	0,28	0,75	0,45	0,49	0,79	0,21	0,25	0,64
Aminosäuren (mg/l)	Asparaginsäure	61	54	59	54	49	57	60	57	66
	Glutaminsäure	25	65	72	48	70	74	22	59	67
	Asparaginsäure	97	93	108	98	92	112	95	97	122
	Serin	51	42	48	48	44	48	43	42	50
	Glutamin	154	74	41	125	64	43	145	75	28
	Histidin	19	22	24	19	22	24	18	20	23
	Glycin	63	56	63	66	63	62	56	52	63
	Threonin	53	55	62	55	56	62	48	53	62
	Alanin	45	52	55	43	48	53	43	50	56
	Arginin	162	151	170	174	164	175	146	143	167
	γ-Aminobuttersäure	197	112	122	158	105	116	188	116	138
	Tyrosin	69	77	85	70	76	84	63	73	84
	Valin	86	81	90	88	84	92	79	80	94
	Methionin	21	24	27	20	24	27	19	25	33
	Tryptophan	46	45	49	48	44	48	45	44	50
	Phenylalanin	99	93	102	100	92	102	90	91	105
	Isoleucin	52	49	55	52	50	55	47	47	56
	Leucin	88	99	108	86	97	102	81	96	110
	Lysin	48	60	64	45	56	59	44	57	66
	Aminosäuren Gesamt	1436	1304	1401	1395	1299	1395	1329	1276	1441
Zucker (g/l)	Fruktose	1,2	0,4	1,4	0,9	0,5	1,5	1,0	0,4	1,2
	Glukose	4,8	6,4	8,7	4,7	6,9	8,7	4,5	6,4	8,7
	Saccharose	7,0	4,3	5,8	7,4	4,7	5,9	6,3	4,1	5,6
	Maltose	6,2	56,6	70,9	6,3	56,8	67,4	7,9	54,8	68,6
	Maltotriose	1,1	12,5	15,9	1,0	12,7	15,1	1,2	12,5	15,8
	vergärbare Zucker	20,3	80,2	102,7	20,3	81,6	98,6	20,9	78,0	99,9
Würzearomastoffe (µg/l)	3-me-Butanal	-	538	50	-	880	56	-	309	45
	2-me-Butanal	-	206	15	-	319	18	-	120	13
	Methional	-	100	20	-	174	26	-	44	15
	Benzaldehyd	-	14	1,2	-	14	1,3	-	10	1,2
	Pehnylethanal	-	169	74	-	235	79	-	109	65
	Σ Streckeraldehyde	-	1026	160	-	1622	180	-	593	140
	Pentanal	-	2,3	3,3	-	2,3	3,2	-	2,5	3,4
	2-Pentanon	-	4,3	3,8	-	4,5	3,7	-	4,5	3,6
	Hexanal	-	89	1,9	-	69	1,7	-	108	1,9
	Heptanal	-	1,0	1,5	-	2,2	1,3	-	1,6	1,2
	tr, 2-cis, 6-Nonadienal	-	Sp.	Sp.	-	Sp.	Sp.	-	0,6	Sp.
	2-Furfural	-	149	120	-	238	172	-	98	123
	2-ac-Furan	-	2,1	3,1	-	2,5	5,6	-	3,4	3,0
	γ-Nonalacton	-	6,3	2,1	-	3,9	1,5	-	7,9	2,5
	3-me-Butanol	-	50	1,9	-	51	1,9	-	40	2,2
	2-me-Butanol	-	16	6,4	-	28	7,2	-	12	6,2
	1-Pentanol	-	41	0,7	-	24	0,9	-	45	0,8
	1-Hexanol	-	36	0,3	-	21	0,3	-	40	0,2
	1-Octanol	-	4,4	0,6	-	4,4	0,4	-	3,1	0,4
	1-Octen-3-ol	-	4,0	Sp.	-	4,8	Sp.	-	5,8	0,1
Phenylethanol	-	76	56	-	84	67	-	115	88	

Tabelle AH 46: Malzanalyse zu den Versuchen „Iso-Farbe“

Analysenmerkmal	BM 1	BM 2	BM 4	KM 2
Wassergehalt (%)	5,5	3,6	4,1	-
Extrakt (%)	77,7	79,4	78,9	-
Extrakt wfr. (%)	82,2	82,4	82,3	-
Viskosität, 8,6 % (mPa*s)	1,422	1,547	1,538	-
Friabilimeter (%)	95,7	89,3	84,4	-
Ganzglasigkeit (%)	0,8	1,9	1,3	-
Verzuckerung (min.)	<15	< 10	< 10	-
Ablauf	klar	klar	klar	-
Endvergärung (%)	87,4	79,8	76,4	-
Farbe (EBC)	3,4	7,5	17	26
Kochfarbe (EBC)	5,3	11	23	33
pH-Wert	5,90	5,79	5,54	-
Rohprotein (%)	10,3	10,5	11,6	-
lösl. N (mg/l)	754	796	823	-
ELG (%)	45,8	47,4	44,3	-

Tabelle AH 47: Bieranalyse zu den Versuchen „Iso-Farbe“

	BM 1/BM 4		BM 2		BM 1/KM 2		
	Bier	Bier/f	Bier	Bier/f	Bier	Bier/f	
Bieranalysen	Stammwürze (%)	12,0	12,0	12,2	12,2	12,0	12,5
	Alkohol (Vol %)	5,5	5,6	5,3	5,3	5,5	5,4
	Extrakt, s (%)	1,5	1,5	2,1	2,2	1,7	1,7
	VG, s (%)	87,8	87,8	83,1	83,0	86,3	86,1
	Farbe (EBC)	11	11	11	12	13	13
	pH	4,90	4,91	4,93	4,90	5,13	5,12
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	166	128	162	148	153	134
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)	166	128	160	146	153	134
	Anthzyanogene (mg/l)	43	51	48	51	49	54
	Anthzyanogene, 12 % (mg/l)	43	51	47	50	49	54
	Polimerisationsindex	3,86	2,51	3,40	2,92	3,12	2,48
	Tannoide (mg/l PVP)	18	18	20	19	19	19
	RV (%)	32	32	33	34	35	35
	TBZ	52	51	63	62	53	52
	SO <sub>2</sub> (mg/l)	0,9	0,3	3,1	2,7	1,3	0,6
	Schaum, NIBEM (s)	246	239	250	240	218	218
	Gesamt-Stickstoff (mg/100 ml)	70,0	66,1	69,4	67,8	67,5	69,7
	Gesamt-Stickstoff, 12 % mg/100 ml)	70,2	66,1	68,5	66,9	67,4	69,8
	FAN (mg/100 ml)	9,2	9,3	11,2	11,4	10,3	10,3
FAN, 12 % (mg/100 ml)	9,2	9,3	11,1	11,3	10,3	10,3	
DLG-Verk.	Geruch	4,6	3,7	4,4	3,7	4,7	4,0
	Trunk	4,5	3,9	4,4	3,7	4,7	4,0
	Vollmundigkeit	4,4	4,4	4,4	4,2	4,4	4,3
	Rezenz	4,5	4,4	4,4	4,1	4,4	4,4
	Bittere	4,4	4,1	4,4	4,0	4,5	4,1
gew. Note	4,49	4,02	4,41	3,90	4,58	4,10	
Alt. verk.	Geruch	1,0	1,6	1,0	1,7	1,0	1,4
	Trunk	1,0	1,6	1,0	1,7	1,0	1,5
	Bittere	1,0	1,2	1,0	1,5	1,0	1,1
	gew. Note	1,0	1,53	1,0	1,67	1,0	1,40
	Akzeptanz	100	81,4	100	75,0	100	89,3

Tabelle AH 47: Fortsetzung

	BM 1/BM 4		BM 2		BM 1/KM 2		
	Bier	Bier/f	Bier	Bier/f	Bier	Bier/f	
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	17	16	18	17	11	13
	Heptanol-1	13	12	12	11	6,4	6,9
	Octanol-1	13	13	13	14	12	13
	Decanol-1	4,8	4,8	5	5,1	4,3	4,4
	2-Phenylethanol	29743	30570	27194	27604	25071	26161
	Essigsäure-Isobutylester	54	53	56	55	62	65
	Essigsäure-Hexylester	5,5	5,4	5,3	5,3	4,4	4,4
	Essigsäure-Heptylester	4,2	3,8	5	4,5	4,3	3,8
	Essigsäure-Octylester	2,6	2,2	2,4	2,1	2,7	2,5
	Essigsäure-Furfurylester	4,6	3,6	5,5	3,9	4,9	3,4
	Essigsäure-2-Phenylethylester	595	598	623	606	654	655
	Buttersäure-Ethylester	80	78	86	84	81	85
	Hexansäure-Ethylester	205	190	204	188	203	195
	Octansäure-Ethylester	258	272	252	262	270	303
	Decansäure-Ethylester	39	40	45	45	49	51
	Isovaleriansäure	662	536	771	704	540	576
	Hexansäure	1994	1646	1920	1785	1842	1981
	Octansäure	5194	5048	5567	5383	5777	5884
	Nonansäure	10	9,3	11	11	10	9,8
	Decansäure	562	570	814	790	797	805
Dodecansäure	11	11	17	17	30	33	
α-Terpineol	1,6	1,1	1,6	1,2	1,8	1,7	
Linalool	1,1	1,2	1,0	1,3	1,2	1,4	
Nerol	3,8	3,5	3,9	3,8	4,1	3,77	
γ-Nonalacton	17	22	19	23	13	15	
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	6,5	5,6	10	10	8,5	8,7
	Propanol-1	16	15	11	11	14	14
	Ethylacetat	21	26	31	31	27	26
	2-Methylpropanol	14	13	12	13	13	13
	3-Methylbutanol	45	51	40	40	42	43
	2-Methylbutanol	16	15	14	15	14	14
	2-Methylpropylester	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Buttersäureethylester	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	3-Methylbutylacetat	1,8	2,1	2,3	2,0	2,2	1,9
	2-Methylbutylacetat	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
	Hexansäureethylester	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	3-Methyl-Butanal	7,1	11	9,1	11	8,5	11
	2-Furfural	Sp.	21	Sp.	18	Sp.	23
	5-Methyl-Furfural	4,0	4,1	4,0	4,2	4,0	4,1
	Benzaldehyd	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Phenyl-Ethanal	5,7	7,7	7,0	8,9	4,7	7,4
	Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	Nicotinsäure-Ethyl-Ester	4,9	8,4	3,6	8,4	4,1	7,6
	Phenylesigsäure-Ethyl-Ester	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	2-Acetyl-Furan	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	4,9	5,8
	2-Propionyl-Furan	3,3	4,5	3,1	4,9	n.a.	n.a.
	γ-Nonalacton	16	20	16	21	11	13
	Summe Wärmeindikatoren	16	41	16	39	11	37
	Summe Sauerstoffindikatoren	13	18	16	20	13	19
	Summe Alterungskomponenten	36	68	39	68	34	65

Tabelle AH 48: Malz- und Würzeanalyse verschiedener Handelsmalze

Analysenmerkmal ↓      Sorte →		1a	1b	3	5	6	7	
Malzanalyse	Wassergehalt (%)	4,0	5,8	3,1	4,2	5,1	3,8	
	Extrakt (%)	79,2	77,4	78,3	76,9	77,8	79,5	
	Extrakt wfr. (%)	82,5	82,2	80,8	80,3	82,0	82,6	
	Viskosität, 8,6 % (mPa·s)	1,490	1,496	1,517	1,523	1,483	1,555	
	Viskosität 65 °C, 8,6 % (mPa·s)	1,527	1,537	1,535	1,565	1,523	1,626	
	Friabilimeter (%)	92,7	90,0	96,4	92,3	91,3	82,2	
	Ganzglasigkeit (%)	0,8	0,1	0,4	0,5	0,5	0,9	
	Verzuckerungszeit (min.)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
	Ablauf	klar	opal	opal	klar	klar	klar	
	Endvergärungsgrad, s (%)	82,1	82,0	80,9	82,5	82,9	82,8	
	Farbe (EBC)	3,3	3,2	4,2	3,5	3,5	3,5	
	Kochfarbe (EBC)	5,6	5,1	6,9	5,5	5,8	5,7	
	pH-Wert	5,83	5,96	5,91	5,94	6,01	5,90	
	Rohprotein (%)	10,1	9,8	10,8	10,5	10,6	10,7	
	Löslicher Stickstoff (mg/100g TrS.)	719	593	735	719	709	685	
	ELG (%)	44,5	37,8	42,5	42,8	41,8	40,0	
	FAN (mg/100 g TrS.)	145	115	149	154	146	138	
	VZ 45 °C (%)	42,3	36,3	34,7	38,8	38,1	39,9	
	Beta-Glucan 65 °C (mg/l)	167	188	104	123	143	157	
	Homogenität (%)	88	87	88	92	91	77	
	Modifikation (%)	98	98	98	99	99	95	
	DMS-Vorläufer (ppm)	5,3	3,8	4,0	6,1	9,3	3,2	
	Sortierung > 2,8 mm Malz (%)	87,9	92,6	83,6	84,8	88,9	89,2	
	Sortierung 2,5 - 2,8 mm Malz (%)	9,6	6,1	13,5	12,5	8,9	8,8	
	Sortierung 2,2 - 2,5 mm Malz (%)	1,8	0,9	2,0	1,9	1,4	1,4	
	Abputz Malz (%)	0,7	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6	
	Fett in Trockensubstanz (%)	1,6	0,4	1,6	1,5	1,6	1,6	
	TBZ nach Birkenstock	10	9	15	11	9	14	
Würzeanalyse P/V	Stammwürze (%)	12,08	11,33	12,04	11,73	11,68	11,9	
	Stammwürze (%)	12,64	11,82	12,6	12,26	12,21	12,44	
	Endvergärungsgrad, s (%)	83,1	83,8	81,5	83,9	84,2	82,7	
	pH	5,79	5,97	5,77	5,82	5,84	5,8	
	Farbe (EBC)	8,3	5,3	8,4	7,3	6,7	6,2	
	Gesamt-N (mg/100 ml)	107,6	90,7	104,3	96	98,7	94	
	Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)	106,9	96,1	104	98,2	101,4	94,8	
	FAN (mg/100 ml)	21,5	17,1	20	19,9	19,9	18,4	
	FAN, 12 % (mg/100 ml)	21,4	18,1	19,9	20,4	20,4	18,6	
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	184	210	207	168	170	164	
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)	183	222	206	172	175	165	
	Anthozyanogene (mg/l)	115	102	104	95	103	99	
	Anthozyanogene, 12 % (mg/l)	114	108	104	97	106	100	
	Tannine (mg PVP /l)	93	120	105	106	95	72	
	RV (%)	34	30	39	37	35	44	
	TBZ	21	14	26	21	15	24	
	Polymerisationsindex	1,61	2,06	1,98	1,77	1,65	1,65	
	Würzeanalyse AW	Stammwürze (%)	12,08	12,43	12,04	11,73	11,68	11,9
		Stammwürze (%)	12,64	13,03	12,6	12,26	12,21	12,44
		Endvergärungsgrad, s (%)	83,1	83,3	81,5	83,9	84,2	82,7
pH		5,79	5,79	5,77	5,82	5,84	5,8	
Farbe (EBC)		8,3	8,9	8,4	7,3	6,7	6,2	
Gesamt-N (mg/100 ml)		107,6	95,9	104,3	96	98,7	94	
Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)		106,9	92,6	104	98,2	101,4	94,8	
FAN (mg/100 ml)		21,5	17,9	20	19,9	19,9	18,4	
FAN, 12 % (mg/100 ml)		21,4	17,3	19,9	20,4	20,4	18,6	
Gesamtpolyphenole (mg/l)		184	243	207	168	170	164	
Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)		183	235	206	172	175	165	
Anthozyanogene (mg/l)		115	46	104	95	103	99	
Anthozyanogene, 12 % (mg/l)		114	44	104	97	106	100	
Tannine (mg PVP /l)		93	105	105	106	95	72	
RV (%)		34	31	39	37	35	44	
TBZ		21	25	26	21	15	24	
Polymerisationsindex	1,61	5,34	1,98	1,77	1,65	1,65		



Tabelle AH 49: Bieranalyse verschiedener Handelsmalze

Analysemerkmal ↓ Sorte →		1a	1b	3	5	6	7
Bieranalyse frisch	Stammwürze (%)	12,64	12,76	12,56	12,59	12,48	12,40
	Alkohol (Vol %)	5,42	5,60	5,37	5,58	5,52	5,43
	scheinbarer Extrakt (%)	2,48	2,27	2,49	2,13	2,12	2,21
	wirklicher Extrakt (%)	4,44	4,28	4,43	4,14	4,11	4,17
	VG, s (%)	81,1	82,9	80,9	83,8	83,7	82,9
	VG, w (%)	66,4	67,9	66,2	68,6	68,5	67,9
	Endvergärungsgrad, s (%)	82,5	84,0	81,7	83,8	83,9	83,1
	Farbe (EBC)	6,1	6,8	6,8	5,9	5,9	6,0
	pH	4,9	4,92	4,81	4,84	4,92	4,86
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	179	167	188	167	159	155
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)	170	157	180	159	153	150
	Anthozyanogene (mg/l)	67	76	68	56	56	51
	Anthozyanogene, 12 % (mg/l)	64	71	65	53	54	49
	Polymerisationsindex	2,66	2,21	2,77	3	2,83	3,06
	Tannine (mg PVP/l)	22	31	21	18	18	17
	RV (%)	35	—	28	26	22	21
	Viskosität (mPa·s)	1,621	1,667	1,651	1,665	1,518	1,582
	Viskosität, 12 % (mPa·s)	1,581	1,616	1,614	1,625	1,493	1,558
	TBZ	24	22	31	27	21	30
	Schwefeldioxid (mg/l)	4,8	6,8	0,4	1,0	1,8	1,9
	Schaum, Ross und Clark	105	119	114	116	110	114
	Gesamt-N (mg/100 ml)	77,8	92,1	72,5	76,4	74,8	60,5
	Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)	73,9	86,6	69,3	72,8	71,9	58,5
	FAN (mg/100 ml)	14,2	9,7	13,2	14,1	12	10,6
FAN, 12 % (mg/100 ml)	13,5	9,1	12,6	13,4	11,5	10,3	
Gesamt-Diacetyl (mg/l)	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	
Gesamt -2,3- Pentandion (mg/l)	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	
Lag-Time (min.)	64	132	45	47	60	52	
Bieranalyse forciert	Stammwürze (%)	12,6	12,83	12,58	12,63	12,46	12,37
	Alkohol (Vol %)	5,40	5,65	5,38	5,60	5,51	5,41
	scheinbarer Extrakt (%)	2,48	2,25	2,5	2,13	2,12	2,21
	wirklicher Extrakt (%)	4,43	4,28	4,44	4,15	4,10	4,16
	VG, s (%)	81,1	83,2	80,9	83,8	83,7	82,8
	VG, w (%)	66,4	68,1	66,2	68,6	68,5	67,8
	Endvergärungsgrad, s (%)	83	83,7	81,7	84,2	84,4	83,7
	Farbe (EBC)	6,3	6,7	7,0	6	5,8	5,9
	pH	4,90	4,9	4,83	4,86	4,94	4,86
	Gesamtpolyphenole (mg/l)	177	203	183	144	162	163
	Gesamtpolyphenole, 12 % (mg/l)	169	190	175	137	156	158
	Anthozyanogene (mg/l)	71	57	67	55	76	68
	Anthozyanogene, 12 % (mg/l)	68	53	64	52	73	66
	Polymerisationsindex	2,49	3,58	2,73	2,63	2,14	2,39
	Tannine (mg PVP/l)	29	36	25	19	24	21
	RV (%)	27	—	23	19	24	23
	Viskosität (mPa·s)	1,632	1,656	1,648	1,667	1,601	1,675
	Viskosität, 12 % (mPa·s)	1,593	1,602	1,609	1,624	1,573	1,648
	TBZ	24	20	31	28	21	30
	Schwefeldioxid (mg/l)	3,6	—	0,2	0,2	0,2	0,4
	Schaum, Ross und Clark	103	102	115	122	109	116
	Gesamt-N (mg/100 ml)	83,0	74,8	66,8	75,2	72,5	61,9
	Gesamt-N, 12 % (mg/100 ml)	79,0	70,0	63,7	71,4	69,8	60,0
	FAN (mg/100 ml)	14,3	9,7	12,9	13,9	12,4	10,9
FAN, 12 % (mg/100 ml)	13,6	9,1	12,3	13,2	11,9	10,6	
DLG-Verkostung (frisch/forciert)	Geruch	4,3	4,7	4,6	4,1	4,2	4,3
	Geruch forciert	3,9	4,2	3,6	3,9	3,9	3,6
	Trunk	4,1	4,5	4,7	4,4	4,4	4,3
	Trunk forciert	4	4,1	3,6	3,9	4	3,5
	Vollmundigkeit	4,5	4,5	4,5	4,4	4,3	4,5
	Vollmundigkeit forciert	4,3	4,3	4,2	4,2	4,3	4,3
	Rezenz	4,5	4,4	4,7	4,6	4,4	4,3
	Rezenz forciert	4,3	4,2	4,2	4,4	4,2	4,3
	Bittere	4,5	4,3	4,4	4,3	4,5	4,1
	Bittere forciert	4,1	4,1	3,8	4	4,3	4,1
	Gew. Note	4,32	4,49	4,57	4,32	4,35	4,29
	Gew. Note forciert	4,06	4,16	3,78	4	4,12	3,88

Tabelle AH 49: Fortsetzung

Analysemerkmal ↓ Sorte →		1a	1b	3	5	6	7
Alterungs- verkostung	Geruch	1,7	1,2	1,9	1,6	1,6	1,8
	Trunk	1,5	1,4	1,9	1,6	1,5	2,0
	Bittere	1,3	1,2	1,8	1,5	1,1	1,4
	Gew. Note	1,6	1,3	1,9	1,6	1,4	1,8
	Akzeptanz (%)	78,3	90,0	60,0	75,0	83,3	63,3
Bieraromastoffe (µg/l)	Hexanol-1	15	8,9	16	16	22	19
	Heptanol-1	2,8	5,5	7,4	5,8	4,1	5,4
	Octanol-1	15	13	10	12	15	14
	Decanol-1	6,9	5,7	6,0	6,9	6,5	7,5
	2-Phenylethanol	13607	23669	16249	16410	19404	22090
	Furfurylalkohol	1015	—	1234	937	740	497
	Essigsäure-Isobutylester	46	57	30	32	56	56
	Essigsäure-Hexylester	5,8	4,5	3,2	4,1	9,6	7,6
	Essigsäure-Heptylester	1,7	3,6	4,8	3,4	3,0	3,4
	Essigsäure-Octylester	2,4	2,8	2,1	2,5	2,7	2,2
	Essigsäure-Furfurylester	3,9	3,3	n.a.	3,2	n.a.	n.a.
	Essigsäure-2-Phenylethylester	459	780	418	490	741	738
	Buttersäure-Ethylester	110	122	92	106	111	107
	Hexansäure-Ethylester	256	292	191	208	215	223
	Octansäure-Ethylester	357	411	306	322	336	372
	Decansäure-Ethylester	48	67	51	64	49	72
	Isovaleriansäure	244	582	341	224	261	442
	Hexansäure	3053	2267	2869	2999	2942	2984
	Octansäure	7969	7639	6405	6491	6708	7441
	Nonansäure	17	13	14	14	14	13
	Decansäure	884	1123	916	1041	797	1217
	Dodecansäure	34	59	81	49	26	36
	a-Terpineol	1,7	1,1	Sp.	Sp.	1,9	2,5
	Linalool	10,6	1,5	5,9	11,9	19,2	16,3
	Nerol	3,3	1,3	5,2	5,2	n.a.	n.a.
	g-Nonalacton	20	15	21	19	16	17
	Alterungsindikatoren (µg/l)	2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2-Methyl-Butanal/f		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal		9,4	n.a.	11,1	7,2	6,6	7,3
3-Methyl-Butanal/f		14,3	8,8	17,2	11,9	9,4	11,8
2-Furfural		Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural/f		29	44	48	35	28	47
5-Methyl-Furfural		4,7	5,3	4,3	4,3	5,4	4,7
5-Methyl-Furfural/f		5,4	6,5	4,3	4,5	5,7	5,9
Benzaldehyd		Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Benzaldehyd/f		Sp.	Sp.	Sp.	0,9	Sp.	Sp.
2-Phenyl-Ethanal		3,9	7,4	5,2	4,3	3,0	4,1
2-Phenyl-Ethanal/f		7,8	7,8	11,4	10,2	7,5	9,7
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester		4,4	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester/f		4,8	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Nicotinsäure-Ethyl-Ester		4,6	2,4	2,8	3,4	5,2	5,8
Nicotinsäure-Ethyl-Ester/f		13,2	11	11,0	11,6	14,7	14,2
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester		0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7
Phenyllessigsäure-Ethyl-Ester/f		0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8
2-Acetyl-Furan		6,8	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Acetyl-Furan/f		n.a.	Sp.	3,1	2,2	Sp.	Sp.
2-Propionyl-Furan		2,6	2,5	2,2	2,1	n.a.	n.a.
2-Propionyl-Furan/f		2,9	2,9	2,5	2,5	3,2	2,8
gamma-Nonalacton		13,1	12	15,1	11,7	14,0	11,7
gamma-Nonalacton/f		14,2	18	21,6	17,2	16,7	14,3
Summe der Wärmeindikatoren		13,1	12	15,1	11,7	14,0	11,7
Summe der Wärmeindikatoren/f		43,7	62	69,4	52,4	45,0	61,2
Summe der Sauerstoffindikatoren		13,3	7,4	16,3	11,5	9,6	11,4
Summe der Sauerstoffindikatoren/f		22,1	17	28,6	23,0	16,9	21,5
Summe der Alterungskomponenten		45,5	28	38,4	30,0	29,7	28,5
Summe der Alterungskomponenten/f		79,7	82	108,7	85,1	71,6	92,2

Tabelle AH 49: Fortsetzung

Analysenmerkmal ↓ Sorte →	1a	1b	3	5	6	7	
Würzearomastoffe PfV (µg/l)	3-me-Butanal	349	328	671	202	246	508
	2-me-Butanal	126	125	320	82	106	188
	Methional	45	40	42	22	23	56
	Benzaldehyd	3,9	5,4	8,1	2,3	4,0	5,6
	2-Phenylethanal	170	162	227	96	155	181
	Σ Streckeraldehyde	695	631	1268	505	534	939
	Pentanal	22,2	15,0	17,5	9,5	15,4	16,5
	2-Pentanon	4,8	4,7	6,3	2,8	5,5	5,6
	Hexanal	146	76	98	43	70	81
	Heptanal	4,4	3,1	2,6	1,2	2,7	2,2
	tr,2-cis,6-Nonadienal	Sp.	0,8	0,5	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Furfural	58	59	93	40	37	87
	2-ac-Furan	2,6	1,4	1,1	0,5	Sp.	Sp.
	g-Nonalacton	3,1	3,1	3,3	1,1	1,9	2,4
	3-me-Butanol	59	68	145	59	71	110
	2-me-Butanol	19	22	45	19	18	56
	1-Pentanol	22	31	26	13	23	21
	1-Hexanol	46	27	30	14	22	24
	1-Octanol	n.a.	1,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	1-Octen-3-ol	8,7	2,2	4,5	2,1	4,5	n.a.
Phenylethanol	83	73	152	72	87	131	
Würzearomastoffe AW (µg/l)	3-me-Butanal	52	32	57	60	109	119
	2-me-Butanal	16	10	21	22	40	37
	Methional	26	11	17	20	16	25
	Benzaldehyd	3,3	1,7	3,1	2,6	2,6	4,0
	2-Phenylethanal	118	82	142	159	148	151
	Σ Streckeraldehyde	215	137	241	264	314	336
	Pentanal	2,8	2,3	4,7	1,4	3,9	3,0
	2-Pentanon	5,9	3,5	4,8	4,6	5,2	5,1
	Hexanal	6,6	2,6	3,9	4,6	13,9	11,9
	Heptanal	0,9	0,9	0,7	0,6	1,2	1,0
	tr,2-cis,6-Nonadienal	Sp.	n. n.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Furfural	97	73	121	124	94	157
	2-ac-Furan	2,1	2,3	2,1	1,2	Sp.	2,5
	g-Nonalacton	2,7	2,2	2,2	1,8	1,6	1,9
	3-me-Butanol	9	3,4	17	23	31	41
	2-me-Butanol	3,4	7,3	5,4	8,4	10,1	12,6
	1-Pentanol	3,5	1,4	2,5	4,8	9,2	9,5
	1-Hexanol	4,2	0,6	2,6	4,4	8,7	8,2
	1-Octanol	n.a.	0,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	1-Octen-3-ol	1,4	1,1	0,2	n.a.	1,2	3,4
Phenylethanol	75	59	138	103	72	121	
Höhere Alkohole (mg/l)	Acetaldehyd	11,2	7,3	8,1	6,4	6,6	8,3
	Propanol-1	10,6	9,9	9,7	9,8	9,7	12,1
	Ethylacetat	24	27	22	23	35	30
	2-Methylpropanol	9	11	8	7	9	11
	3-Methylbutanol	36	37	39	33	36	44
	2-Methylbutanol	9,9	12,0	10,8	9,8	11,8	13,2
	2-Methylpropylacetat	0,1	0,1	n.n	n.n.	0,1	0,1
	Buttersäureethylester	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	3-Methylbutylacetat	2,1	2,4	1,5	1,3	2,6	2,7
	2-Methylbutylacetat	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Hexansäureethylester	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

---

Name: Elmar Spieleder  
Geburtsdatum und -ort: 27. April 1974 in Passau  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: deutsch

## Schulbildung

---

Sept. 1980–Aug. 1984 Grundschule Hals, Passau  
Sept. 1984–Juni 1993 Gymnasium Leopoldinum Passau  
Abschluss mit Allgemeiner Hochschulreife

## Wehrdienst

---

Juli 1993–Juni 1994 Grundwehrdienst in Kirchham/Pocking

## Berufsausbildung und -praxis

---

Sept. 1994–Mai 1996 Ausbildung zum Brauer und Mälzer bei der  
Brauerei Wolfertetter, Georg Huber KG, Vilshofen  
Mai 1996–Okt. 1996 Brauer bei der  
Brauerei Wolfertetter, Georg Huber KG, Vilshofen  
Nov. 1996–Dez. 2002 Studium Brauwesen und Getränketechnologie an der  
Technischen Universität München-Weihenstephan  
Abschluss als Diplom-Ingenieur (Univ.)  
seit Jan. 2002 Wissenschaftlicher Angestellter am  
Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I,  
Technische Universität München-Weihenstephan  
Promotion am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I,  
Technische Universität München-Weihenstephan