

Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie

**Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender
Aromastoffe bei der Herstellung von Weißbier**

Markus Herrmann

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. rer. nat. H.-Chr. Langowski
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. habil. W. Back
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. K.-H. Engel
3. apl. Prof. Dr. rer. nat., Dr.-Ing. habil S. Nitz

Die Dissertation wurde am 18.04.2005 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum
Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am
29.07.2005 angenommen.

Vorwort

Bereits zu Beginn meiner wissenschaftlichen Forschungen zu den Aromastoffen des Weißbieres wurde mir bewusst, dass die Vielschichtigkeit der Aromen und die Vielfältigkeit der angewandten Techniken und Technologien der Weißbierherstellung eine allumfassende Bearbeitung des Themas nicht erlauben würde. Daher kann diese Arbeit auch nur einige Aspekte dieses Themas abdecken.

Die für mich wichtigsten Grundlagen waren die Arbeiten Sachers [1997] und Nitzsches [1992], die mir zum Einen den Einfluss des Rohstoffes Weizenmalz, zum Anderen die Entstehung des phenolischen Aromas im Weißbier verdeutlichten. Auch das von Herrn Prof. Back [1998] angeregte und geleitete, und von Frau Diener und Herrn Dr. Sacher durchgeführte Projekt zu den Aromastoffen des Weißbieres erwies sich als sehr fundierte Informationsquelle. Nach Studium dieser Grundlagen wurde der Schwerpunkt der Arbeit auf die Esterbildung, das hefige Aroma und die Alterung der Weißbiere gelegt. Verschiedene Ansätze mittels Aromaextraktverdünnungsanalyse erwiesen sich als nicht aussagekräftig, um das hefige Aroma von den vorhandenen Bieraromen zu differenzieren. Die Untersuchungen zur Esterbildung konnten auf einige wenige Aspekte reduziert werden, da am Lehrstuhl eine weitere Arbeit zur Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von Hefetechnologie und Gärparametern begonnen wurde. Einige der durchgeführten Untersuchungen, wie die Arbeiten zur Zuckerszusammensetzung der Würze und zur Alterung des Weißbieres, konnten mit Erfolg in die Praxis umgesetzt werden.

Die Resultate dieser Arbeit konnten natürlich nicht durch einen einzelnen Bearbeiter gewonnen werden. An dieser Stelle möchte ich denen, die zum Vollenden dieser Arbeit beitrugen, Dank sagen.

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. Werner Back, der mir dieses interessante Thema anvertraute und mit vielen wertvollen Anregungen ausschlaggebend zum Gelingen dieser Doktorarbeit beitrug. Im Besonderen möchte ich mich für das mir entgegengebrachte Vertrauen bedanken, sei es nun bei der Bearbeitung von Projekten mit der Industrie aber auch bei der Übertragung der verantwortlichen Stelle als Leiter des gaschromatographischen Labors. Besondere Freude bereitete mir die durch Herrn Prof. Back ermöglichte

Zusammenarbeit mit Brewing Research International. Die dort in Kooperation mit Frau Dr. Caroline Walker durchgeführten Untersuchungen zur Folsäurebildung in Hefeweißbieren fanden zwar keinen Eingang in die vorliegende Arbeit, wurden jedoch anderweitig veröffentlicht. Auch Frau Dr. Caroline Walker sei hiermit mein Dank für dieses interessante Projekt ausgesprochen.

Auch dem vorigen Lehrstuhlinhaber, Herrn Prof. Ludwig Narziß sei an dieser Stelle mein Dank für sein Interesse, seine Hilfsbereitschaft und seine wissenschaftlichen Ratschläge gewiss.

Herrn Dr. Martin Krottenthaler, meinem Betreuer, sei für den wissenschaftlichen Beistand und vor allem die kollegiale Zusammenarbeit gedankt.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. Bertram Sacher bedanken, der meine Arbeit in der leider zu kurzen Zeit der Zusammenarbeit deutlich voranbrachte.

Meinem Vorgänger als Leiter des gaschromatographischen Labors Herrn Dr. Oliver Franz gilt mein Dank für die freundschaftliche und belebende Zusammenarbeit.

Frau Michaela Marschmann sei hiermit für Ihre ausnahmslos vorbildliche Arbeit im gaschromatographischen Labor gedankt, wodurch Sie mir die reibungslose Übernahme des Labors überhaupt erst ermöglichte. Auch danke ich Ihr für die stets kollegiale Zusammenarbeit.

Sämtlichen Institutsmitgliedern und Mitdoktoranden danke ich für die Hilfsbereitschaft und Kollegialität. Ohne die freundliche Unterstützung und Übernahme von Analysen von Herrn Dr. Achim Zürcher, Martin Zarnkow, Ralf Mezger, Dr. Stefan Kreis, Klaus Hartmann, Ingrid Bohak, Thomas Schneider, Monika Braasch, Johanna Biechele und anderen wäre diese Arbeit gescheitert. Auch meinen Mitdoktoranden Herrn Mark Schneeberger, Herrn Frithjof Thiele, Frau Martina Schütz, Frau Dr. Christina Schönberger, Herrn Matthias Kessler, Herrn Elmar Spieleder und Herrn Sascha Wunderlich danke ich für die wertvollen Gespräche und die Weitergabe von Aspekten anderer Themengebiete.

Meinen Diplomanden, insbesondere Herrn Fähndrich, Herrn Köhler, Herrn Sittig und Herrn Ruiz, und meinen Semesterarbeitern möchte ich für Ihr Engagement und Interesse ebenfalls Dank aussprechen.

Den Brauereien Private Weissbierbrauerei G. Schneider & Sohn GmbH, Spaten-Franziskaner-Bräu GmbH, Paulaner Brauerei GmbH & Co KG, Augustiner-Bräu Wagner KG, Staatsbrauerei Weihenstephan, der Privatbrauerei Erdinger

Weißbräu Werner Brombach GmbH und anderen sei für Ihr Interesse an meiner Arbeit, Ihrer Versuchsbereitschaft und die Bereitstellung von Proben gedankt.

Meiner Familie und meiner Frau Andrea danke ich für die Unterstützung und die Geduld, die Sie während des langen Weges bis zum Abschluss dieser Arbeit aufbrachten.

Schlussendlich möchte ich noch der Wissenschaftlichen Station München, e. V. und Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft, e. V. meinen Dank für Ihr Interesse und die Förderung meiner Projekte aussprechen.

Vorwort	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
	IV
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Herstellung bayerischer Weizenbiere	5
1.1.1 Esterbildung	5
1.1.2 Bildung phenolischer Substanzen	16
1.1.3 Bildung hefiger Aromakomponenten	20
1.2 Aufgabenstellung	21
2 Material und Methoden	22
2.1 Routineanalysen	22
2.1.1 Chromatographische Analysen	22
2.1.2 Chemisch-technische Analysen	26
2.2 Sensorische Analysen	27
2.2.1 Bestimmung von Schwellenwerten	27
2.2.2 Spezifische Verkostung für Weißbiere	28
2.2.3 Alterungsverkostung nach Eichhorn	28
2.2.4 Dreieckstest	30
2.2.5 Rangordnungsprüfung	30
2.3 Sonderanalysen	30
2.3.1 Aromextraktverdünnungsanalyse	30
2.3.2 Kurzkettige Fettsäuren	31
2.3.3 Maltaseaktivität	33
2.3.4 Phenolcarbonsäuren	35
2.4 Würze- und Bierbereitung	41
2.4.1 Kleinsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I	41
2.4.2 Pilotsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I	43
2.4.3 Bioreaktor	45
2.4.4 Gärung, Lagerung und Abfüllung des Weißbieres	46
2.4.5 Rohstoffe und Materialien	47

3	Ergebnisse und Diskussion	51
3.1	Vorbereitende Untersuchungen	51
3.1.1	Optimierung und Reproduzierbarkeit der Weißbierherstellung an den Versuchsanlagen des Lehrstuhls	51
3.1.1.1	Optimierung und Reproduzierbarkeit der Würzebereitung	51
3.1.1.2	Optimierung und Reproduzierbarkeit der Gärung	52
3.1.2	Verkosterschulung und Reihenuntersuchung	55
3.1.3	Additive und synergistische Effekte der Ester	60
3.2	Einfluss des Rohstoffes „Weizenmalz“ auf Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe	61
3.2.1	Material und Versuchsaufbau der Versuchsreihe „Weizenmalz“	63
3.2.2	Ergebnisse Versuchsreihe „Weizenmalz“	63
3.2.3	Diskussion der Ergebnisse der Versuchsreihe „Weizenmalz“	80
3.3	Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe im Sudhaus	81
3.3.1	Einfluss der Maische und Würzesäuerung	81
3.3.1.1	Material und Versuchsaufbau der Versuchsreihe Maische und Würzesäuerung	82
3.3.1.2	Ergebnisse der sensorischen Analyse	85
3.3.1.3	Auswirkungen der Maische- und Würzesäuerung auf die Aromastoffbildung	90
3.3.1.4	Diskussion der Ergebnisse der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung	93
3.3.2	Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung der Würze	94
3.3.2.1	Material und Versuchsaufbau der Versuchsreihe Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung der Würze	96
3.3.2.1	Entwicklung eines Maischverfahrens zur gezielten Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung	97
3.3.2.2	Diskussion der Ergebnisse zur Beeinflussung des Zuckerspektrums	107

3.3.3	Unterschiede von Dekoktions- und Infusionsverfahren im Hinblick auf die Aromastoffbildung von Weißbieren	108
3.3.3.1	Versuchsaufbau der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren	111
3.3.3.2	Ergebnisse der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren	113
3.3.3.3	Diskussion der Ergebnisse der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren	118
3.4	Beeinflussung der Aromastoffbildung durch unterschiedliche Zuckerszusammensetzungen der Würze während der Gärung	120
3.4.1	Material und Versuchsaufbau der Untersuchungen zum Einfluss des Zuckerspektrums	121
3.4.1	Untersuchungen zum Einfluss des Zuckerspektrums auf die Bildung von Gärungsnebenprodukten	122
3.4.2	Diskussion der Ergebnisse zur Beeinflussung der Aromastoffbildung durch unterschiedliche Zuckerszusammensetzungen der Würze während der Gärung	137
3.5	Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe während der Lagerung	139
3.5.1	Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	139
3.5.1.1	Material und Versuchsaufbau zur Bildung qualitätsbestimmender Aromastoffe während der Flaschen- und Tankreifung	139
3.5.1.2	Ergebnisse zur Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	141
3.5.1.3	Diskussion der Ergebnisse zur Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	153
3.5.2	Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung	154
3.5.2.1	Material und Versuchsaufbau zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung	155
3.5.2.2	Ergebnisse zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung	155
3.5.2.3	Diskussion der Ergebnisse zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung	158

3.6 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Alterung von Weißbieren	160
3.6.1 Forcierte Alterung des Weißbieres	160
3.6.1.1 Material und Versuchsaufbau zur forcierten Alterung des Weißbieres	160
3.6.1.2 Aromaextraktverdünnungsanalyse eines Hefeautolysats	162
3.6.1.3 Versuche zur forcierten Alterung von Weißbieren	163
3.6.1.4 Diskussion der Ergebnisse zur Alterung von Weißbieren	172
3.6.2 Natürliche Alterung von Weißbieren	173
3.6.2.1 Material und Versuchsaufbau zur natürlichen Alterung des Weißbieres	173
3.6.2.2 Ergebnisse zur natürlichen Alterung des Weißbieres	174
3.6.2.3 Diskussion der Ergebnisse zur natürlichen Alterung des Weißbieres	176
3.6.3 Einfluss des Sauerstoffes bei der Alterung von Weißbieren	177
3.6.3.1 Material und Versuchsaufbau der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	178
3.6.3.2 Ergebnisse der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	178
3.6.3.3 Diskussion der Ergebnisse der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	183
4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	184
4.1 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Rohstoffe	184
4.2 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Würzebereitung	185
4.3 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Gärung	186
4.4 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Lagerung	187
4.5 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Alterung von Weissbier	188

Abkürzungsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XV
Abbildungsanhang	190
Tabellenanhang	193
Literaturverzeichnis	320

Abkürzungsverzeichnis

AAT	Alkohol-Acetyltransferase
Abb.	Abbildung
Abmai.	Abmaischen
ATF	Acetyltransferase
CoA	Coenzym A
DAD	Diode Array Detektor
ECD	Electron Capture Detektor
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ELG	Eiweißlösungsgrad
E _s	scheinbarer Extrakt
Est.	Estrige Note
EVG	Endvergärungsgrad
E _w	wahrer Extrakt
DV	Dekoktionsverfahren
FAN	Freier Amino-Stickstoff
FID	Flammenionisationsdetektor
Fruc.	Fructose
IV	Infusionsverfahren
GC	Gaschromatograph
Glu.	Glucose
HDE	Hochdruckeinspritzung
Hef.	Hefige Note
HK	Hochkurzmaisverfahren
HPLC	Hochdruckflüssigkeitschromatographie
IAA	Isoamylacetat/3-Methylbutylacetat
Int.	Intensität
KB	Kochbeginn
KE	Kochende
KM	Kühlmitte
Konz.	Konzentration
KZE	Kurzzeiterhitzung
Lftr.	Lufttrocken
Malt.	Maltose
MS	Maischesäuerung
N	Stickstoff
n. HG	nach Hauptgärung
Pfv	Pfanne-Voll
Phe	Phenolische Note
POF+	Phenolic off flavour positive
Qu.	Qualität
Sacc.	Saccharose
Stw.	Stammwürze
TBZ	Thiobarbitursäurezahl
VZ	Verhältniszahl
Wfr.	Wasserfrei
WS	Würzesäuerung

Abbildungsverzeichnis

	Seite	
Abb. 1.1:	Entwicklung des Weißbieraustoßes in Bayern	1
Abb. 1.2:	Der Einfluss der Weizenpartie auf höhere Alkohole, Ester, vicinale Diketone und sensorische Eigenschaften	8
Abb. 1.3:	Bindung der Ferulasäure im Korn	18
Abb. 1.4:	4- Vinylguaiacolbildung in Abhängigkeit des Hefestammes	20
Abb. 2.1:	Prüfbogen „Spezifische Verkostung für Weißbiere“	29
Abb. 2.2:	Kalibrierung: 3-Methylbuttersäure	32
Abb. 2.3:	Freisetzung von 4-Nitrophenol aus para-Nitrophenol- α -D-Glucose	34
Abb. 2.4:	Phenolcarbonsäuren, 290 nm	40
Abb. 2.5:	Kalibrierung (additiv): Ferulasäure	41
Abb. 3.1:	Temperaturentwicklung beim Einsatz des Kryostaten	53
Abb. 3.2:	Einfluss der Hefelagerzeit	54
Abb. 3.3:	3-Methylbutylacetat und estrige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere	57
Abb. 3.4:	Ethylacetat und estrige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere	58
Abb. 3.5:	4-Vinylguaiacol und phenolische Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere	58
Abb. 3.6:	3-Methylbuttersäure und hefige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere	59
Abb. 3.7:	Ergebnisse der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistischen Effekten der Ester	61
Abb. 3.8:	Läuterdauer in Abhängigkeit der Viskosität der Pfanne-Voll-Würze	64
Abb. 3.9:	Läuterdauer in Abhängigkeit der Viskosität der Kongresswürze	65
Abb. 3.10:	Konzentrationen an 3-Methylbutanol in Abhängigkeit vom Freien Amino-Stickstoffgehalt	67
Abb. 3.11:	Konzentrationen an Ethylacetat der Sorten der Ernte 2002	68
Abb. 3.12:	Konzentrationen an Ethylacetat der Sorten der Ernte 2003	68
Abb. 3.13:	Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2002	69
Abb. 3.14:	Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2003	70
Abb. 3.15:	Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2002	71
Abb. 3.16:	Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2003	71
Abb. 3.17:	Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Freien Amino-Stickstoffgehalt	72
Abb. 3.18:	Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Fructose-, Glucose-, Saccharoseanteil	73
Abb. 3.19:	Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Leucinanteil	74
Abb. 3.20:	Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Isoleucinanteil	75

Abb. 3.21:	Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten der Ernte 2002	76
Abb. 3.22:	Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten der Ernte 2003	77
Abb. 3.23:	Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol in Abhängigkeit vom Ferulasäuregehalt	77
Abb. 3.24:	Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten Tremie III und Tremie IV der Ernte 2003 aus dem Anbaugebiet Juniville	78
Abb. 3.25:	Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten Tremie I und Tremie II der Ernte 2002 aus dem Anbaugebiet Arcis sur Aube	79
Abb. 3.26:	Maischverfahren, Einmaischttemperatur 62 °C	83
Abb. 3.27:	Maischverfahren, Einmaischttemperatur 45 °C	83
Abb. 3.28:	Phenolische Note, Maischesäuerung	87
Abb. 3.29:	Phenolische Note, Würzesäuerung	87
Abb. 3.30:	Estrige Note, Maischesäuerung	88
Abb. 3.31:	Estrige Note, Würzesäuerung	89
Abb. 3.32:	Konzentration des 3-Methylbutylacetats bei der Maischesäuerung	90
Abb. 3.33:	Konzentration des 3-Methylbutylacetats bei der Würzesäuerung	91
Abb. 3.34:	Summe aus 2-Methylpropanol, 2- und 3-Methylbutanol bei der Versuchsreihe Maischesäuerung	92
Abb. 3.35:	Summe aus 2-Methylpropanol, 2- und 3-Methylbutanol bei der Versuchsreihe Würzesäuerung	93
Abb. 3.36:	Maischdiagramm	99
Abb. 3.37:	Glucose- und Maltosekonzentrationen während des „Maltasemaischverfahrens“	100
Abb. 3.38:	Vergleich Hoch-Kurz-Maischverfahren/Maltaseverfahren	101
Abb. 3.39:	Konzentrationen der Streckeraldehyde und des 2-Fufurals im Vergleich zwischen Hoch-Kurz- und Maltase- Maischverfahren	102
Abb. 3.40:	Steigerung der Isoamylacetatkonzentration in % bezogen auf die Steigerung der Glucosekonzentration in % [Maltaseverfahren bez. auf Hochkurzmaisverfahren, n = 6]	105
Abb. 3.41:	Maischdiagramm für Dekoktions- und Infusionsverfahren (VR1)	111
Abb. 3.42:	Streckeraldehyde (gesamt), VR1-3	114
Abb. 3.43:	Würzearomastoffe, Pfanne-Voll, VR1	114
Abb. 3.44:	Würzearomastoffe, Ausschlagwürze, VR1	115
Abb. 3.45:	Bieraromastoffe, VR1	116
Abb. 3.46:	Höhere Alkohole und leichtflüchtige Ester, VR1	116
Abb. 3.47:	Höhere Alkohole und leichtflüchtige Ester, VR2	117
Abb. 3.48:	2-Methylbutanolbildung während der Hauptgärung (Stamm 68) in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung der Würze	123
Abb. 3.49:	Diacetylkonzentration in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung der Würze (Stamm 34)	123

Abb. 3.50:	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 34)	124
Abb. 3.51:	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 68)	125
Abb. 3.52:	Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Saccharose-/Maltosezusammensetzung (Stamm 68)	126
Abb. 3.53:	Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Fructose-/Maltosezusammensetzung (Stamm 68)	126
Abb. 3.54:	Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 73.2% Maltose (Stamm 68)	127
Abb. 3.55	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 68) bei 12 %-igen Modelllösungen	128
Abb. 3.56	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 34) bei 12 %-igen Modelllösungen	128
Abb. 3.57	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 252) bei 12 %-igen Modelllösungen	129
Abb. 3.58	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 1. Führung	129
Abb. 3.59	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 2. Führung	130
Abb. 3.60	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 3. Führung	130
Abb. 3.61	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 4. Führung	131
Abb. 3.62	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 1. Führung	131
Abb. 3.63	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 2. Führung	132
Abb. 3.64	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 3. Führung	132

Abb. 3.65	Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 4. Führung	133
Abb. 3.66:	Gärungsnebenprodukte bei $E_S = 4 \%$ (Bioreaktor)	135
Abb. 3.67:	Konzentrationen verschiedener Gärungsnebenprodukte bei $E_S = 4 \%$	136
Abb. 3.68:	Schematische Darstellung zur Verschiebung des Diauxischen Punktes durch Veränderung der Glucose-Konzentration	137
Abb. 3.69:	Scheinbarer Vergärungsgrad von Bieren der Versuchsreihe ohne Speisegabe mit unterschiedlichen Lagertemperaturen am Ende der Lagerung	141
Abb. 3.70:	Scheinbarer Vergärungsgrad von Bieren beider Versuchsreihen im Vergleich	142
Abb. 3.71:	Verlauf des Diacetylabbau während der Lagerung bei den Bieren der Versuchsreihe ohne Speisegabe	143
Abb. 3.72:	Gesamtgehalt an höheren Alkoholen bei den Bieren der Versuchsreihe mit Speisegabe	144
Abb. 3.73:	Auswirkungen der Tankreifungsbedingungen auf die 3-Methylbutylkonzentration	145
Abb. 3.74:	Vergleich der tank- und flaschengereiften Biere	146
Abb. 3.75:	Auswirkungen der Tankreifungsbedingungen auf die Ethylacetatkonzentration	147
Abb. 3.76:	Ethylacetatkonzentrationen bei den flaschengereiften Bieren	147
Abb. 3.77:	Gesamttestergehalt bei Versuchsreihe 1 (ohne Speisegabe)	148
Abb. 3.78:	Gesamttestergehalt bei Versuchsreihe 2 (mit Speisegabe)	149
Abb. 3.79:	4-Vinylguaiacolgehalte beider Versuchsreihen	150
Abb. 3.80	4-Vinylguaiacolgehalte beider Versuchsreihen	151
Abb. 3.81:	Esterbildung bei isothermer Nachreifung	158
Abb. 3.82	Aromagramm der aciden Fraktion eines Hefeautolysats	162
Abb. 3.83:	Verlust der estrigen Note	165
Abb. 3.84:	Abbau des 4-Vinylguaiacols während der forcierten Alterung	166
Abb. 3.85:	Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 1 (geschädigte Hefe)	167
Abb. 3.86:	Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 1 (nicht geschädigte Hefe)	168
Abb. 3.87:	Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 3-11 nach 4 Tagen forciertes Alterung	169
Abb. 3.88:	Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 3-11 nach 7 Tagen forciertes Alterung	170
Abb. 3.89:	Lagerung einer obergärigen Hefesuspension (Stamm 68) bei 20 °C	171
Abb. 3.90:	Lagerung einer untergärigen Hefesuspension (Stamm 34) bei 0 °C	172
Abb. 3.91:	Abbau des 4-Vinylguaiacols bei natürlicher Lagerung	174

Abb. 3.92:	Abbau des 3-Methylbutylacetats bei natürlicher Lagerung	175
Abb. 3.93:	Sauerstoffindikatoren 1-4 im frischen Bier, nach 4 und 7 Warmtagen	180
Abb. 3.94:	3-Methylbuttersäure der Versuche 1-4 im frischen Bier, nach 4 und 7 Warmtagen	181
Abb. 3.95:	Sensorische Beurteilung der Biere einer Brauerei vor und nach Einführung der HDE bei natürlicher Lagerung [Betriebsdaten 2003]	182
Abb. A1:	Kalibrierung: Propionsäure	190
Abb. A2:	Kalibrierung: Buttersäure	190
Abb. A3:	Kalibrierung: Isobuttersäure	190
Abb. A4:	Kalibrierung: Valeriansäure	191
Abb. A5:	Kalibrierung: Hexansäure	191
Abb. A6:	Kalibrierung: Gallusäure	191
Abb. A7:	Kalibrierung: Cumarsäure	192
Abb. A8:	Kalibrierung: Syringasäure	192
Abb. A9:	Kalibrierung: Sinapinsäure	192

Tabellenverzeichnis:

	Seite	
Tab. 1.1:	Aromastoffe in Weißbieren	2
Tab. 1.2:	Aromastoffe in Lagerbieren	3
Tab. 1.3:	Variation der Herstellungsverfahren bei der Herstellung bayerischer Weizenbiere	4
Tab. 1.4:	Verteilung der Ferulasäure im Gerstenkorn	17
Tab. 2.1:	Variationskoeffizient der Würzearomastoffe	23
Tab. 2.2:	Variationskoeffizient der Bieraromastoffe	23
Tab. 2.3:	Variationskoeffizient der Alterungskomponenten	24
Tab. 2.4:	Variationskoeffizient der vicinaler Diketone	25
Tab. 2.5:	Variationskoeffizient der Bestimmung der höheren Alkohole und Ester	25
Tab. 2.6:	Variationskoeffizient der 4-Vinylguaiacolbestimmung	26
Tab. 2.7:	Malzanalysen	26
Tab. 2.8:	Würzeanalysen	27
Tab. 2.9:	Bieranalysen	27
Tab. 2.10:	Intensität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note	28
Tab. 2.11:	Qualität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note	28
Tab. 2.12:	Alterungsskale nach Eichhorn	29
Tab. 2.13:	Variationskoeffizienten der Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren	34
Tab. 2.14:	Brauwasserqualität der Lehr- und Versuchsbrauerei Weihenstephan	48
Tab. 2.15:	Malzanalysen	48
Tab. 3.1:	Würzeanalysen der Sude zur Wiederholbarkeit im Kleinsudwerk	51
Tab. 3.2:	Würzeanalysen der Sude zur Wiederholbarkeit im Pilotsudwerk	52
Tab. 3.3:	Beschreibende Prüfung für 4-Vinylguaiacol und 3-Methylbutylacetat	55
Tab. 3.4:	Unterschiedsschwellenwerte verschiedener Substanzen	56
Tab. 3.5:	Ergebnisse der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistischen Effekten der Ester	60
Tab. 3.6:	Versuchsaufbau Maischesäuerung	84
Tab. 3.7:	Versuchsaufbau Würzesäuerung	84
Tab. 3.8:	Verkostungsergebnisse der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung	85
Tab. 3.9:	Ethylacetat- und Acetaldehydkonzentrationen bei der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung	91
Tab. 3.10:	Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung durch die Einmischtemperatur [Weinfurtner 1965]	95
Tab. 3.11:	Zuckerzusammensetzung verschiedener Malze	96
Tab. 3.12:	Zuckerkonzentrationen bei Variation der Mischtemperatur bezogen auf 12 % StW.	98
Tab. 3.13:	Ergebnisse der Versuche „Maltasemaischverfahren“ gegen Hochkurzmaisverfahren“	103
Tab. 3.14:	Relative Steigerung der Isoamylacetatkonzentration bzw. der Glucosekonzentration	104

Tab. 3.15:	Ergebnisse der Versuche „Maltasemaischverfahren gegen Maischverfahren mit intensiver Eiweißrast“	106
Tab. 3.16:	Maltaseaktivitäten verschiedener Malze	107
Tab. 3.17:	Trübungsstabilität der Biere (Durchschnitt aus je einer Doppelbestimmung)	118
Tab. 3.18:	Schaumstabilität der Biere (Durchschnitt aus je einer Doppelbestimmung)	118
Tab. 3.19:	Einfluss der Hefevitalität auf die Nachgärung (Hefestamm 68)	151
Tab. 3.20:	Einfluss der Hefevitalität auf die Nachgärung (Hefestamm 252)	152
Tab. 3.21:	Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung im frischen Zustand	156
Tab. 3.22:	Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach 4 Tagen forcierter Alterung	156
Tab. 3.23:	Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach fünf monatiger Lagerung	157
Tab. 3.24:	Dreieckstest des Bieres mit 20 ° C isothermer Reifung gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach fünf monatiger Lagerung	157
Tab. 3.25:	Verkostungsergebnisse der Reihe 1 (nicht geschädigte Hefe)	163
Tab. 3.26:	Verkostungsergebnisse der Reihe 2 (geschädigte Hefe)	164
Tab. 3.27:	Zusammenhang zwischen Sensorik und den mittel- und kurzkettigen Fettsäuren bei Reihe 2	167
Tab. 3.28:	Pearson-Korrelationen zwischen der 3-Methylbuttersäurekonzentration und der hefigen Note	176
Tab. 3.29:	Sensorische Beurteilung der Alterung	179
Tab. T1:	Höhere Alkohole und Ester bei den Versuchen zur Hefelagerzeit	193
Tab. T2:	Höhere Alkohole und Ester bei den Versuchen zur Hefelagerzeit	193
Tab. T3:	Verkostungsergebnisse der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere (Intensitäten der estrigen, phenolischen und hefigen Note gemittelt)	194
Tab. T4:	Bieraromastoffe nach Thum der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere	195
Tab. T5:	Ergebnisse der Wiederholung der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistischen Effekten der Ester	195
Tab. T6:	Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	196
Tab. T7:	Malzanalysen (2)	197
Tab. T8:	Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	198
Tab. T9:	Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	199
Tab. T10:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	200
Tab. T11:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	201
Tab. T12:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	202
Tab. T13:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	203
Tab. T14:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	204
Tab. T15:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	205
Tab. T16:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	206
Tab. T17:	Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)	207
Tab. T18:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	208
Tab. T19:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	209
Tab. T20:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	210

Tab. T21:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	211
Tab. T22:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	212
Tab. T23:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	213
Tab. T24:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	214
Tab. T25:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)	215
Tab. T26:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (9)	216
Tab. T27:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	217
Tab. T28:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	218
Tab. T29:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	219
Tab. T30:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	220
Tab. T31:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	221
Tab. T32:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	222
Tab. T33:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	223
Tab. T34:	Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)	224
Tab. T35:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	225
Tab. T36:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	226
Tab. T37:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	227
Tab. T38:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	228
Tab. T39:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	229
Tab. T40:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	230
Tab. T41:	Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	231
Tab. T42:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	232
Tab. T43:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	233
Tab. T44:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	234
Tab. T45:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	235
Tab. T46:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	236
Tab. T47:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	237
Tab. T48:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	238
Tab. T49:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (9)	239
Tab. T50:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (10)	240
Tab. T51:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (11)	241
Tab. T52:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (12)	242
Tab. T53:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (13)	243
Tab. T54:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (14)	244
Tab. T55:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (15)	245
Tab. T56:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (16)	246
Tab. T57:	Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (17)	247
Tab. T58:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)	248
Tab. T59:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)	249
Tab. T60:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)	250
Tab. T61:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)	251
Tab. T62:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)	252

Tab. T63:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)	253
Tab. T64:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)	254
Tab. T65:	Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)	255
Tab. T66:	Verkostungsergebnisse MS1-MS6 und WS1-WS6 (Durchschnitt aus 7 Verkostern)	256
Tab. T67:	Verkostungsergebnisse MS1-MS6 und WS1-WS6 (Durchschnitt aus 7 Verkostern)	256
Tab. T68:	Analysenergebnisse MS1	257
Tab. T69:	Analysenergebnisse MS2	258
Tab. T70:	Analysenergebnisse MS3	259
Tab. T71:	Analysenergebnisse MS4	260
Tab. T72:	Analysenergebnisse MS5	261
Tab. T73:	Analysenergebnisse MS6	262
Tab. T74:	Analysenergebnisse WS1	263
Tab. T75:	Analysenergebnisse WS2	264
Tab. T76:	Analysenergebnisse WS3	265
Tab. T77:	Analysenergebnisse WS4	266
Tab. T78:	Analysenergebnisse WS5	267
Tab. T79:	Analysenergebnisse WS6	268
Tab. T80:	Höhere aliphatische Alkohole und leichtflüchtige Ester der Versuche MS1- MS6 am Ende der Hauptgärung	269
Tab. T81:	Höhere aliphatische Alkohole und leichtflüchtige Ester der Versuche WS1- WS6 am Ende der Hauptgärung	269
Tab. T82:	Bieraromastoffe der Versuche MS1- MS6 am Ende der Hauptgärung	270
Tab. T83:	Bieraromastoffe der Versuche WS1- WS6 am Ende der Hauptgärung	271
Tab. T84:	Glucosekonzentrationen verschiedener Malze	272
Tab. T85:	Fructosekonzentrationen verschiedener Malze	272
Tab. T86:	Maltosekonzentrationen verschiedener Malze	273
Tab. T87	FAN und β -Glucan in den Vergleichsuden des Malatase- verfahrens	273
Tab. T88:	Würzearomastoffe der Vergleichsude des Maltaseverfahrens zum Zeitpunkt „Kühlmitte“	274
Tab. T89:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe 1 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	275
Tab. T90:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe 2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	276
Tab. T91:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe 3, (1) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	277
Tab. T92:	Würzearomastoffe, Versuchsreihe 3, (2) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	278
Tab. T93:	Bieraromastoffe, Versuchsreihe 1, Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	279
Tab. T94:	Bieraromastoffe, Versuchsreihe 2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	280
Tab. T95:	Bieraromastoffe, Versuchsreihe 3 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	281
Tab. T96:	Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 1 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	282

Tab. T97:	Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	283
Tab. T98:	Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 3 (1) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	284
Tab. T99:	Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 3 (2) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	285
Tab. T100:	Zuckerbestimmung, Maischende (78°C) und Vorde rwürze (Durchschnittsprobe), VR1 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	286
Tab. T101:	Zuckerbestimmung, Maischende (78°C) und Vord erwürze (Durchschnittsprobe), VR2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren	286
Tab. T102:	Zusammensetzung der Difco Yeast Nitrogen Base	287
Tab. T103:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden	287
Tab. T104:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden	288
Tab. T105:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden	288
Tab. T106:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden	289
Tab. T107:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 120 Stunden	289
Tab. T108:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden	290
Tab. T109:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden	290
Tab. T110:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden	291
Tab. T111:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden	291
Tab. T112:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden	292
Tab. T113:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden	292
Tab. T114:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden	293
Tab. T115:	Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden	293
Tab. T116:	Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 24 Stunden	294
Tab. T117:	Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 48 Stunden	294
Tab. T118:	Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 72 Stunden	295

Tab. T119:	Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 96 Stunden	295
Tab. T120:	Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 68, nach 96 Stunden	296
Tab. T121:	Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 34, nach 96 Stunden	296
Tab. T122:	Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 252, nach 96 Stunden	296
Tab. T123:	Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Brauereihefe A, nach 96 Stunden, 1. – 4. Führung	296
Tab. T124:	Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Brauereihefe B, nach 96 Stunden, 1. – 4. Führung	296
Tab. T125:	Höhere Alkohole und Ester im Bioreaktor bei $E_S = 4\%$	297
Tab. T126:	Höhere Alkohole und Ester im Bioreaktor, Reaktorbedingungen und Vergleichsgärung	297
Tab. T127:	Chemisch-technische Analysen der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	298
Tab. T128:	pH-Werte der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	299
Tab. T129:	Vicinale Diketone der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	299
Tab. T130:	Höhere Alkohole und Ester der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	300
Tab. T131:	4-Vinylguaiacol der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	302
Tab. T132:	Verkostungsergebnisse der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	302
Tab. T133:	Chemisch-technische Analysen der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	303
Tab. T134:	pH-Werte der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	305
Tab. T135:	Vicinale Diketone der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	305
Tab. T136:	Höhere Alkohole und Ester der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	306
Tab. T137:	4-Vinylguaiacol der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung	309
Tab. T137:	Verkostungsergebnisse	309
Tab. T138:	Höhere Alkohole und Ester der Versuche zur isothermen Flaschengärung	310
Tab. T139:	Diacetylwerte der Versuche zur isothermen Flaschengärung	310
Tab. T140:	Höhere Alkohole und Ester, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren	310
Tab. T141:	Höhere Alkohole und Ester, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren	310
Tab. T142:	Alterungsindikatoren, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren	311
Tab. T143:	Alterungsindikatoren, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren	311
Tab. T144:	Bieraromastoffe, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren	312

Tab. T145:	Bieraromastoffe, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren	312
Tab. T146:	Kurzkettige Fettsäuren, Reihe 1+2, forcierte Alterung von Weißbieren	313
Tab. T147:	Verkostung, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren	313
Tab. T148:	Kurzkettige Fettsäuren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren	313
Tab. T149:	Bieraromastoffe, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung	314
Tab. T150:	Bieraromastoffe, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung	314
Tab. T151:	Alterungsindikatoren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung	315
Tab. T152:	Alterungsindikatoren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung	315
Tab. T153:	Höhere Alkohole und Ester, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung	315
Tab. T154:	Höhere Alkohole und Ester, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung	316
Tab. T155:	Verkostungsergebnisse, Bier 1, natürliche Alterung von Weißbieren	316
Tab. T156:	Verkostungsergebnisse, Bier 2, natürliche Alterung von Weißbieren	316
Tab. T157:	Verkostungsergebnisse, Bier 3, natürliche Alterung von Weißbieren	316
Tab. T158:	Verkostungsergebnisse, Bier 4, natürliche Alterung von Weißbieren	317
Tab. T159:	Aromastoffe, Bier 1, natürliche Alterung von Weißbieren	317
Tab. T160:	Aromastoffe, Bier 2, natürliche Alterung von Weißbieren	317
Tab. T161:	Aromastoffe, Bier 3, natürliche Alterung von Weißbieren	317
Tab. T162:	Aromastoffe, Bier 4, natürliche Alterung von Weißbieren	318
Tab. T163:	Höhere Alkohole und Ester, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	318
Tab. T164:	Bieraromastoffe, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	319
Tab. T165:	Alterungsindikatoren, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren	320

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Weißbiere erfreuen sich seit Jahren steigender Beliebtheit (siehe Abb. 1), auch wenn in letzter Zeit eine Stagnation des Absatzes in Bayern einsetzte.

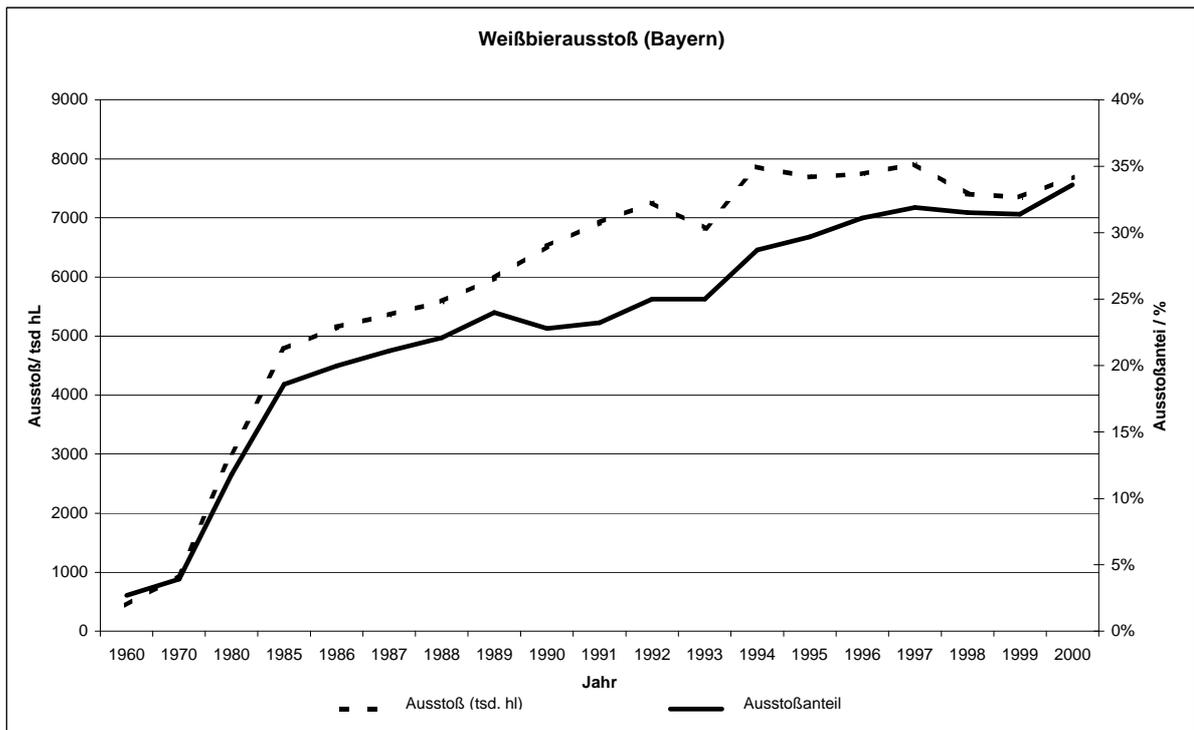


Abb. 1.1: Entwicklung des Weißbierausstoßes in Bayern [Bayerischer Brauerbund 2004]

Dennoch erfährt die Sorte „Weißbier“ auf nationaler Ebene noch Zugewinne [Deutscher Brauerbund 2004], im internationalen Markt zeigt die Lancierung neuer Weißbiermarken, beispielsweise durch Carlsberg/Dänemark oder Baltika/Russland, das wachsende Interesse an dieser Biersorte.

Ein Grund für dieses zunehmende Interesse können die vielfältigen Aromen der Weißbiere sein. Back [1998] unterteilt Weißbiere aufgrund ihres dominierenden Aromas in 4 Hauptgruppen, den estrigen, den phenolischen, den neutralen und

den hefigen Typ. Vielfach weisen Weißbiere aber auch typisch „malzige“ Komponenten auf. Tabelle 1 zeigt typische Konzentrationen relevanter Aromastoffe der Weißbiere im Vergleich zu untergärigen Lagerbieren (siehe Tabelle 2) auf.

Tab. 1.1: Aromastoffe in Weißbieren [Back 2004]

Bieraromastoffe / Höhere Alkohole		Konzentrationsbereich [Weißbier]	Durchschnittswert [Weißbier]
Propanol-1	mg/l	15 - 30	21
2-Methyl-propanol-1	mg/l	20 - 60	40
2-Methyl-butanol-1	mg/l	15 - 30	18
3-Methyl-butanol-1	mg/l	40 - 100	61
Hexanol-1	µg/l	15 - 50	27
Heptanol-1	µg/l	10 - 50	32
Octanol-1	µg/l	10 - 40	15
Decanol-1	µg/l	5 - 20	7,5
2-Phenylethanol	mg/l	15 - 45	31
Essigsäure-Ethylester	mg/l	10 - 50	29
Essigsäure-Isobutylester	mg/l	0,05 - 0,8	0,25
Essigsäure-Isopentylester	mg/l	0,5 - 8	3,6
Essigsäure-Hexylester	µg/l	3 - 15	6,5
Essigsäure-Heptylester	µg/l	2 - 10	9,4
Essigsäure-Octylester	µg/l	1,5 - 5	2,6
Essigsäure-Furfurylester	µg/l	3 - 20	8,4
Essigsäure-2-Phenyl-Ethylester	mg/l	0,2 - 2	1,0
Buttersäure-Ethylester	mg/l	0,05 - 0,2	0,18
Hexansäure-Ethylester	mg/l	0,05 - 0,3	0,14
Octansäure-Ethylester	mg/l	0,1 - 0,4	0,21
Decansäure-Ethylester	mg/l	0,01 - 0,05	0,01
Dodecansäure-Ethylester	µg/l	1 - 5	2,4
Isovaleriansäure	mg/l	0,2 - 1	0,35
Hexansäure	mg/l	1 - 4	1,7
Octansäure	mg/l	2 - 10	3,9
Nonansäure	mg/l	0,01 - 0,05	0,01
Decansäure	mg/l	0,1 - 2	0,65
9-Decansäure	mg/l	0,05 - 0,3	0,2
Dodecansäure	mg/l	0,01 - 0,1	0,04
gamma-Nonalacton	µg/l	20 - 50	36
4-Vinylguajakol	mg/l	0,5 - 3,5	2,0

Weißbiere sind also im Vergleich zu untergärigen Bieren stets stärker mit Aromastoffen ausgestattet. Die entscheidenden Aromastoffe sind hierbei 4-Vinylguaiacol für das phenolische Aroma und Isoamylacetat und Ethylacetat für den estrigen Typus [Schieberle 1991]. Im Bereich der hefigen Noten sind vor allem mittelkettige Fettsäuren als Träger eines negativen Aromas zu nennen [Clapperton 1978a, Clapperton 1978b].

Tab. 1.2: Aromastoffe in Lagerbieren [Back 2004]

Bieraromastoffe / Höhere Alkohole		Konz.bereich/helles Weißbier	Durchschnitt/helles Weißbier
Propanol-1	mg/l	15 - 30	21
2-Methyl-propanol-1	mg/l	20 - 60	40
2-Methyl-butanol-1	mg/l	15 - 30	18
3-Methyl-butanol-1	mg/l	40 - 100	61
Hexanol-1	µg/l	15 - 50	27
Heptanol-1	µg/l	10 - 50	32
Octanol-1	µg/l	10 - 40	15
Decanol-1	µg/l	5 - 20	7,5
2-Phenylethanol	mg/l	15 - 45	31
Essigsäure-Ethylester	mg/l	10 - 50	29
Essigsäure-Isobutylester	mg/l	0,05 - 0,8	0,25
Essigsäure-Isopentylester	mg/l	0,5 - 8	3,6
Essigsäure-Hexylester	µg/l	3 - 15	6,5
Essigsäure-Heptylester	µg/l	2 - 10	9,4
Essigsäure-Octylester	µg/l	1,5 - 5	2,6
Essigsäure-Furfurylester	µg/l	3 - 20	8,4
Essigsäure-2-Phenyl-Ethylester	mg/l	0,2 - 2	1,0
Buttersäure-Ethylester	mg/l	0,05 - 0,2	0,18
Hexansäure-Ethylester	mg/l	0,05 - 0,3	0,14
Octansäure-Ethylester	mg/l	0,1 - 0,4	0,21
Decansäure-Ethylester	mg/l	0,01 - 0,05	0,01
Dodecansäure-Ethylester	µg/l	1 - 5	2,4
Isovaleriansäure	mg/l	0,2 - 1	0,35
Hexansäure	mg/l	1 - 4	1,7
Octansäure	mg/l	2 - 10	3,9
Nonansäure	mg/l	0,01 - 0,05	0,01
Decansäure	mg/l	0,1 - 2	0,65
9-Decansäure	mg/l	0,05 - 0,3	0,2
Dodecansäure	mg/l	0,01 - 0,1	0,04
gamma-Nonalacton	µg/l	20 - 50	36
4-Vinylguaiakol	mg/l	0,5 - 4,0	2,0

Diese großen Unterschiede in der Aromausstattung und die größere Schwankungsbreite der Konzentrationsbereiche bei Weißbieren im Vergleich zu untergärigen Lagerbieren erlaubt die noch heute bestehende vielfältige Bierlandschaft bei Weißbieren – mehr als 1000 Brauereien sind mit ihrer eigenen Marke auf dem Markt vertreten [Deutscher Brauerbund 2004]. Der Grund hierfür ist in den vielfältigen Herstellungsverfahren, die bei Weißbieren zur Anwendung kommen, begründet. Tabelle 3 gibt einen Überblick zur Variation der Verfahren, allerdings muss hierbei bedacht werden, dass die Zahlen Absolutwerte ohne Einbeziehung der Ausstoßmenge sind. Gerade die ausstoßstärksten Brauereien setzen auf zylindronische Gär- und Lagertanks und stellen somit einen Großteil des hergestellten Weißbieres dar.

Tab. 1.3: Variation der Herstellungsverfahren bei der Herstellung bayerischer Weizenbiere

Einflußgröße:	Bereich / Verteilung
Schüttungsanteil (Weizen)	50 - 100%
Malzlösung (Kolbachzahl)	35 - 43%
Einmaischtemperatur	30 - 57°C
Intensität der Eiweißrast	45 - 58°C, 10- 26 min
Intensität der Maltoserast	59 - 69°C, 10- 120 min
Infusion/Dekoktion	60 % aller befragten Brauereien: Infusion, Rest: Dekoktion
Maischesäuerung	bei 18% aller befragten Brauereien
Trüblauf der Vorderwürze	bei 23% aller befragten Brauereien kein blankes Abläutern
Kochzeit	50 - 210 min
Kühltrubabtrennung	25% aller befragten Brauereien trennen Kühltrub nicht ab
Gärgefäß	bei 25% aller befragten Brauereien: Bottich
	bei 19% aller befragten Brauereien: liegender Tank
	bei 25% aller befragten Brauereien: stehender Tank
	bei 31% aller befragten Brauereien: ZKG
Gärtemperatur	18 - 25,5°C
Gärdauer	2 - 7,5 Tage
Speisegabe	bei 42% aller befragten Brauereien als Ausschlagwürze
	bei 8% aller befragten Brauereien als Vorderwürze
	bei 23% aller befragten Brauereien als untergärige Kräusen
	bei 7% aller befragten Brauereien Gemisch aus OG/UG Kräusen
Flaschen - Tankreifung	bei 75% aller befragten Brauereien in der Flasche
	bei 25% aller befragten Brauereien im Tank
Warmlagerungsphase	16 - 22°C, 3 - 7 Tage
Kaltlagerungsphase	4 - 10°C, 6 - 18 Tage
Hefegabe zur Nachreifung	bei 40% aller befragten Brauereien: keine Hefe
	bei 7% aller befragten Brauereien: OG-Hefe
	bei 25% aller befragten Brauereien: UG-Hefe
	bei 7% aller befragten Brauereien: Gemisch
KZE	47% aller befragten Brauereien: mit KZE
	53% aller befragten Brauereien: ohne KZE

Der Variation der Rohstoffauswahl sind jedoch Grenzen gesetzt. Zur Herstellung obergäriger Biere sind gemäss des vorläufigen Biergesetzes Malze aus allen Getreidearten mit Ausnahme von Reis, Mais und Dari zulässig, während für untergärige Biere bekanntlich nur Gerstenmalz verwendet werden darf. Bei der Herstellung von obergärigen Bieren darf zusätzlich technisch reiner Rohr-, Rüben- oder Invertzucker sowie Stärke- und aus Zucker der bezeichneten Art hergestellte Farbstoffe, bei obergärigen Einfachbieren nach Maßgabe der Zusatzstoff-Zulassungsverordnung in der jeweils geltenden Fassung Süßstoff verwendet werden [Bundesrepublik Deutschland „Vorläufiges Biergesetz“ 1993]. Für „Weißbiere“ ist die Verwendung von Weizenmalz statthaft, der Anteil an der Schüttung sollte mindestens 50 % betragen [Narziß 1995a].

1.1 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe

Das Bieraroma entsteht durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Flavourkomponenten wie Alkoholen, Estern, Carbonylverbindungen, organischen Säuren, phenolischen Substanzen und Schwefelverbindungen.

1.1.1 Esterbildung

Die Ester sind dabei von besonderem Interesse. Ihre sensorischen Schwellenwerte liegen sehr niedrig, sie sind schon in sehr geringen Mengen aromatisch zu charakterisieren.

Bis heute wurden über 90 verschiedene Ester im Bier identifiziert [Stewart 1999], von denen 6 eine entscheidende Rolle für das Bieraroma spielen:

- Ethylacetat (lösungsmittelartiges Aroma)
- Isoamylacetat (bananenartiges Aroma)
- Isobutylacetat (ananasartiges Aroma)
- Phenylethylacetat (rosenartiges Aroma)
- Ethylcaproat = Ethylhexanoat (apfelartiges Aroma)
- Ethylcaprylat = Ethyloctanoat (apfelartiges Aroma)

In den meisten untergärigen Vollbieren liegt der Gesamtestergehalt im Bereich von 15-30 mg/l [Geiger 1977a], gelegentlich bei bis zu 60 mg/l. Daran weist Ethylacetat mit durchschnittlich 19 mg/l (8-48 mg/l) den größten Anteil auf, Isoamylacetat liegt im Durchschnitt in Konzentrationen von 1,9 mg/l (0,5–6,6 mg/l) vor [Renger 1992; White 1979], alle anderen Ester sind in Mengen von weniger als

1 mg/l vorhanden. Bei obergärigen Bieren werden Konzentrationen von bis zu 70 mg/l erreicht [Geiger 1977a; Narziß 1995a; Nykaenen 1977; Narziß 1983].

Der Estergehalt im Bier ist zum einen von den verwendeten Rohstoffen, zum anderen von zahlreichen technologischen Faktoren abhängig, bzw. durch sie beeinflussbar. Diese sind im Einzelnen:

- Würzezusammensetzung (in Abhängigkeit von den verwendeten Rohstoffen und der Sudhausarbeit) – Zuckerspektrum, Lipide, Aminosäuren, Vitamine, Trubgehalt, anorganische Verbindungen, Dichte, pH-Wert
- Hefeeigenschaften – Hefestamm, physiologischer Zustand, Hefezellzahl
- Gärungsbedingungen – Würzebelüftung, Anstelltechnik, Gärverfahren, Temperaturführung, CO₂-Druck, Behältergeometrie, Hefezellzahl und Hefevermehrung

Über die Beeinflussung der Esterbildung durch diese Parameter bzw. deren Variation sind weltweit zahlreiche Publikationen erschienen. Dabei sind die Autoren bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Esterbildung von der Temperaturführung während der Gärung und der Hefezellzahl bzw. Hefevermehrung zu teilweise widersprüchlichen Ergebnissen gekommen.

Mechanismen der Esterbildung

Die Esterbildung im Bier erfolgt größtenteils während der Hauptgärung, und zwar überwiegend nach Abschluss der Hefevermehrung, wenn sich die Hefezellzahl in der stationären Phase befindet [Engan 1974, Barker 1992, Anderson 1974, Pajunen 1977, Thurston 1981, Lie 1973].

Es gibt grundsätzlich 2 Wege, die zur Esterbildung führen.

Chemische Esterbildung

Die chemische Esterbildung beruht auf einer Kondensreaktion einer organischen Säure und eines Alkohols unter Abspaltung von Wasser.

Dieser Mechanismus spielt bei der Gärung nur eine geringe Rolle, da die Reaktion während der Gärung nur in geringem Maße abläuft und erst nach einer Lagerzeit von mehr als 12 Wochen in nennenswertem Umfang erfolgt [Engan 1974, Narziß 1983].

Intrazelluläre Esterbildung nach Nordström

Ester werden in der Hefezelle aus Ethanol bzw. höheren Alkoholen (Isoamylalkohol, Isobutanol, Phenylethanol) und verschiedenen Formen von Acyl-CoA synthetisiert. Dieser Prozess ist ein energieverbrauchender Vorgang (ATP-abhängig). Dabei entstehen 2 Klassen von Estern [Mason 2000]:

Ist an der Reaktion Acetyl-CoA, welches entweder aus einer oxidativen Decarboxylierung von Pyruvat oder durch eine direkte Aktivierung von Acetat und anschließende Bindung an das Coenzym A resultiert, beteiligt, so entstehen die Acetatester. Diese Gruppe stellt die mengenmäßig überwiegenden Ester im Bier dar.

Sind längerkettige Acylreste von organischen Säuren aus dem Fettsäurestoffwechsel an das Coenzym A gebunden, so resultieren daraus die Fettsäureester. Diese Gruppe besteht hauptsächlich aus kurzkettigen C6-C10 Fettsäure-Ethylestern.

An den Esterbildungsreaktionen sind Enzyme der Alkohol-Acyltransferase-Gruppe (AAT) beteiligt. Die Hintergründe dieser Enzymaktivitäten sind bis heute unklar [Mason 2000]. Es wird vermutet, dass diese Enzyme an sehr unterschiedlichen Stoffwechselreaktionen, wie die Regulation des Fettsäurehaushaltes und Entgiftungsreaktionen, beteiligt sind.

Inzwischen wurden in verschiedenen Hefestämmen 3 verschiedene AATase-Gene identifiziert und geklont (ATF1 bzw. LgATF1 und ATF2) [Mason 2000].

Rohstoff Weizenmalz

Der Einfluss der Weizenpartie auf die Esterbildung ist eher gering [Sacher 1997]. Vielmehr stehen hierbei die Mälzungstechnologie und die daraus resultierende Lösung oder andere Faktoren im Vordergrund (s. Abb. 2), die natürlich wiederum durch ein entsprechendes Maischverfahren ausgeglichen werden können.

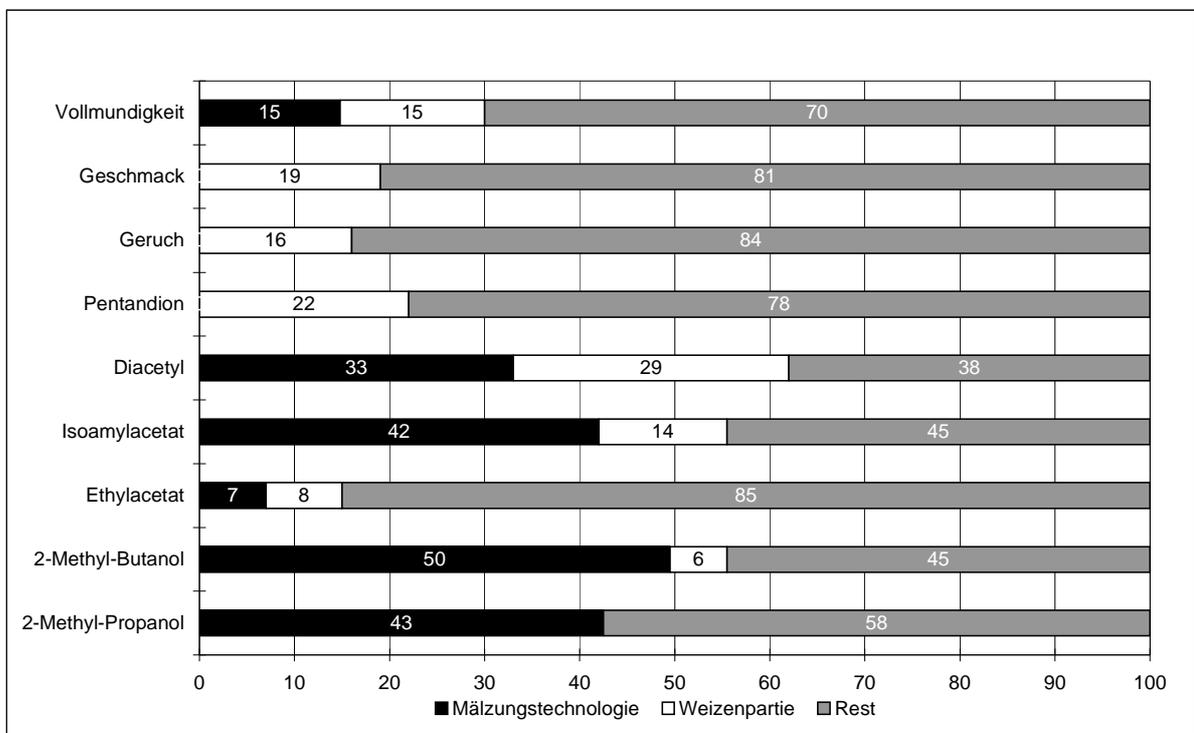


Abb. 1.2: Der Einfluss der Weizenpartie auf höhere Alkohole, Ester, vicinale Diketone und sensorische Eigenschaften [Sacher 1997]

Würzezusammensetzung

Die Zuckerzusammensetzung der Würze hat eindeutig einen Einfluss auf die Esterbildung. Je höher der Maltoseanteil am Gesamtzuckergehalt ist, desto geringer fällt die Esterbildung aus [Stewart 1999, Shindo 1999]. Des Weiteren resultieren aus zunehmenden Konzentrationen an Glucose und Fructose höhere

Estergehalte [White 1979]. Durch Pajunen [1977] wurde festgestellt, dass auch höhere Saccharosegehalte zu vermehrter Esterbildung führen. Weiter beobachtete Pajunen [1977] sinkende Estergehalte bei der Verwendung von Rohfrucht zur Bierbereitung und begründete dies auch in der Veränderung der Zuckerzusammensetzung. Allerdings werden bei der Rohfruchtverwendung oft technische Enzyme zugesetzt. Welche Zucker entstehen, ist dann natürlich von der Art der Enzyme bzw. Zusammensetzung der Enzymmischung abhängig.

Laut einigen Berichten [Van Gheluwe 1975, Landaud 2001, Quilter 2003] enthalten Biere mit großen Mengen an höheren Alkoholen auch größere Mengen an Estern. Da die Bildung der höheren Alkohole mit der Aminosäureausstattung der Würze zusammenhängt, wird geschlossen, dass hohe Aminosäuregehalte zu entsprechend hohen Gehalten an Estern führen. Miedaner [1980] fand jedoch erhöhte Estergehalte bei Werten oberhalb und unterhalb von 19-20 mg FAN/l. Da Weißbierwürzen in der Praxis selten Gehalte über 20 mg FAN/l aufweisen, sind daher mit erhöhter proteolytischer Lösung geringere Estergehalte zu erwarten [Back 1998].

Auch der Gehalt an Fettsäuren, besonders an ungesättigten, übt einen deutlichen Einfluß aus [Devreux 1975]. Aus höheren natürlichen Gehalten oder künstlich zugegebenen ungesättigten Fettsäuren resultieren niedrige Estergehalte im Bier [Engan 1974, Bamforth 2001, Thurston 1981, Narziß 1995a, Shindo 1999, Moonjai 2002]. Anderson und Kirsop [1974] liefern hierfür folgende Erklärung: Erhöhte Konzentrationen an ungesättigten Fettsäuren stimulieren vermutlich die Glycerinsynthese. Durch steigende Glyceringehalte wird wiederum die Synthese von Triacylglyceriden angeregt, an welcher das Acyl-CoA beteiligt ist. Somit steht weniger Acyl-CoA für die Estersynthese zur Verfügung. Eine andere aktuelle Veröffentlichung beschreibt eine Inhibierung der AATase-Gene durch die Fettsäuren [Mason 2000]. Nach Engan [1974] treten allerdings wieder hohe Mengen an Estern auf, wenn bestimmte Konzentrationen an Fettsäuren überschritten werden. In diesem Zusammenhang verweist Narziß [1995a] auf die Verwendung einer möglichst gut geklärten Würze.

Auch Metallionen beeinflussen die Estersynthese. Seaton [1990] beschreibt, dass aus zinkreichen Würzen Biere mit höheren Estergehalten hervorgehen als aus

zinkarmen Würzen. Laut Quilter [2003] steigt mit zunehmendem Zinkgehalt besonders die Isoamylacetatkonzentration. Weiter führt hiernach die Anwesenheit erhöhter Mengen an Metallen wie Magnesium, Eisen, Mangan und Kupfer zu einer geringeren Esterbildung, da diese toxisch auf die Hefe wirken. Entfernt man diese Metalle komplett durch eine Komplexierung mittels EDTA-Zugabe zu der Würze, produziert die Hefe wieder mehr Ester. Dem widerspricht eine andere Veröffentlichung [Helin 1977], die über synergistische Effekte von Mangan in Kombination mit Zink berichtet.

Über eine Abhängigkeit der Estersynthese von dem Verlauf der Ethanolbildung sowie der Ethanolkonzentration im Jungbier wird ebenfalls berichtet [Suomalainen 1981, Nakatani 1991, Quilter 2003].

Würzekonzentration

Alle angestellten Untersuchungen ergaben, dass mit steigendem Stammwürzegehalt die Esterkonzentration zunimmt [Stewart 1999, Engan 1974, Palmer 1974, Anderson 1974, Wackerbauer 1980, Pajunen 1977, Bamforth 2001, Narziß 1995b, Maekinen 1980, Kunze 1994]. Dabei berichten einige Autoren über eine lineare Steigerung mit zunehmender Würzekonzentration, die meisten jedoch über eine überproportionale Zunahme des Estergehaltes mit höherem Stammwürzegehalt. Back [1998] schlug in diesem Zusammenhang die Nutzung dieses Phänomens zur Produktion esterreicher Weißbiere vor.

Für die höheren Mengen an gebildeten Estern lassen sich mehrere Gründe finden:

- es stehen bei hohen Würzekonzentrationen wesentlich mehr Substrate für die enzymatischen Reaktionen zur Verfügung,
- mit zunehmendem Stammwürzegehalt verlängert sich bei ansonsten gleichen Bedingungen die Gärdauer,
- durch hohe Zuckerkonzentrationen wird die Hefevermehrung und damit der Baustoffwechsel der Hefe gebremst, es steht mehr Acyl-CoA für die Estersynthese zur Verfügung.

Würzebelüftung

Die Belüftungsrate der Würze ist von entscheidender Bedeutung für das Hefewachstum und beeinflusst die Esterbildung.

Die meisten Autoren berichten über fallende Estergehalte mit zunehmender Belüftung [Engan 1974, Anderson 1975, Palmer 1974, Wackerbauer 1980, Pajunen 1977, Bamforth 2001, Narziß 1995b, Verstrepen 2003, Maekinen 1980, Kunze 1994, Schoendorfer 1981]. Laut mehreren Untersuchungen [Anderson 1974, Palmer 1974, Narziß 1995b, Anderson 1975, Narziß 1983] führt wiederholtes Belüften während der ersten 2 Tage der Gärung zu noch niedrigeren Esterkonzentrationen. Diesen Effekt stellte Anderson [1975] auch bei hohen Hefegaben fest.

Eine Erklärung für abnehmende Estergehalte mit steigender Würzebelüftung liefert Bamforth [2001]: gesteigerte Sauerstoffgehalte fördern das Hefewachstum, was wiederum einer gesteigerten Synthese von ungesättigten Fettsäuren und Sterolen für den Membranbau neuer Zellmasse bedarf. Das hierfür benötigte Acyl-CoA steht dann nicht mehr für die Estersynthese zur Verfügung. Eine andere plausible Hypothese geht davon aus, dass Sauerstoff AATase-codierende Gene (ATF1 und ATF2) hemmt und dadurch weniger estersynthetisierende Enzyme gebildet werden [Verstrepen 2003]. Auch wenn im Jungbier dann hohe Hefezellzahlen vorliegen, fällt aufgrund des hohen Anteils an jungen, enzymarmen Hefezellen die Esterbildung gering aus.

Allerdings berichten auch einige Veröffentlichungen über zunehmende und gleich bleibende [Wackerbauer 1980] Esterbildungen mit steigender Belüftung, eine Hefestammabhängigkeit ist daher nicht auszuschließen.

Geiger [1977a, 1977b] stellte fest, dass bei Bruchhefe mit zunehmender Belüftung eine Abnahme der Ester zu beobachten ist. Bei Staubhefe führte eine „normale“ Belüftung von 8-9 mg O₂/l zu den niedrigsten Werten, Unter- und Überbelüftung rief jedoch höhere Estergehalte hervor.

Aus Untersuchungen einer Hefe von Barker [1992] resultierten aus gesteigerter Belüftung erst abnehmende Gehalte an Ethylacetat, welche bei weiter gesteigerter

Belüftung aber wieder anstiegen. Weiter fiel auf, dass sich die Bildung jedes einzelnen Esters mit zunehmender Belüftung anders verhielt.

Hefezellzahl

Hohe Hefezellzahlen beim Anstellen führen zu gesteigerten Esterkonzentrationen im Bier [Lie 1973, Geiger 1977b, Barker 1992], da aus hohen Hefezellzahlen beim Anstellen eine geringere Hefevermehrung resultiert [Narziß 1995a]. Dies bedeutet einen gebremsten Baustoffwechsel der Hefe, wodurch dann längere Zeit und in größerem Maße Acyl-CoA für die Bildung von Estern zur Verfügung steht.

Draufflassen

Die Technik des Draufflassens führt zu einer verminderten Esterbildung [Wackerbauer 1980, Schoendorfer 1982, Narziß 1995b].

Temperaturführung

Die meisten Autoren berichten, dass im allgemeinen mit steigender Gärtemperatur höhere Estergehalte erzielt werden [Landaud 2001, Engan 1974, Gaeng 1976, Engan 1977, Barker 1992, Geiger 1977a, Bamforth 2001, Narziß 1995b, Moonjai 2002, Norstedt 1975]. Lediglich Kunze [1992] berichtete über niedrigere Estergehalte mit höheren Temperaturen, revidierte die Aussage jedoch in einer späteren Auflage [Kunze 1998]. Jedoch zeigte Gaeng [1976], dass die Konzentrationen der einzelnen Ester durch zunehmende Temperaturen äußerst unterschiedlich ansteigen. So wies beim Vergleich zweier Gärreihen bei 7 °C und 15 °C die wärmere Gärung 50 % höhere Gehalte an Ethylacetat auf als die kalte, die Gehalte von Isoamylacetat und Ethylcaproat hingegen blieben fast unverändert. Des Weiteren wurde in zahlreichen Untersuchungen festgestellt, dass die Zunahme jedes einzelnen Esters in bestimmten Temperaturintervallen anders ausfällt [Engan 1977, Wackerbauer 1980, Moonjai 2002]. In Versuchen

von Geiger [1977b] bildete eine Bruchhefe bei 10 °C die maximale Esterkonzentration, welche mit steigender oder fallender Temperatur wieder deutlich geringer ausfielen. Es ist somit festzustellen, dass die Esterbildung unter besonderen Umständen mit erhöhter Temperatur auch geringer ausfallen kann.

CO₂-Druck

Erhöhter Druck wirkt bekanntlich einer übermäßigen Bildung von Gärungsnebenprodukten und somit auch von Estern entgegen [Landaud 2001, Zufall 2000, Pajunen 1977, Thurston 1981, Narziß 1995a]. Daher kommen Druckgärungen besonders beim High-Gravity-Brewing oder bei Warmgärverfahren zum Einsatz.

Laut Untersuchungen an Druckgärungen von Landaud [2001] werden Ester bei diesen nicht nur in geringerem Maße, sondern auch erst wesentlich später im Gärverlauf gebildet.

Durch erhöhten CO₂-Druck im Kopfraum eines Gärtanks wird mehr CO₂ im Jungbier gelöst. Diese erhöhten Mengen an gelöstem Kohlendioxid verändern die Membranpermeabilität der Hefezellen, wodurch die Stoffwechselaktivität beeinflusst wird. In besonderem Maße wird der Baustoffwechsel beeinträchtigt, der Energiestoffwechsel nur gering [Zufall 2000, Thurston 1981]. Die Baustoffwechselhemmung beruht vermutlich auf einer Limitierung der Acetyl-CoA-Produktion infolge einer Veränderung der Acetaldehyd-Dehydrogenase- und Acetyl-CoA-Synthetase-Aktivität durch das CO₂ [Landaud 2001, Zufall 2000, Shanta 1995].

In diesem Zusammenhang wurde eindeutig bewiesen, dass der Acetyl-CoA-Gehalt in den Hefezellen bei einer Druckgärung reduziert ist [Shanta 1995].

Hefestamm

Die Wahl des Hefestammes hat einen gravierenden Einfluss auf den Estergehalt des Bieres [Engan 1974, Narziß 1983, Suomalainen, Pajunen 1977, Geiger 1977a, Narziß 1995b, Lie 1973, Moonjai 2002, Verstrepen 2003, Haukeli 1979, Maekinen 1980]. Bei der Bildung der Acetatester treten bei den verschiedenen Heferassen zum Teil drastische Unterschiede auf, während diese bei den Konzentrationen an gebildeten Fettsäureestern nur gering ausfallen [Narziß 1983].

Laut Narziß [1983] ist das Esterbildungsvermögen eines Hefestammes stark von der Würzezusammensetzung abhängig. Bildet ein Stamm bei der Vergärung einer Würze hohe Estermengen, muss dieses bei der Vergärung einer anderen Würze nicht zwangsläufig auch der Fall sein.

Die hohen Estergehalte in obergärigen Bieren erklärt Narziß [1995a] sowohl durch ein größeres Bildungsvermögen der obergärigen Hefestämme selbst, als auch durch eine höhere Vermehrungsrate und stärker ausgeprägten Metabolismus infolge der höheren Gärtemperaturen. Untersuchungen von Nykaenen [1977] und Maekinen, V. [1980] bestätigen dies.

Hefeführung

Auch die Hefeführung hat einen Einfluss auf die Konzentration der gebildeten Ester. Laut Zufall [2000] nimmt die Menge der gebildeten Ester mit der Anzahl der Führungen einer Hefe ab. Hier wurde allerdings nur das Verhalten eines Hefestammes in einer Würze untersucht. Umfassendere Untersuchungen von Narziß [1983] kamen zu folgendem Ergebnis: Die Konzentration der gebildeten Ester schwankt von Führung zu Führung je nach Hefestamm und Würzezusammensetzung mehr oder weniger stark. Auch hinsichtlich der einzelnen gebildeten Ester treten Differenzen auf. Eine Vorhersagbarkeit ist aufgrund der Komplexität nicht möglich.

Behältergeometrie

Die Form und Größe der Gärbehälter üben einen Einfluss auf die Esterbildung aus [Devreux 1975, Narziß 1995b, Back 1998]. So resultieren aus unterschiedlichen Verhältnissen von Höhe zu Durchmesser andere Konvektionsverhältnisse. Bei großen Tankhöhen liegen im Jungbier aufgrund des hydrostatischen Drucks unterschiedliche CO₂-Gehalte vor. Hier sinken die Estergehalte mit zunehmender Tankhöhe [Verstrepen 2003]. Außerdem ist die Hefe in großen Tanks ungleichmäßig verteilt [Nielsen 1990].

Spezielle Gärverfahren

Aus Forschungen an kontinuierlichen Gärungen resultieren verschiedene Erkenntnisse über die Esterbildung [Pajunen 1977, Shindo 1999, Kramarz 1992]. Diese Differenzen beruhen vermutlich auf den stark variierenden Versuchsbedingungen, wie Temperatur, Verweilzeit bzw. Fließgeschwindigkeit, Alter und Art der Immobilisierung der Hefe u.s.w..

Bei Untersuchungen an Rührgärungen wurde in den meisten Fällen von einer Erhöhung des Gesamtestergehaltes berichtet [Anderson 1974, Pajunen 1977, Moonjai 2002, Devreux 1975, Kunze 1994]. Dabei steigt der Estergehalt allerdings nur gering und in keinem Fall so stark wie die höheren Alkohole. Nach Anderson [1974] ist hier eine deutliche Abhängigkeit vom Hefestamm und der Würzedichte bzw. –Zusammensetzung vorhanden. Bei der Betrachtung einzelner Ester, besonders Isoamylacetat, ist unter Umständen bei einer Rührgärung sogar ein Rückgang der Bildung zu beobachten [Anderson 1974, Narziß 1995b]. Auch über deutlich niedrigere Konzentrationen wird berichtet [1977].

Insgesamt ist zu sagen, dass jeder technologische Parameter die Esterbildung mehr oder weniger stark beeinflusst. Der stärkste Einfluss geht dabei von der Temperaturführung, dem Stammwürzegehalt und dem Hefestamm aus. Weiter kommt es bei der Variation von 2 oder mehr Faktoren zu Interaktionen. Eine entsprechende Veröffentlichung [Sendra 1994] berichtet über die deutlichsten Veränderungen bei der kombinierten Variation von Hefestamm und

Gärtemperatur, pH-Wert und Gärtemperatur, Hefezellzahl und Rührgärung, Belüftungsrate und Hefestamm.

Widersprüchliche Aussagen über die Veränderung der Esterbildung sind besonders in älteren Veröffentlichungen zu finden. Sie beruhen zum Teil darauf, dass nur das Verhalten eines Hefestammes in einer Würze, ohne komplexe Variation der Versuchsbedingungen, beobachtet wurde, für den die gefundenen Ergebnisse auch richtig sein können, aber nicht allgemein anwendbar sind. Weitere Differenzen bzw. Missverständnisse können darauf beruhen, dass in einigen Veröffentlichungen der Gesamtestergehalt, in anderen aber nur einzelne Ester betrachtet wurden.

Teilweise wurde für die Würzebelüftung und Temperaturführung auch ein unterschiedliches Verhalten der Hefestämme bei bestimmten Belüftungsraten bzw. Temperaturintervallen aufgezeigt. Daraus können gegenläufige Aussagen resultieren, wenn versucht wird, den Sachverhalt allgemein darzustellen.

Schließlich treten weitere Differenzen auf, da einige Veröffentlichungen über den Verlauf der Esterbildung während der Hauptgärung, andere dagegen über den Verlauf bis zum Ende der Reifung berichten.

1.1.2 Bildung phenolischer Substanzen

Wichtigster Vertreter der phenolischen Aromakomponenten ist vor allem das 4-Vinylguaiacol und das 4-Vinylphenol. Diese Aromastoffe werden primär durch enzymatische Decarboxylation aus ihren Vorläufern – der Ferulasäure im Falle des 4-Vinylguaiacols – gebildet, eine geringe Bildung kann im Brauprozess durch thermische Decarboxylation hervorgerufen werden [Krämer 1982, Hecht 1983]. Weitere phenolische Aromakomponenten sind unter anderem Vanillin und Eugenol, die einen positiven Aromaeindruck hervorrufen, während Phenol, Kresol und, im weiteren Sinne, Chlorphenole sensorisch als unangenehm eingestuft werden [Leupold 1981].

Vorkommen der Phenolcarbonsäuren

Phenolcarbonsäuren, wie die Ferulasäure, die Vanillinsäure, die Sinapinsäure, die Zimtsäure, die o-, m- oder p-Cumarsäure, die Kaffeesäure, Protocatechussäure, Gallussäure oder Gentsinsäure, sind Pflanzeninhaltsstoffe und dienen beispielsweise als Ausgangsprodukte für Flavanoide. Eine gute Übersicht zur Entstehung, Vorkommen und Bedeutung gibt Nitzsche [1992] in seiner Dissertation. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse zur Ferulasäureverteilung im Gerstenkorn.

Tab. 1.4: Verteilung der Ferulasäure im Gerstenkorn [Nordkvist 1984]

Fraktion [% Abrieb]	Protein [% TrS.]	Stärke [% TrS.]	Zellwände [% TrS.]	Vanillin- Säure [% TrS.]	p-Cumar- säure [% TrS.]	Ferulasäure [% TrS.]
0-1,1	3,0	1,7	85,1	0,01	0,30	0,49
1,2-7,1	6,9	2,4	75,8	0,01	0,17	0,45
7,2-11,1	13,6	9,5	55,8	0,01	0,12	0,48
11,2-16,9	17,0	16,1	44,5	0,02	0,05	0,45
17,0-24,6	17,4	37,2	24,4	Sp.	0,01	0,28
24,7-33,6	15,6	57,3	14,2	Sp.	0,01	0,10
33,7-54,2	12,8	70,0	10,1	Sp.	Sp.	0,08
54,3-100	8,2	80,5	7,1	Sp.	Sp.	0,02

Hierbei entspricht die 1. Fraktion den Spelzen, die Fraktionen 3-5 der Aleuronschicht. Die Ferulasäure ist also in den äußeren Schichten des Kornes zu finden.

Ferulasäure liegt im Korn jedoch nicht frei vor, sondern ist an Arabinoxylan gebunden. Abb. 1.3 stellt diese Bindung dar.

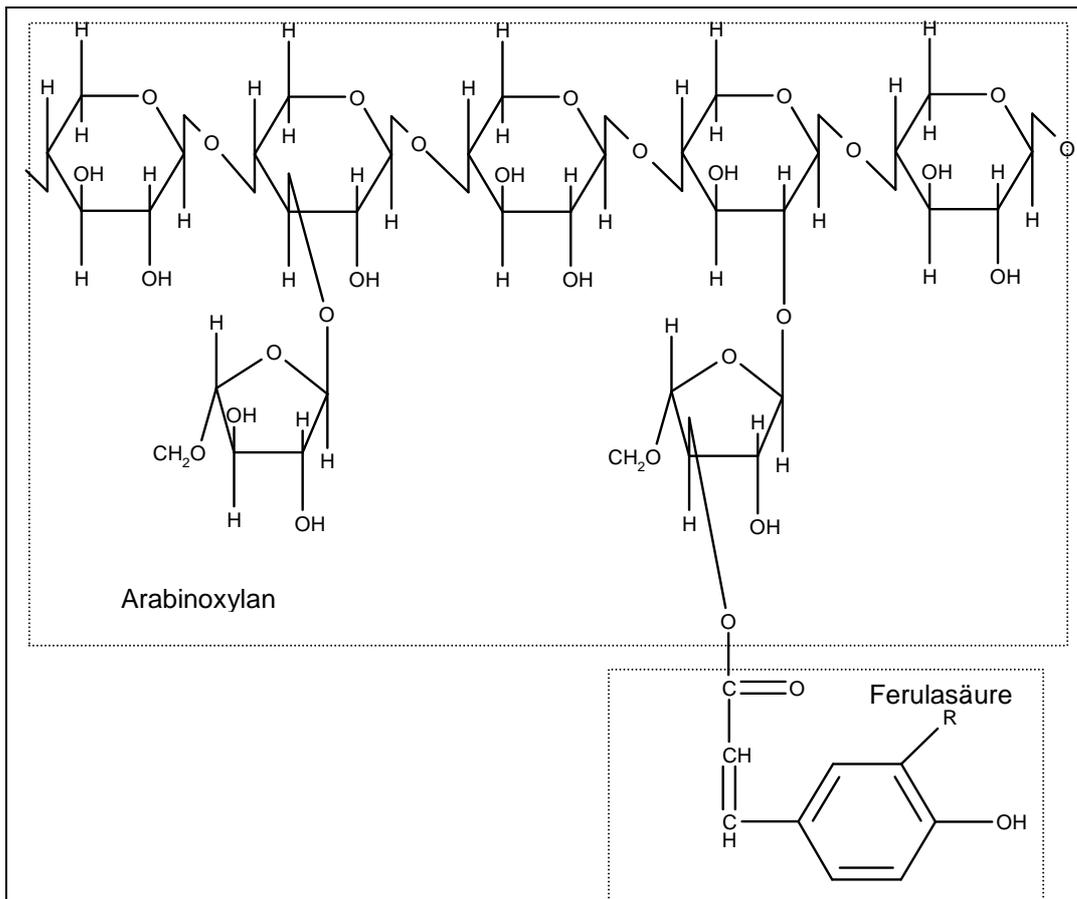


Abb. 1.3: Bindung der Ferulasäure im Korn [Pomeranz 1989]

Die an Arabinoxylan gebundene Ferulasäure kann über eine Kondensationsreaktion mit weiteren Pentosanen oder mit Proteinen quervernetzen und führt somit zu einer Stabilisierung der Zellwände [Pomeranz 1989]. Die im ersten Fall entstehenden Diphenolcarbonsäuren erschweren die biologische Abbaubarkeit [Eraso 1990].

Ferulasäure und 4-Vinylguaiacol

Die Umsetzung der Ferulasäure zum 4-Vinylguaiacol erfolgt, wie eingangs erwähnt, primär durch enzymatische Decarboxylierung, jedoch sind nicht alle Kulturhefen dazu fähig. Da phenolische Komponenten in untergärigen Bieren als „Off-Flavour“ angesehen werden, wird diese Fähigkeit in der englischsprachigen Literatur als „Phenolic off flavour positive“, kurz „POF+“, bezeichnet. In Untersuchungen von 95 Hefen, waren in etwa die Hälfte aller Hefen POF+,

darunter auch die untersuchten obergärigen Kulturhefen, jedoch verfügte keine untergärige Kulturhefe über diese Eigenschaft [Wackerbauer 1977, Chatonnet 1989]. Hefen können nur freie, ungebundene Ferulasäure decarboxylieren, jedoch vermutet Coghe [2004], dass sie über eine eigene Ferulasäurehydrolase verfügen könnten.

Beeinflussung des freien Ferulasäuregehaltes: Rohstoff Malz

Nitzsche [1992] findet sowohl eine Sorten- als auch eine Anbaugbietsabhängigkeit der Ferulasäureausstattung bei Gerstenmalzen. Des Weiteren bestätigt er McCallums [1990] Aussage, dass Weizenmalze geringere Gehalte an Phenolcarbonsäuren und an Ferulasäure im Vergleich zu Gerstenmalzen aufweisen. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Gerstenmalzen (niedrigster Gehalt bei 60-minütiger 45 °C Rast: 5,9 mg/l) und Weizenmalzen (höchster Gehalt bei 60-minütiger 45 °C Rast: 5,4 mg/l) relativ gering [Nitzsche 1992], eine statistische Aussage ist bei nur 2 verglichenen Weizenmalzen ebenfalls nicht gegeben.

Beeinflussung des freien Ferulasäuregehaltes: Mälzen und Darren

Erhöhte Keimdauer, niedrige Keimtemperaturen und sehr hohe Keimgutfeuchten führen zu erhöhten Gehalten an freier Ferulasäure in der Maische, wenn die 45 °C Rast eingehalten wird. Da die Freisetzung der Ferulasäure beim Maischen ein enzymatischer Prozess ist, senken hohe Abdarrtemperaturen die Ferulasäurehydrolaseaktivität und somit die Freisetzung beim Maischen [Nitzsche 1992].

Beeinflussung des freien Ferulasäuregehaltes: Maischen

Der wohl ausschlaggebendste Faktor für den Gehalt an freier Ferulasäure in der Maische und somit des 4-Vinylguaiacols im Weißbier ist die Maischarbeit: Das

Optimum der Ferulasäurehydrolase liegt bei 43-45,5 °C und einem pH-Wert von 5,9 bis 6,1 [Nitzsche 1992]. Diese Werte wurden durch McMurrough [1996] bestätigt. Die Dauer der 45 °C Rast definiert – in Abhängigkeit von dem eingesetzten Hefestamm – den 4-Vinylguaiacolgehalt des Bieres.

Beeinflussung des freien Ferulasäuregehaltes: Gärung und Lagerung

Ausschlaggebender Faktor bei der Umsetzung der freien Ferulasäure zu 4-Vinylguaiacol ist der Hefestamm. Abb. 4 zeigt den Einfluss des Stammes auf die 4-Vinylguaiacolbildung.

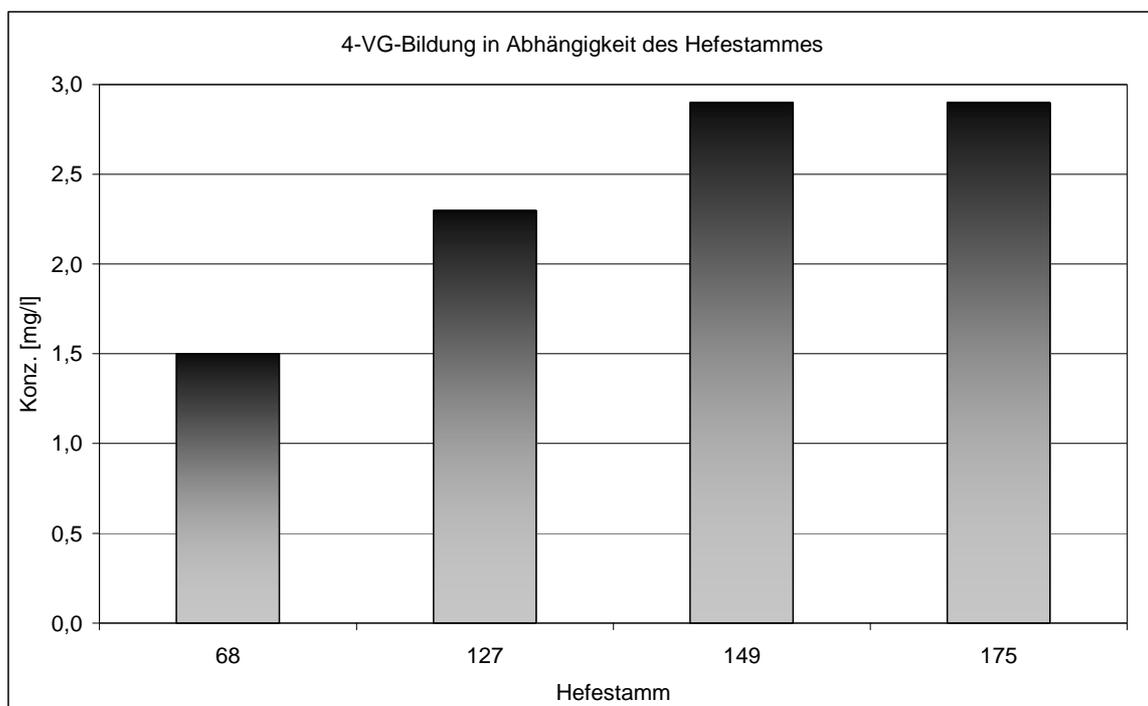


Abb. 1.4: 4- Vinylguaiacolbildung in Abhängigkeit des Hefestammes [Narziß 1983b]

Im Gegensatz zur Esterbildung wird die Bildung des 4-Vinylguaiacols durch z.B. die Behältergeometrie nur gering beeinflusst [Nitzsche 1992, Back 1998].

1.1.3 Bildung hefiger Aromakomponenten

Die sensorisch wahrgenommene „hefige Note“, oder auch der hefige Charakter [Back 1998], ist analytisch kaum zu fassen. Das Problem hierbei ist, die Aromastoffe der „Hefebblume“ von den Gärungsnebenprodukten, wie den sehr aromaintensiven Estern, zu unterscheiden. Lediglich hinsichtlich der Alterung der Hefe, also eines negativen hefigen Aromas, wurden Untersuchungen angestrengt. Aromastoffe des Hefeautolysegeschmacks in untergärigen Bieren sind zum einen para-Oxophenyllessigsäure [Narziß 1995a] und Fettsäuren wie Octansäure und Decansäure, die einen „ranzigen“ Geschmack hervorrufen („caprylic flavour“) [Clapperton 1978a, Clapperton 1978b]. Des Weiteren identifizierte Schieberle [1991] Hexansäure, Buttersäure und 2- und 3-Methylbuttersäure als Hauptträger eines „ranzigen“ Geschmackes in ober- und untergärigen Bieren.

1.2 Aufgabenstellung

Die Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Herstellung bayerischer Weizenbiere in ihrer Gesamtheit zu betrachten ist aufgrund der Vielzahl der technologischen Einflussfaktoren, Technologien, Auswahlmöglichkeiten an Rohstoffen und Herstellungsverfahren schwierig. Diese Arbeit soll vielmehr den, wie unter Kapitel 1.1. kurz zusammengefassten, Kenntnisstand erweitern. So ist es beispielsweise bei der kombinierten Anwendung von zylindrokonischen Gärtanks und Lagertanks schwierig, esterreiche Weißbiere herzustellen. Der Großteil solcher Biere und somit auch der Großteil des Weißbierausstoßes ist somit eher dem phenolischen oder neutralen Typ zuzuordnen. Des Weiteren sind sowohl der hefige Typ Weizenbier, als auch die Alterung von Weißbieren bislang analytisch kaum erfasst worden. Hinsichtlich der Bildung von 4-Vinylguaiacol scheint lediglich der Einfluss der Rohstoffe weiterer Forschung zu bedürfen. Weitere Aufgabenstellungen ergaben sich im Laufe der Arbeit aus Anfragen der Brauereien an den Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I.

2 Material und Methoden

Im folgenden sind die zur Anfertigung dieser Dissertation verwendeten Analysenmethoden und Materialien aufgeführt.

2.1 Routineanalysen

Hierbei handelt es sich um am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I etablierte Analysenmethoden. Sie werden durch Ringanalysen oder interne Qualitätssicherung hinsichtlich ihrer Richtigkeit regelmäßig überprüft. Die im weiteren angegebenen Variationskoeffizienten, sofern vorhanden, sollen einen Hinweis auf die Aussagekraft und Genauigkeit der jeweiligen Analyse geben. Der Variationskoeffizient ermittelt sich aus dem Quotienten der Standardabweichung zu den Mittelwerten:

$$\text{Variationskoeffizient} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}}$$

Die für die gaschromatographischen Analysen angegebenen Variationskoeffizienten entstammen je einer zehnfach Bestimmung.

2.1.1 Chromatographische Analysen

Bestimmung von Würzearomastoffen (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung der Würzearomastoffe wird gemäß hausinternen Vorschriften durchgeführt. Zur Probenaufbereitung wird eine Wasserdampfdestillation ausgeführt, die Bestimmung erfolgt via GC-FID.

Tab. 2.1: Variationskoeffizient der Würzearomastoffe

Substanz/Substanzgruppe		Variationskoeffizient [%]
3-me-Butanal	(A,W)	1,71
2-me-Butanal	(A,W)	1,32
Methional	(A)	8,08
Benzaldehyd	(A)	4,57
2-Phenylethanal	(A,W)	6,47
Σ Streckeraldehyde		3,43
Pentanal	(A)	8,17
2-Pentanon	(A)	8,76
Hexanal	(A)	3,82
Heptanal	(A)	3,44
2-Furfural	(T)	6,27
γ-Nonalacton	(A,W)	6,24
3-me-Butanol	(A)	8,12
2-me-Butanol	(A)	7,32
1-Pentanol	(A)	7,87
1-Hexanol	(A)	5,13
1-Octanol	(A)	4,06
1-Octen-3-ol	(A)	13,5
Phenylethanol	(A)	3,85

[Anmerkung: A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool]

Bestimmung von Bieraromastoffen (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung der Bieraromastoffe wird gemäß hausinternen Vorschriften durchgeführt. Zur Probenaufbereitung wird eine Wasserdampfdestillation ausgeführt, die Bestimmung erfolgt via GC-FID.

Tab. 2.2: Variationskoeffizient der Bieraromastoffe

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
Hexanol-1	5,94
Heptanol-1	5,99
Octanol-1	4,32
Decanol-1	3,24
2-Phenylethanol	2,16
Furfurylalkohol	9,65
Essigsäure-Isobutylester	2,06
Essigsäure-Hexylester	3,04
Essigsäure-Heptylester	3,07
Essigsäure-Octylester	1,72
Essigsäure-Furfurylester	6,44
Essigsre-2-Phenylethylester	3,53

Tab. 2.2: Variationskoeffizient der Bieraromastoffe (fortgesetzt)

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
Buttersäure-Ethylester	1,71
Hexansäure-Ethylester	4,27
Octansäure-Ethylester	1,36
Decansäure-Ethylester	3,53
Isovaleriansäure	9,41
Hexansäure	5,71
Octansäure	3,57
Nonansäure	8,34
Decansäure	3,95
Dodecansäure	5,78
α -Terpineol	8,74
Linalool	9,3
Nerol	8,71
γ -Nonalacton	4,13

Bestimmung von Alterungskomponenten (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung der Bieraromastoffe wird gemäß hausinternen Vorschriften durchgeführt. Zur Probenaufbereitung wird eine Wasserdampfdestillation ausgeführt, die Bestimmung erfolgt via GC-FID.

Tab. 2.3: Variationskoeffizient der Alterungskomponenten

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
3-Methyl-Butanal	2,00
2-Furfural	4,60
5-Methyl-Furfural	8,22
Benzaldehyd	6,04
2-Phenyl-Ethanal	3,21
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	5,27
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	6,04
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	7,40
2-Propionyl-Furan	7,32
gamma-Nonalacton	2,63
Summe der Wärmeindikatoren	0,83
Summe der Sauerstoffindikatoren	1,24
Summe der Alterungskomponenten	1,01

Bestimmung vicinaler Diketone (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung der vicinalen Diketone wird gemäß MEBAK [1997] durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine Headspace Methode, die Bestimmung erfolgt via GC-ECD.

Tab. 2.4: Variationskoeffizienten der vicinalen Diketone

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
Diacetyl	6,94
Pentandion	7,98

Bestimmung höherer Alkohole und Ester (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung der höheren Alkohole wurde gemäß hausinterner Vorschriften durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine Headspace Methode, die Bestimmung erfolgt via GC-FID.

Tab. 2.5: Variationskoeffizient der Bestimmung der höheren Alkohole und Ester

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
Acetaldehyd	4,06
Propanol	6,53
Ethylacetat	7,93
2-Methylpropanol	2,64
3-Methylbutanol	1,63
2-Methylbutanol	1,87
2-Methylpropylacetat	6,48
Buttersäureethylester	6,25
3-Methylbutylacetat	4,92
2-Methylbutylacetat	4,74
Hexansäureethylester	7,11

Bestimmung von 4-Vinylguaiacol (Gaschromatographische Analyse)

Die Bestimmung des 4-Vinylguaiacolgehaltes erfolgt gemäß einer Methode nach Thum [1999]. Zur Probenaufbereitung wird eine Festphasenextraktion verwandt, die Bestimmung erfolgt via GC-ECD.

Tab. 2.6: Variationskoeffizient der 4-Vinylguaiacolbestimmung

Substanz/Substanzgruppe	Variationskoeffizient [%]
4-Vinylguaiacol	2,34

Bestimmung der Mono-, Di- und Trisaccharide

Die Zuckerbestimmung wurde im HPLC-Labor des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I durchgeführt. Variationskoeffizienten der Analyse liegen nicht vor. Die Bestimmung erfolgt mittels eines Ionenchromatographiesystems.

Aminosäurenanalyse

Die Aminosäurenbestimmung wurde im HPLC-Labor des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I durchgeführt. Variationskoeffizienten der Analyse liegen nicht vor. Die Bestimmung erfolgt mittels HPLC-DAD.

2.1.2 Chemisch-technische Analysen

Malzanalysen

Die Malze wurden anhand nachfolgender Analysen beurteilt:

Tab. 2.7: Malzanalysen

Wassergehalt	Farbe (photometrisch)
Extrakt (lufttrocken und wasserfrei)	pH-Wert
Viskosität	Eiweißgehalt wasserfrei
Friabilimeter	löslicher Stickstoff
Verzuckerungszeit	Eiweißlösungsgrad
Endvergärung	Freier Aminostickstoff
Ablauf der Kongreßwürze	Thiobarbitursäurezahl

Die Bestimmung des Extraktes, des pH-Wertes und der Viskosität erfolgte mit Hilfe eines Meßsystems der Firma Anton Paar, alle weiteren Untersuchungen erfolgten gemäß MEBAK [1997].

Würzeanalysen

Die Würzen wurden hinsichtlich nachfolgender Analysenmerkmale untersucht:

Tab. 2.8: Würzeanalysen

Stammwürze	Gesamtpolyphenole
Vergärungsgrad	Anthocyanogene
Farbe	Tannoide
pH	Indikator-Time-Test
Gesamtstickstoff	Photometrische Jodprobe
Koagulierbarer Stickstoff	β -Glucane
Freier Amminostickstoff	Viskosität

Die Bestimmung des Extraktes, des pH-Wertes und der Viskosität erfolgten mit Hilfe des Anton Paar Beer Alcolysers, alle weiteren Untersuchungen erfolgten gemäß MEBAK [1997].

Bieranalysen

Die Würzen wurden hinsichtlich nachfolgender Analysenmerkmale untersucht:

Tab. 2.9: Bieranalysen

Stammwürze	pH
Alkoholgehalt	β -Glucane
Vergärungsgrad	Viskosität
Farbe	

Die Bestimmung des Extraktes, des pH-Wertes und der Viskosität erfolgten mit Hilfe des Anton Paar Beer Alcolysers, alle weiteren Untersuchungen erfolgten gemäß MEBAK [1997].

2.2 Sensorische Analysen

2.2.1 Bestimmung von Schwellenwerten

Schwellenwerte wurden gemäß dem durch das Analylenkomitee der EBC vorgegebenen Verfahren durchgeführt [Analytika-EBC 1987]. Da jedoch bei 6 Tests mit je 3 Proben bei den Prüfern Ermüdungserscheinungen [Preuß 2001] festgestellt wurden, wurden abweichend zu oben genannter Vorschrift den Prüfern nur je 4 Tests zur Beurteilung dargeboten.

2.2.2 Spezifische Verkostung für Weißbiere

Das spezifische Verkostungsschema für Weißbiere basiert auf der DLG-Verkostung gemäß MEBAK [1997]. Abweichend zu dieser Vorschrift ist es den Verkostern gestattet, die Biere in Halbnotenschritten zu bewerten. Des Weiteren obliegt es den Prüfern, die Biere hinsichtlich ihrer estrigen, phenolischen und hefigen Note zu beurteilen. Als Kriterien sind sowohl Intensität als auch Güte der jeweiligen Note zu bewerten.

Tab. 2.10: Intensität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note

Intensität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note	
1 = nicht wahrnehmbar	4 = wahrnehmbar
2 = kaum wahrnehmbar	5 = intensiv wahrnehmbar
3 = neutral	

Tab. 2.11: Qualität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note

Qualität der estrigen, phenolischen oder hefigen Note	
1 = sehr unangenehm	4 = angenehm
2 = unangenehm	5 = sehr angenehm
3 = neutral	

Der Prüfbogen ist in Abb. 2.1 (siehe S. 30) dargestellt.

2.2.3 Alterungsverkostung nach Eichhorn

Bei der Alterungsverkostung nach Eichhorn wird die Alterung der Biere in den Kategorien Geruch, Trunk und Bittere nach folgender Skale in Halbnotenschritten beurteilt [Eichhorn 1991]:

Tab. 2.12: Alterungsskale nach Eichhorn

Alterungsskale nach Eichhorn

1 = frisch	3 = stark gealtert
2 = leicht gealtert	4 = extrem gealtert

Die Prüfer geben zusätzlich noch die Akzeptanz des gealterten Bieres in 20 % Schritten an (100 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 %, 0 %). Eine Gesamtnote ergibt sich aus den Einzelkriterien, Geruch und Trunk gehen mit dem Faktor zwei in die Wertung ein.

Prüfer:	
Datum	

Probe:	
--------	--

Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere

Estrige Note										
Geruch			Geschmack							
1	2	3	4	5	Intensität	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	Qualität	1	2	3	4	5
Beschreibung:										
.....										
.....										
.....										
Phenolische Note										
Geruch			Geschmack							
1	2	3	4	5	Intensität	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	Qualität	1	2	3	4	5
Beschreibung:										
.....										
.....										
.....										
Hefige Note										
Geruch			Geschmack							
1	2	3	4	5	Intensität	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	Qualität	1	2	3	4	5
Beschreibung:										
.....										
.....										
.....										
Sonstige										
Beschreibung:										
.....										

Intensität: 1 = nicht wahrnehmbar; 5 = sehr stark
 Qualität: 1 = unangenehm; 3 = neutral; 5 = angenehm

Abb. 2.1: Prüfbogen „Spezifische Verkostung für Weißbiere“

2.2.4 Dreieckstest

Beim Dreieckstest werden den Prüfern drei verschlüsselte Proben gleichzeitig vorgelegt, wovon zwei Proben identisch sind. Die Prüfer beantworten unabhängig und schriftlich die Frage, welche der zwei Proben gleich seien. In Abhängigkeit von der Gesamtzahl der richtigen Antworten zeigt der Test, ob die Proben statistisch signifikant unterscheidbar sind.

Die Dreieckstests wurden gemäß dem durch das Analylenkomitee der EBC vorgegebenen Verfahren durchgeführt [Analytika 1987].

2.2.5 Rangordnungsprüfung

Die Rangordnung dient zur Einordnung von 2 bis 6, selten mehr Proben nach einem bestimmten Merkmal. Dabei kann geprüft werden, ob grössere Unterschiede zwischen den Proben bezüglich des gefragten Merkmals bestehen. Die Rangordnungsprüfung wurde gemäß dem durch das Analylenkomitee der EBC vorgegebenen Verfahren durchgeführt [Analytika 1987].

2.3 Sonderanalysen

2.3.1 Aromaextraktverdünnungsanalyse

Eine erprobte Methode relevante Aromakomponenten zu erfassen ist die sogenannte Aromaextraktverdünnungsanalyse. Hierbei werden nach

Flüssig-Flüssig-Extraktion der Probe mit Diethylether und anschließendem Hochvakuumtransfer Aromastoffe durch Kapillargaschromatographie-Olfaktometrie erfasst. Die Identifikation erfolgt mit Hilfe von Massenspektroskopie, Retentionszeiten (Kovacs-Indices) und durch Vergleich mit Reinsubstanzen. Die Relevanz eines Aromastoffes wird durch den sogenannten Flavour Dilution Faktor beschrieben: der Analyt wird jeweils 1:1 verdünnt und abgesniff, der Verdünnungsgrad entspricht dem Flavour Dilution Faktor. Eine Substanz die noch in der fünften Verdünnung wahrnehmbar ist, hat somit einen Flavour Dilution Faktor von 32.

Die Aromaextraktverdünnungsanalyse wurde am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I erstmals von Preuß eingeführt, die von ihm beschriebene Vorgehensweise [Preuß 2001] wurde auch in dieser Arbeit angewandt.

Die Arbeitsschritte der Aromaextraktverdünnungsanalyse sind:

- Flüssig-Flüssig Extraktion gemäss dem Kutscher-Stendel Prinzip [Neumüller 1985]; Extraktionsmittel Diethylether (destilliert, Fa. Sigma-Aldrich),
- Hochvakuumtransfer [Schieberle 1985], Hochvakuumpumpe Leybold PD 40L
- Trennung des Extraktes in eine neutral-basische und acide Fraktion
- Kapillargaschromatographie-Olfaktometrie (Sniffing Technik)
- Identifizierung durch Massenspektrometrie (Massenspektrometer: Hewlett Packard 5970B) und Vergleich der Retentionszeiten mit Reinsubstanzen.

2.3.2 Kurzkettige Fettsäuren

Im Rahmen der Untersuchungen zur Alterung der Weißbiere (siehe 3.6) war es erforderlich, die bestehende Analytik (siehe 2.1.1) hinsichtlich der kurzkettigen Fettsäuren, wie Propionsäure, Isobuttersäure, Buttersäure, Isovaleriansäure (3-Methylbuttersäure), Valeriansäure und Hexansäure, zu erweitern. Die „Schonende Analysenmethode zur Quantifizierung von Schlüsselaromastoffen in

Bier“ nach Thum [1999] beinhaltet bereits mehrere dieser Substanzen und wurde daher als Basis für eine spezifische Analysenmethode für kurzkettige Fettsäuren verwendet: lediglich der Extraktionsvorgang wurde abgeändert, die weiteren Parameter wurden beibehalten.

Um eine möglichst hohe Wiederfindungsrate und somit Sensitivität zu erreichen, wurden 5 unterschiedliche Festphasenextraktionsmaterialien und 5 unterschiedliche Elutionsmittel verglichen. Die Kombination aus dem Festphasenextraktionsmaterial der Firma Isolute, Typ „ENV+“, 30 mg, mit dem Elutionsmittel Dichlormethan (2*2,5 ml) ergab die höchsten Wiederfindungsraten.

Kalibration und Reproduzierbarkeit

Es wurde eine 6 Punkt Kalibrierung durchgeführt. Die Reinsubstanzen (Fa. Sigma Aldrich) wurden einer 5 % ethanolischen Lösung zugesetzt und dann eine entsprechende Verdünnungsreihe erstellt. Abb. 2.2. zeigt exemplarisch die Kalibrierung der 3-Methylbuttersäure. Die weiteren Kalibrationsgeraden sind im Abbildungsanhang zu finden (siehe Abbildung A1-A5).

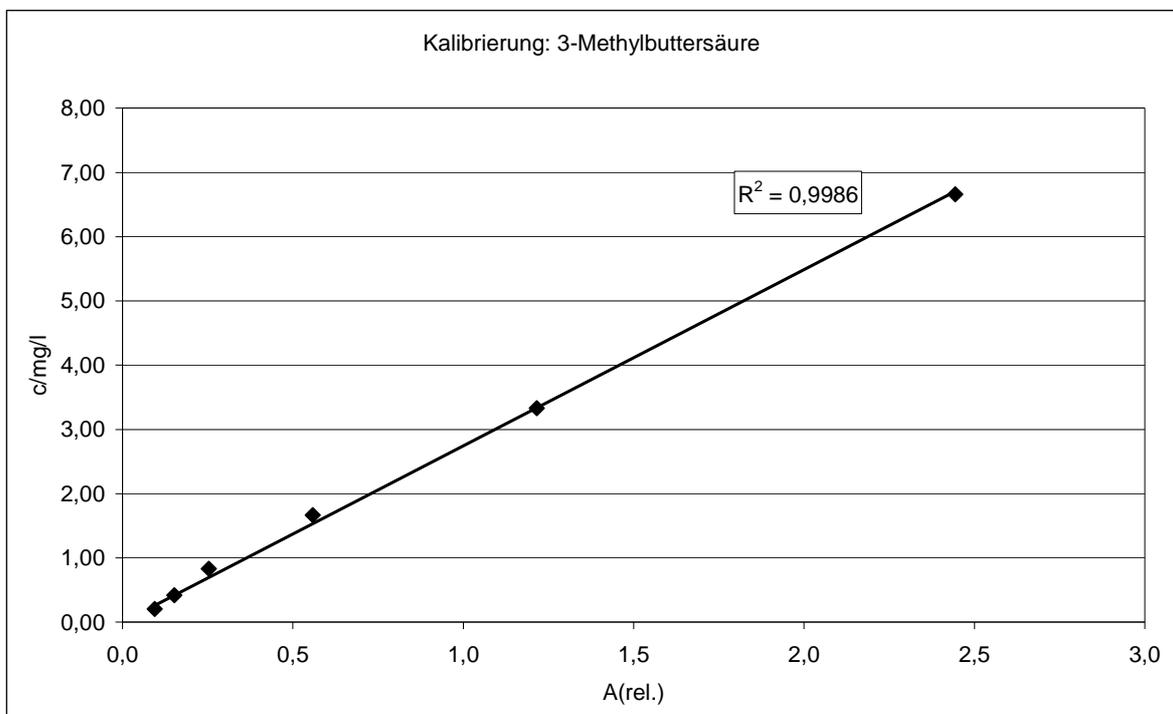


Abb. 2.2: Kalibrierung: 3-Methylbuttersäure

Die Variationskoeffizienten ergaben sich aus 10-facher Aufbereitung eines Bieres:

Tab. 2.13: Variationskoeffizienten der Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren

Substanz	Variationskoeffizient [%]
Propionsäure	43,8
Isobuttersäure	14,9
Buttersäure	15,7
3-Methylbuttersäure	5,5
Valeriansäure	7,9
Hexansäure	3,2

Aufgrund der schlechten Reproduzierbarkeiten wurden die Substanzen Propionsäure, Isobuttersäure und Buttersäure nicht weiter betrachtet.

2.3.3 Maltaseaktivität

Im Zuge der Entwicklung eines neuen Maischverfahrens mit "Maltaserast" (siehe 3.3.2) wurde es notwendig, eine Analytik hinsichtlich der Aktivität dieses Enzyms zu entwickeln.

Das Prinzip der Messung der Maltaseaktivität beruht auf zwei Schritten: Der Extraktion und der Inkubation. Die Extraktion des Enzyms aus der Probe geschieht mittels eines Extraktionspuffers. Die Inkubation bezeichnet die Zeit, während der das Enzym mit einem Substrat unter definierten Bedingungen reagiert. Dabei entsteht ein Indikatorstoff der quantitativ messbar ist. Ferner folgt die Auswertung: Das Messergebnis wird dabei auf eine Standardeinheit für die Enzymaktivität umgerechnet.

Zur Bestimmung der α -Glucosidase- bzw. Maltaseaktivität wurde ein Extraktionspuffer aus Natriumphosphat (Na_3PO_4) mit L-Cystein-Zusatz verwendet. Das L-Cystein dient der Herauslösung des Enzyms aus der Eiweißmatrix, indem es intermolekulare Disulfidbindungen spaltet [Belitz 1992].

Die Aktivitätsbestimmung geschieht anhand der spektralphotometrischen Erfassung eines der Substratabbauprodukte bei der Inkubation.

Dabei handelt es sich bei dem verwendeten Substrat um das synthetische p-Nitrophenyl- α -D-Glucopyranosid, dessen Spaltungsprodukte α -D-Glucose und 4-Nitrophenol sind. Der Farbstoff 4-Nitrophenol absorbiert spezifisch bei 410 nm [Megazyme 1996].

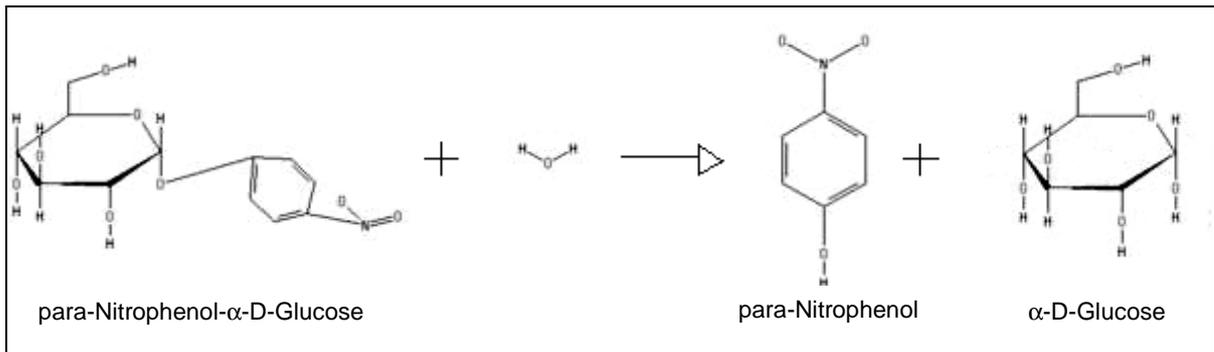


Abb. 2.3: Freisetzung von 4-Nitrophenol aus para-Nitrophenol- α -D-Glucose

Die Berechnung der Enzymaktivität erfolgt über diese Formel:

$$\begin{aligned}
 \text{Aktivität [Units/kg Mehl]} &= \frac{\Delta E_{410}}{t_{\text{brüt}}} \cdot \frac{\text{Vol}_{\text{Reaktion}}}{\text{Vol}_{\text{Aliquot}}} \cdot \frac{1}{E_{\text{mM}}} \cdot \frac{\text{Vol}_{\text{Extraktion}}}{m_{\text{Schrot}}} \cdot 1000 \cdot \text{Verdünnung} \\
 &= \Delta E_{410} \cdot 225
 \end{aligned}$$

$$\Delta E_{410} = E_{410} (\text{Enzympräp.}) - E_{410} (\text{Blind})$$

$$t_{\text{brüt}} = \text{Bebrütungsdauer}$$

$$\text{Vol}_{\text{Reaktion}} = \text{Volumen des im Reaktionsgefäß befindlichen Gemisches}$$

$$\text{Vol}_{\text{Aliquot}} = \text{Volumen des Substrates} = \text{Volumen des Enzympräparates}$$

$$E_{\text{mM}} = \text{Millimolarer Extinktionskoeffizient hängt von Stopreagens und Wellenlänge ab}$$

$\text{Vol}_{\text{Extraktion}}$ = Gesamtvolumen des Kaltauszuges

m_{Schrot} = Schroteinwaage des Kaltauszuges

Unit bezeichnet die Menge an Enzym, die ein μmol para-Nitrophenol per Minute unter definierten pH- und Temperaturbedingungen aus dem Substrat herauslöst. [Megazym 1996].

Die Anweisung zur Probenvorbereitung und Messung lautet wie folgt:

A Benötigte Lösungen

Puffer 1:

$c_{\text{L-Cystein}}$ = 0,1 mol/l

$V_{\text{Puffer 1}}$ = 0,1 l (mit Puffer 2 auffüllen)

$M_{\text{L-Cystein}}$ = 121,1598 g/mol

$m_{\text{L-Cystein}}$ = 1,21 g (nach: $m = c \cdot V \cdot M$)

pH = 6 (nach Zugabe von L-Cystein)

Hinweis: An Gebrauchstag frisch herstellen

Puffer 2:

$c_{\text{Na}_3\text{PO}_4}$ = 0,025 mol/l

$V_{\text{Puffer 2}}$ = 0,1 l (mit Aqua dest. auffüllen)

$M_{\text{Na}_3\text{PO}_4}$ = 163,9408 g/mol

→ $m_{\text{Na}_3\text{PO}_4}$ = 0,41 g (nach: $m = c \cdot V \cdot M$)

pH = 6,3 (mit 1 N HCL einstellen)

Hinweis: Aufbewahrung im Kühlschrank möglich (ca. 1 Woche)

Substrat:

c_{pNPG} = 0,004 mol/l

V_{pNPG} = 0,1 l (mit Aqua dest. auffüllen)

$$M_{\text{pNPG}} = 301,2524 \text{ g/mol}$$

$$\rightarrow m_{\text{pNPG}} = 0,12 \text{ g} \quad (\text{nach: } m = c \cdot V \cdot M)$$

Hinweis: Portionen zu 0,5 ml in Reagenzgläser pipettieren, mit Stopfen versehen und einfrieren

1%ige TRIZMA-Base:

10 g TRIZMA ® BASE (Tris [Hydroxymethyl] Aminomethan) mit 1000 ml Aqua dest. auffüllen, danach Membranfiltrieren (HA 0,45 µm, Vakuum), um Luftfreiheit zu gewährleisten

Hinweis: Aufbewahrung im Spender bei Zimmertemperatur

B Extraktion:

Mahlen des Malzes in einer Hammer-Mühle (0,8 mm Sieb)

1 g Schrot mit 9 ml Puffer 1 versetzen

Bei Zimmertemperatur (22-25 °C) 30 min extrahieren, alle 5 min schütteln

Zentrifugieren (4000 x g, 15 min, 4 °C)

Hinweis: Messung der Enzymaktivität spätestens innerhalb 2 Std

C Enzymreaktion:

Substrat bei 37 °C im Wasserbad vorwärmen

Überstand des *Extraktes* abpipettieren und 5 min bei 37 °C im Wasserbad vorwärmen

0,5 ml *Substrat* mit 0,5 ml *Extraktes* versetzen (Doppelbestimmung)

→ Beginn der Inkubationszeit

Blindprobe: 0,5 ml *Substrat* mit 5 ml *1%iger TRIZMA-Base* vermischen, anschließend 0,5 ml *Extrakt* zusetzen.

30 min Inkubation bei 37 °C im Wasserbad

Reaktion wird durch Zusatz von 5 ml *1%iger TRIZMA-Base* beendet (ausser bei Blindprobe)

Absorptionen bei 410 nm messen

2.3.4 Phenolcarbonsäuren

Eine am Lehrstuhl bereits bestehende Analytik für die Phenolcarbonsäuren wurde optimiert. Erste Testläufe zeigten, dass verschiedene Einzelsubstanzen, wie Ferula- und Sinapinsäure, koeluierten. Die überarbeitete Anweisung lautet wie folgt:

A Festphasenextraktion:

Chemikalien: Methanol, Ethanol, Dest. Wasser, 2 % Essigsäure (Eisessig) in Methanol, ortho-Phosphorsäure (80%), Salzsäurelösung (0,001 mol/l)

Festphase: Isolute ENV+, 50 mg, 3 ml Reservoir.

Trocknungsaufsätze: Chromafix Dry, 1450 mg.

Membranfilter: Chromafil –Pet 45/25 Membranfilter

Probenvorbereitung: ca. 100 ml Probenmaterial (Maischen zuvor zentrifugieren) mittels ortho-Phosphorsäure (80%) auf pH = 2,5 einstellen, dann in einen 50 ml Messkolben überführen und auf Maß einstellen. Zugabe von 1 ml Ethanol.

Konditionierung: 2* 2,5 ml Methanol, 2* 2,5 ml dest. Wasser.

Extraktion: Zugabe von 20 ml Probe über das Reservoir. Während der ersten Stunde nur einen Unterdruck von 200 mbar anlegen, anschliessend mit 800 mbar. Wenn das Reservoir leer ist, mit 10 ml Salzsäure (0,001 mol/l) waschen.

Elution: ENV+-Säulen bei 2500 U/min, 0 °C, für 15 min zentrifugieren, Anschlussstellen der Extraktionsstation mit 2,5 ml Methanol waschen und anschliessend mit Trocknungsaufsätzen bestücken. Eluieren mit 2* 2,5 ml Methanol bei 200 mbar Unterdruck.

Aufkonzentration: Die eluierten Proben mittels Stickstoff bis zur Trockene einengen. Die eingeeengten Proben in exakt 1 ml 2 % Essigsäure (Eisessig) in Methanol aufnehmen und zur Lösung mittels Reagenzglasschüttler für 30 sec homogenisieren.

Überführen: Die homogenisierten Eluate mittels Spritze aufnehmen und über einen Chromafil –Pet 45/25 Membranfilter in ein Vial (2 ml) überführen.

B HPLC

Gerät: HP 1090 mit DAD.
Säule: Nucleodur 100-5 C18 EC.
Eluenten: 2 % Essigsäure (Eisessig) in dest. Wasser (Eluent A) und 2 % Essigsäure (Eisessig) in Methanol (Eluent B).

Gradientenprogramm:

Minute	Eluent B %
0	0
5	10
45	50
50	100
55	100
55,01	0

Stopzeit: 60 min.
Flussgeschwindigkeit: 0,7 ml/min.
Injektionsvolumen: 5 µl.
Signalaufnahme: 280 nm und 290 nm.

C Kalibration

Prinzip: Additive Kalibration, externer Standard.
Substanzen: Gallussäure, Syringasäure, Cumarsäure, Ferulasäure, Sinapinsäure.
Material: Ethanol, Weyermann- Würzekonzentrat.
Einwaage/Stammlsg.: Je 100 mg in einen 100 ml Messkolben. Ethanol vorlegen und anschliessend mit Ethanol auffüllen.
Verdünnungsreihe: Aus der Stammlösung je 20 ml, 10 ml, 5 ml, 2,5 ml und 1 ml in je einen 50 ml Messkolben pipetieren. Der Messkolben ist anschliessend bis zur Marke aufzufüllen.
Kalibration: Ca. 0,5 l des Würzekonzentrats ausmischen (StW des Eichbereichs beachten, z.B.:) und auf pH 2,5 einstellen. Zur 0-Probe wird 1 ml Ethanol zugesetzt, ansonsten je 1 ml aus der Verdünnungsreihe.
Auswertung: Flächenmodus
Retentionszeiten: Gallussäure 7,60 min
Syringasäure 27,37 min
Cumarsäure 31,99 min
Ferulasäure 35,41 min
Sinapinsäure 36,22 min
Signalaufnahme: 280 nm: Gallus- und Syringasäure
290 nm: Cumar, Ferula- und Sinapinsäure
Kalibrationsfaktoren: Gallussäure K = 1/135,5
Syringasäure K = 1/215,07
Cumarsäure K = 1/483,71

Ferulasäure K = 1/277,24
Sinapinsäure K = 1/166,27

Berechnung Konzentration [mg/l] = Fläche* K
Hinweise zur Sequenz: mindestens jede 5. Probe muss der externe Standard mitlaufen.

Abbildung 2.4 zeigt das Chromatogramm bei 290 nm:

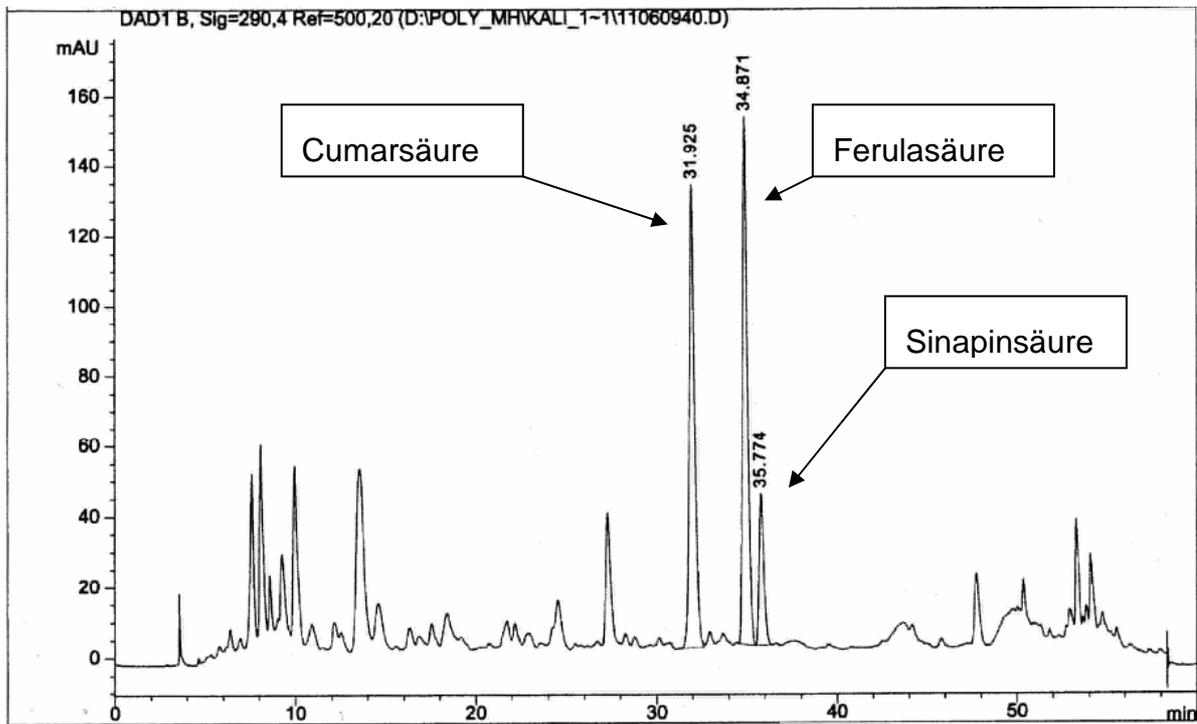


Abb. 2.4: Phenolcarbonsäuren, 290 nm

Abbildung 2.5 zeigt die Kalibrationsgerade für die Ferulasäure, die weiteren Diagramme finden sich im Abbildungsanhang (siehe Abb. A6 –A8).

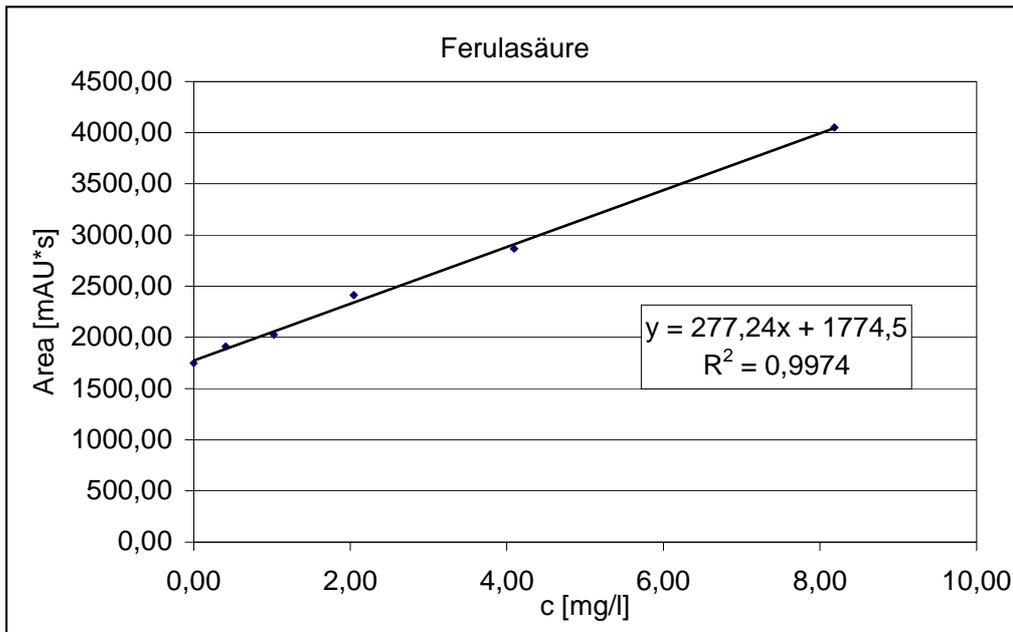


Abb. 2.5: Kalibrierung (additiv): Ferulasäure

Während der Durchführung einer Versuchsreihe wurde festgestellt, dass hohe Mengen an Sinapinsäuren in der Würze zu einer Überlagerung der Ferulasäure- und Sinapinsäurepeaks führen. In Folge dessen soll nun die Aufgabe an Probenmaterial zur Extraktion auf 10 ml reduziert werden, die weitere Optimierung der Methode war zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Dissertation noch nicht abgeschlossen.

2.4 Würze-und Bierbereitung

2.4.1 Kleinsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I

Schrotmühle

Zur Schrotung wird eine MIAG Labormühle Typ AZ-531/4 verwendet.

Sudwerk

Das Maischen im Kleinsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I erfolgt in Glaskolben mit jeweils 20 Litern Volumen, die mit Heizpilzen beheizt werden. Die Temperatursteuerung erfolgt über ein rechnergestütztes Programm der Firma Nerb. Die stufenlos regulierbaren Rührwerke gewährleisten eine gute Durchmischung der Maische. Die Abläuterung erfolgt über beheizbare Edelstahlzylinder, an deren Böden Schlitzbleche eingelegt sind. Die abgeläuterte Würze wird in ebenfalls beheizten Corneliusbehältern aufgefangen. Von dort aus wird die Würze durch Kohlendioxiddruck wiederum in, mittels Heizpilzen beheizte, Glaskolben zum Zwecke der Würzekochung gedrückt. Die Heißtrubabtrennung geschieht nach dem Sedimentationsprinzip in den Kochgefäßen, die blanke Würze wird von oben abgezogen.

Typische Schüttungen betragen hierbei 1,5 kg, der Hauptguß hat ein Volumen von 6 l.

Gärgefäße

Die 10 l und 30 l Edelstahltanks der Fa. Göldner Brauereitechnik besitzen jeweils eine Konuskühlung und Mantelkühlung, die über einen Rechner angesteuert und kontrolliert wird. Die Tanks werden von unten befüllt, die Würze mittels Venturirohr mit Sterilluft belüftet. Seitlich ist ein kleiner Wechsel zur Probenahme angebracht.

Lager- und Transportgefäße

Für den Transport oder die Lagerung werden Corneliusbehälter mit einem Füllinhalt von 10 oder 20 Litern verwendet.

2.4.2 Pilotsudanlage des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I

Schrotmühle

Die zum Schroten des Malzes verwendete Schrotmühle ist eine Zwei-Walzenschrotmühle der Fa. Künzel, Kulmbach. Der Walzenabstand wurde stets auf 0.8 mm eingestellt.

Sudwerk

Das von der Fa. Kamm, Ottershausen gefertigte Vier-Geräte-Sudwerk ist für eine Schüttung von 10 kg mit einem typischen Hauptgußvolumen von 40 l ausgelegt.

Die komplette Anlage bestehend aus Maischbottichpfanne, Maischpfanne, Läuterbottich, Würzepfanne, Brauwasserreserve und Whirlpool ist aus Edelstahl gefertigt. Zur Würzekühlung ist dem Whirlpool ein Plattenkühler der Fa. Franz Fischer, Wien nachgeschaltet. Die Regelung der Temperatur im Wasservorratsbehälter, den Maisch- und Kochgefäßen erfolgt über PT 100 Temperaturfühler, die die Magnetventile der Dampfzufuhr zu den Heizflächen über digitale Jumo Dicon-Z Zweipunktregler steuern. Die Anlage läuft nicht vollautomatisch, die Zeiten der Temperaturrasten müssen daher von Hand gestoppt und die jeweilig gewünschten Temperaturen manuell eingegeben werden.

Die Geräte der Anlage werden durch Satttdampf beheizt, der Dampf wird von einem externen Dampfkessel „PS 200“ der Fa. Stritzel Dampftechnik erzeugt.

Das Maischgefäß ist mit einem Rührwerk ausgestattet das mit einem Motor stufenlos angetrieben wird. Nach beendeter Maischarbeit kann direkt durch öffnen des Abmaischventils in den darunter angebrachten Läuterbottich abgemaischt werden.

Der Läuterbottich mit 335 mm Durchmesser kann ein Maischevolumen von 68 Litern aufnehmen. Bei einer Schüttung von 10 kg ergibt sich daraus eine spez. Senkbodenbelastung von 112 kg/m^2 . Um ein Abkühlen der eingelagerten Maische zu verhindern, besitzt der Läuterbottich einen Heizmantel, der über eine Umwälzpumpe mit $78 \text{ }^\circ\text{C}$ heißem Wasser aus einem temperierten Wasserbad versorgt wird. Der Läuterbottich verfügt über ein zweiarmiges Hackwerk das höhenverstellbar ausgelegt ist. Der Antrieb erfolgt über einen drehzahlgeregelten Motor. Am Hackwerk sind drei Messer montiert, woraus sich eine Anzahl von 33 Messern pro m^2 Senkbodenfläche ergibt. Das Anschwänzen erfolgt über eine CIP-Sprühkugel, die Menge bzw. das Volumen des zugeführten Anschwänzwassers kann mittels einer Druckmessdose, später eines Durchlaufmeßgerätes festgestellt werden.

Die für Niederdruckkochverfahren ausgelegte Würzepfanne misst im Durchmesser 45 cm und hat eine Höhe von 65 cm. Das Bruttovolumen der Pfanne beträgt 95 Liter, das Pfannevollvolumen 70 Liter. Die Pfanne verfügt über ein stufenlos regelbares Rührwerk, das eine homogene Würzekochung gewährleistet. Das Pfannevollvolumen bzw. Ausschlagvolumen wird mit einem Messstab aus Holz abgestochen.

Nach beendeter Würzekochung wird in den Whirlpool ausgeschlagen. Dieser ist mittels Mantel auf $85 \text{ }^\circ\text{C}$ beheizt. Aus der Würzepfanne wird die Heißwürze über die Ausschlagpumpe und ein Panel in den Whirlpool gepumpt. Nach einer Rast von 20 min wird das Panel umgeschraubt und die Würze vom Whirlpool über das Panel mittels Würzepumpe durch den Würzekühler gekühlt. Der Whirlpool verfügt über zwei Anstiche, einen oberen und einen unteren, über die die vom Heisstrub befreite Würze abgezogen werden kann. Beide Anstiche treffen sich am Panel, von wo aus der Kaltwürzeweg zum Plattenwärmetauscher führt. Die gekühlte Würze wird am Auslauf des Plattenkühlers in gereinigte, sterilisierte Corneliusbehälter gefüllt.

Gär-, Lager- und Transportgefäße

Die für die Sude im Pilotmassstab verwendeten Gär-, Lager- und Transportgefäße unterscheiden sich nicht von denen der Sude im Kleinsudmassstab.

2.4.3 Bioreaktor

Bei dem Fermenter handelt es sich um das Gerät „BIOSTAT®UD“ der Fa. Braun Biotech International, Melsungen. Das System ist modular aufgebaut und besteht aus den nachfolgend beschriebenen Komponenten.

Grundgerät

Im Grundgerät sind Temperiersystem, Begasungssystem und Korrekturmittelversorgung zusammengefasst. Diese Komponenten sind auf einem Edelstahlrahmen installiert. Ebenso sind im Grundgerät die Energie- und Versorgungssysteme enthalten. Die Temperierung des Kessels erfolgt über ein geschlossenes Heisswasser-Drucksystem, während die Energiezufuhr über eine elektrische Heizung, und die Energieabfuhr über einen Rohrbündeltauscher gegen Leitungswasser, erfolgt.

Mess- und Regeltechnik

Das Gerät ist mit folgender Mess- und Regeltechnik ausgestattet [Biostat o.j.]:

Temperaturregelung: PT-100 im Vierleitertechnik.

Drehzahlbereich	20 - 800 U/min, digital einstellbar mit 10 U/min Auflösung, Regelart, PI-Regler mit unterlagerter Ankerstromregelung von 0-1000 U/min.
Air-Flow-Controller:	therm. Massendurchflussmesser; eingebaut im Verrohrungssystem; Mess-/Regelbereich 1-50 l/min.
Druckmessung:	Piezoresistiver Druckaufnehmer Fabrikat Philips, Messbereich 0,5-2000 mbar, Arbeitstemperatur 20-125 °C, Temperaturkompensation für 20-80 °C.

Steuerung und Dokumentation

Mittels entsprechender Software bestand hier die Möglichkeit zur Steuerung sowie zur Betriebsdatenerfassung und –auswertung. Als Betriebssystem diente „Windows NT; Vers. 3.51“ (Fa. Microsoft); als Steuerungs-software wurde das Programm „MFCS-win; Vers.1.0“ der Fa. Braun Biotech International verwendet.

Kulturgefäß

Bei dem Fermenter des Typs „UD30“ ist ein Kulturgefäß mit einem Gesamtvolumen von 42 Litern vorhanden. Es verfügt über ein Arbeitsvolumen von 30 Litern und ist mit 7 Deckeldurchgängen, Durchmesser 19 mm, und 5 Stützen im Bodenbereich mit einem Durchmesser von 25 mm ausgestattet. Diese dienen der Aufnahme der Messwertaufnehmer sowie der sterilen Zugabe-/Erntevorrichtung. Als Rührsystem sind drei Scheibenrührer an einer von unten angetriebenen Welle installiert.

2.4.4 Gärung, Lagerung und Abfüllung des Weißbieres

Zur Würzebelüftung wurde eine Standardeinstellung für den Volumenzustrom zur Venturidüse gewählt, während der Befüllung der Gärgefäße wurde konstant belüftet. Dies ergibt eine durchschnittliche Belüftung von 8 mg/l. Die Menge der Würze wurde durch Differenzwägung bestimmt, die Hefegabe erfolgte daher mengenbezogen. Als Hefegabe wurden immer 2 Millionen Zellen pro Gramm zugeführt, der Anteil toter Zellen wurde ausgeglichen. Die Hauptgärung erfolgte, sofern nicht anders erwähnt, stets bei 20 °C und wurde bei $E_S = 2,4$ beendet. Nach Kühlung auf 4 °C und einer halbstündigen Absetzzeit wurde zunächst die im Konus angefallene Hefe „abgeschossen“ und anschließend das Jungbier aus den Tanks in 20 Liter Corneliusbehälter geschlaucht. Nach der Ermittlung der Menge des geschlauchten Bieres durch Differenzwägung wurde die Speise, bei 0 °C gelagerte Würze des jeweiligen Versuches bei Versuchen im Pilotmassstab, in Höhe von 10 % des Schlauchbieres gegeben und nach Durchmischung mit der Abfüllvorrichtung des Lehrstuhls abgefüllt. Bei Suden im Kleinsudmassstab wurde mit einem Würzekonzentrat der Firma Weyermann aufgespeist (siehe 2.4.5, *Rohstoffe und Materialien*). Die abgefüllten Flaschen wurden für den weiteren Nachgär- und Reifungsprozess zuerst bei 20 °C eine Woche warmgelagert, bevor sie dann für zwei Wochen bei einer Solltemperatur von 10 °C kaltgelagert wurden. Der entstehende Kohlendruck wurde mittels Manometer auf jeweils einer Flasche überprüft. Tankreifungen wurden in den Gärgefäßen unter Zuhilfenahme eines Spundapparates durchgeführt, der Druck wurde hierbei auf 1,5 bar eingestellt.

2.4.5 Rohstoffe und Materialien

Brauwasser

Das für den Brauprozess verwendete Brauwasser wurde aus dem Brauwassertank der Lehr- und Versuchsbrauerei entnommen und zuvor mittels einer Wasseraufbereitungsanlage für den Brauprozess aufbereitet (siehe Tabelle 2.14). In dieser Anlage wird das Rohwasser im ersten Schritt über eine zweistufige Entkarbonisierung durch Kalkwasser zum größten Teil von seiner Karbonathärte befreit

Tabelle 2.14: Brauwasserqualität der Lehr- und Versuchsbrauerei Weihenstephan

Zusammensetzung	Wasseranalyse
Chlorid [mg/l]	16,8
Sulfat [mg/l]	17,2
Calciumhärte [°dH]	2,60
Magnesiumhärte [°dH]	2,30
Gesamthärte [°dH]	4,90
p-Wert	0,0
m-Wert	1,10
Restalkalität [°dH]	1,15
pH	6,78

Kleinere Schwankungen waren zwischen den Versuchen festzustellen. So wurde zu einem späteren Zeitpunkt eine Restalkalität von 2,30. gemessen. Innerhalb einer Versuchsreihe waren die Bedingungen jedoch konstant.

Malz

Die Malze wurden in ausreichender Menge zu Beginn der Arbeit bereitgestellt.

Tab. 2.15: Malzanalysen

	Einheit	Weizenmalz	Gerstenmalz
Wassergehalt	%	4,4	4,6
Extrakt lftr.	% lftr.	81,7	79,1
Extrakt. Wfr.	% wfr.	85,5	82,9
Viskosität	mPas (8,6%)	1,795	1,481
Verzuckerungszeit	Min.	<10	<10
Farbe (Photometer)	EBC	3,2	3,3
pH	-	6,03	5,83
Rohprotein	%, wfr.	11,9	10,2
ELG	%	45,2	42,1
Löslicher Stickstoff	mg/100g	861	687
VZ 45 °C	%	40,5	38,2

Hopfen

Es kamen, je nach Verfügbarkeit, 3 Hopfenchargen zum Einsatz. Diese sind

- Hallertauer Magnum, Typ 45, EBC 15,
- Hallertauer Mangum, Typ 90, EBC 15 und
- Hallertaurer Taurus, Typ 45, EBC 15.

Hefe

Die für die Gärung notwendige obergärige Hefe, wurde, sofern nicht anders erwähnt, aus dem Hefetank der Staatsbrauerei Weihenstephan entnommen. Vor jedem Anstellen wurde der Tot-Anteil ermittelt und die Hefezellzahl bestimmt.

Würzekonzentrat

Für einige Gärungen, die eine absolut gleichbleibende Würzezusammensetzung bedurften, und für das Aufspeisen im Kleinsudmassstab wurde das Würzekonzentrat „Bavarian Wheat“ der Firma Weyermann verwendet. Der Extrakt

dieses Konzentrats beläuft sich auf 78 %. Die Richtigkeit der gewünschten Stammwürze wurde jeweils nach Ausmischung durch das Anton Paar Meßsystem überprüft (siehe 2.1.2, *Würzeanalysen*).

3 Ergebnisse und Diskussion

Die nachfolgende Darstellung der Ergebnisse entspricht nicht dem chronologischen Ablauf der Versuche. Vielmehr soll entsprechend dem Bierbereitungsprozess die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse erleichtert werden. Schwerpunkte der Arbeit sind vor allem die Esterbildung und Möglichkeiten, diese technologisch zu steuern, und die Alterung von Weißbieren.

3.1 Vorbereitende Untersuchungen

Neben der Reproduzierbarkeit der Analytik muss natürlich auch die Wiederholbarkeit der Weißbierherstellung in den Versuchsanlagen und die Aussagekraft sensorischer Analysen gesichert sein.

3.1.1 Optimierung und Reproduzierbarkeit der Weißbierherstellung an den Versuchsanlagen des Lehrstuhls

3.1.1.1 Optimierung und Reproduzierbarkeit der Würzebereitung

Die Wiederholbarkeit bei Weißbiersuden im Kleinsudmaßstab wurde als hinreichend befunden, die Temperatur, überprüft mit einem Eichthermometer, wich nur minimal von der Solltemperatur ab.

Tab. 3.1: Würzeanalysen der Sude zur Wiederholbarkeit im Kleinsudwerk

	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4
Extrakt [%]	11,92	12,20	12,11	12,05
Farbe [EBC]	11,7	10,9	10,9	11,2
pH	5,77	5,80	5,72	5,74
FAN [mg/100 ml]	17,9	18,6	18,3	18,7
Thiobarbitursäurezahl	32	29	30	32

Als problematisch sind lediglich die Schwankungen im Extrakt zu sehen, diese wurden durch Zugabe von destilliertem Wasser ausgeglichen, die Sude wurden auf 11,8 % verdünnt. Große Probenahmemengen bei Suden im 10 l Maßstab können sich ebenfalls negativ auf die Vergleichbarkeit auswirken.

In den Suden im Pilotmaßstab ergaben sich geringere Schwankungen in den fertigen Bieren, jedoch zeigte die Überprüfung der Temperaturen mittels Eichthermometer deutlichere Unterschiede. Der Fehler kann durch eine um 1,0 °C niedrigere Eingabe am Steuergerät ausgeglichen werden. Bei der Läuterarbeit finden sich größere Differenzen hinsichtlich der Vorderwürze, die Vorderwürzeausbeuten betragen in den Suden 1-3 47,0 %, 41,5 % und 44,2 %. Diese Unterschiede werden bis zum Ende der Würzeherstellung jedoch nivelliert, die kalten Sudhausausbeuten berechnen sich zu 68,7 %, 70,3 % und 68,7 %.

Tab. 3.2: Würzeanalysen der Sude zur Wiederholbarkeit im Pilotsudwerk

	Sud 1	Sud 2	Sud 3
Extrakt [%]	12,23	12,18	12,10
Farbe [EBC]	12,8	12,8	13,1
pH	5,73	5,77	5,76
FAN [mg/100 ml]	18,5	18,9	18,1
Thiobarbitursäurezahl	24	26	22

3.1.1.2 Optimierung und Reproduzierbarkeit der Gärung

Die Untersuchungen zur Optimierung und Reproduzierbarkeit der Gärung teilen sich in zwei Teilaufgaben auf: einerseits wurde die Temperaturführung bei der Gärung kontrolliert, andererseits wurden Versuche zur Wiederholbarkeit von Gärungen unternommen.

Die entstehende Gärwärme ist weder bei den 10 l Gärtanks noch bei den 30 l Gärtanks ausreichend, um die Jungbiere selbsttätig auf Temperatur kommen zu lassen. Die Problematik wird in den Wintermonaten noch verstärkt, da der Gärkeller unbeheizt ist. Zwei Verfahren zur Beheizung der Tanks wurden erprobt: zum einen wurde über die Kühlmittleitung der Mantelkühlung ein Kryostat

angeschlossen, zum anderen wurde versucht durch einen Heizlüfter die Tanks zu beheizen, während die Temperatur durch die Mantelkühlung geregelt wurde. Beide Verfahren lieferten zufriedenstellende Resultate, in kühlen Wintermonaten ist eine Temperaturregelung auf Grund der schnelleren und gleichmäßigeren Temperatureinstellung zu bevorzugen. Die Messung der Gärtemperaturen erfolgte über zwei Pt100-Meßfühler, lokalisiert im Konusbereich und in der Mitte des Gärgefäßes, die Datenaufnahme mit Hilfe eines rechnergestützten Meßsystems der Firma AMR. Abbildung 3.1 zeigt exemplarisch die Temperaturentwicklung beim Einsatz des Kryostaten.

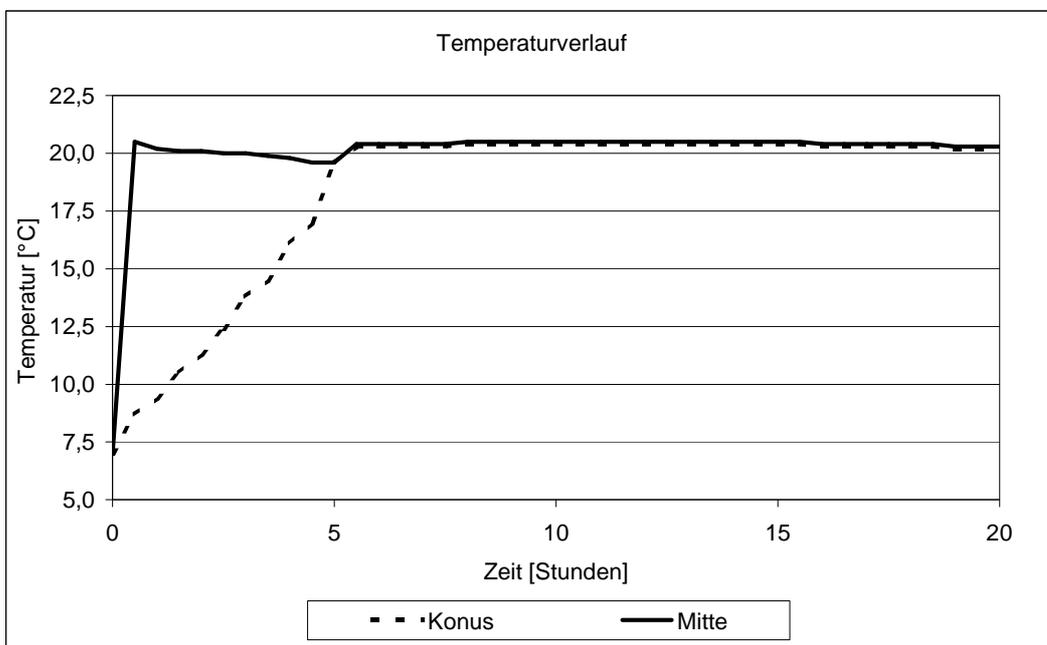


Abb. 3.1: Temperaturentwicklung beim Einsatz des Kryostaten

Die Versuche zur Wiederholbarkeit der Gärungen wurden im 10 l Maßstab durchgeführt. Es war am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I üblich, Versuchsreihen innerhalb einer Woche durchzuführen und für diese die selbe Hefe zu verwenden. Die Hefe wird währenddessen bei 0 °C gelagert. Um gleiche Bedingungen für die Vergleichsgärungen zu erhalten, wurde für die Vergleichsgärungen ein Würzekonzentrat der Firma Weyermann verwendet und für jeden Versuchsansatz frisch ausgemischt. Am Tage der Abholung der Hefe wurden zwei Gärungen angesetzt, nach zwei Tagen Lagerzeit eine dritte und am Ende der Woche, also nach 4 Tagen Lagerzeit, eine weitere. Die Totzahl der

Hefen betrug am Tage der Abholung 22,3 % und änderte sich während der Lagerung nicht. Dennoch ergaben sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Aromastoffbildung nach 2 und 4 Tagen Lagerzeit, die am ersten Tage parallel angestellten Versuche (0 T./1 und 0 T./2) wiesen nahezu identische Werte auf (siehe Abbildung 3.2, siehe Tabelle T2).

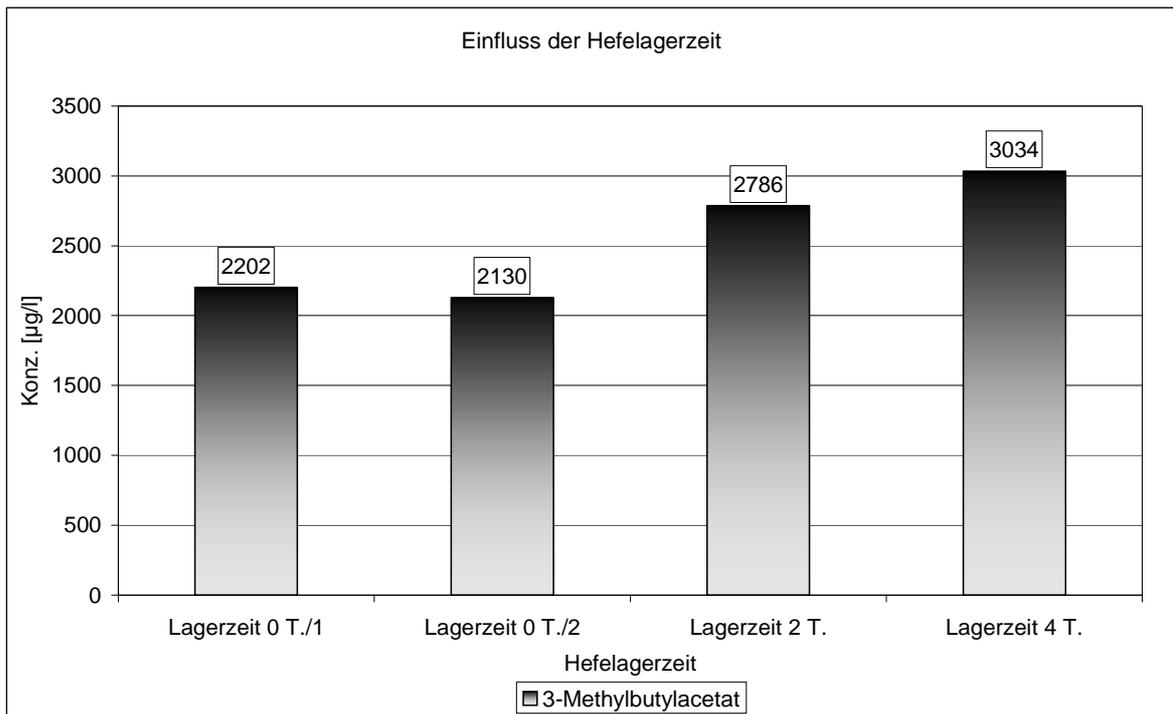


Abb. 3.2: Einfluss der Hefelagerzeit

Diese Versuche zeigen, dass im Rahmen einer Arbeit zur Aromastoffbildung in Weißbieren oben genannte Vorgehensweise nicht zu vertreten ist. Die Planung aller Versuchsreihen wurde dementsprechend immer so ausgelegt, dass alle Gärungen zeitgleich angestellt wurden. Nur bei den Reihenuntersuchungen zum Einfluss des Rohstoffes Weizenmalz (siehe 3.2) auf Aromastoffbildung war dies auf Grund der hohen Probenzahl nicht möglich.

3.1.2 Verkosterschulung und Reihenuntersuchung

Verkosterschulung

Zu Beginn und während der Anfertigung dieser Dissertation wurden Verkosterschulungen durch beschreibende Prüfungen, Dreieckstest, Blindproben und Schwellenwertsbestimmungen durchgeführt. Tabelle 3.3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer beschreibenden Prüfung für die zwei wohl am häufigsten genannten Aromastoffe des Weißbieres:

Tab. 3.3: Beschreibende Prüfung für 4-Vinylguaiacol und 3-Methylbutylacetat

Aromastoff	Zugesetzte Konz.	Tats. Konz. Im Bier	Geruch		Geschmack		Beschreibungen
	(mg / l)	(mg / l)	Int.	Qual.	Int.	Qual.	
4-Vinylguaiacol [phenolisch]	0,7	1,2	2,6	3,1	2,4	3,1	minimaler Unterschied, leicht süßlich, karamelartig, etwas bitter
	1,4	1,9	2,9	3,2	3,3	2,9	nelkenartig, dumpfer, bitterer Nachgeschmack,
Isoamylacetat (3-Methylbutylacetat) [estrig]	1,8	2,1	3,8	3,4	3,4	3,6	leicht fruchtig, Banane, Eisbonbon, leicht süß
	3,6	3,9	4,3	3,3	4,1	3,4	fruchtig, Banane, lösungsmittelartig, Eisbonbon

Anmerkung: Int. = Intensität; Qual. = Qualität

Die im Anschluss durchgeführten Schwellenwertsbestimmungen ergaben Unterschiedsschwellenwerte von 730 µg/l für 3-Methylbutylacetat und 495 µg/l für 4-Vinylguaiacol. Die Wiederholungen der Schwellenwertsbestimmungen für 3-Methylbutylacetat und 4-Vinylguaiacol ergaben einen Unterschiedsschwellenwert von 808 µg/l respektive 641 µg/l. Für 3-Methylbuttersäure wurde ein Unterschiedsschwellenwert von 834 µg/l in Bier erfasst

Tab. 3.4: Unterschiedsschwellenwerte verschiedener Substanzen

Substanz	Unterschiedsschwellenwert [$\mu\text{g/l}$]	Gesamt-schwellenwert [$\mu\text{g/l}$]*
3-Methylbutylacetat	730	1987
2-Methylbutylacetat	844	1267
Hexansäureethylester	378	524
Ethylacetat	8567	30197
2-Phenylethylacetat	670	902
4-Vinylguaicol	495	954

[Anmerkung: * = tatsächlich im Bier vorhandene Konzentration und Unterschiedsschwellenwert addiert]

Reihenuntersuchung

Nach Schulung des Verkosterpanels wurden 35 handelsübliche Weißbiere nach dem spezifischen Verkostungsschema für Weißbiere einer sensorischen Prüfung unterzogen. Die Gehalte an bekannten Aromastoffen von 15 dieser Biere wurden mittels der etablierten Aromastoffanalytik bestimmt. Die zugehörigen Datensätze finden sich im Tabellenanhang (siehe Tabelle T2-T4).

Estrige Note

Beim Vergleich der sensorischen Werte für die estrige Note mit den 3-Methylbutylacetatgehalten (siehe Abbildung 3.3) zeigt sich, dass sich hierbei zwei Gruppen herausbilden: bei niederen Konzentrationen des 3-Methylbutylacetats bis etwa 4,5 mg/l ergibt sich näherungsweise ein linearer Zusammenhang (Gruppe 1) mit höheren Konzentrationen nimmt die estrige Note sogar tendenziell ab (Gruppe 2).

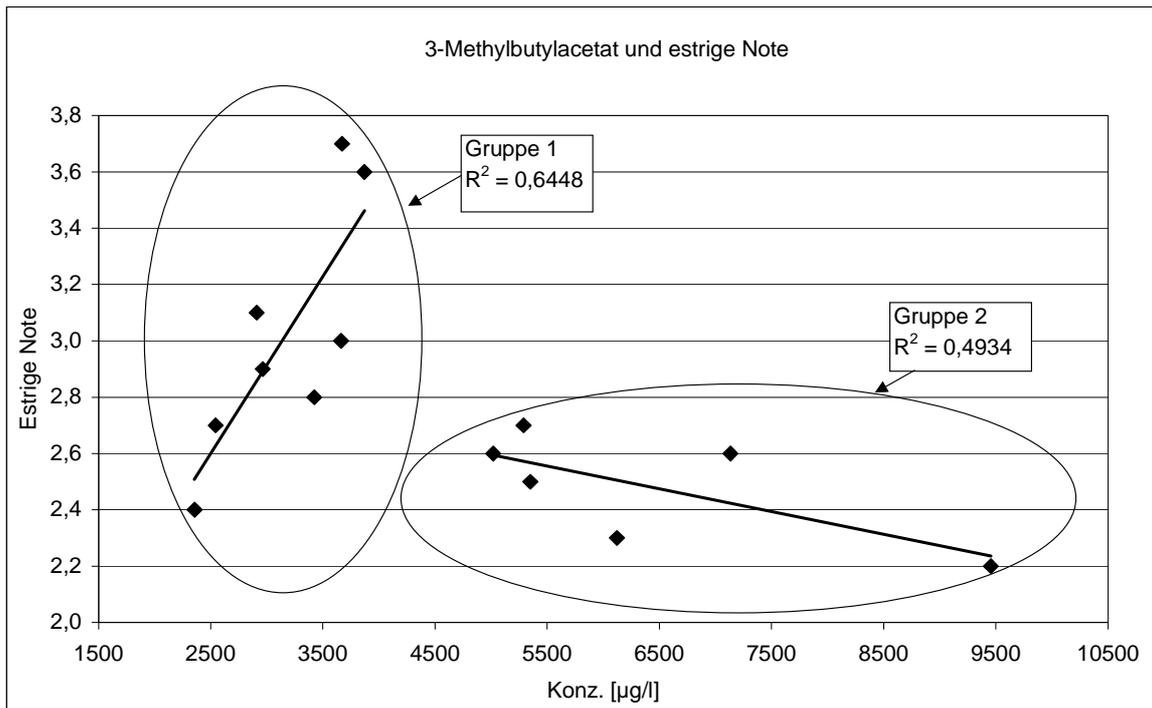


Abb. 3.3: 3-Methylbutylacetat und estrige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere

Einen weiteren Faktor stellt das Ethylacetat dar (siehe Abbildung 3.4). Auch bei dieser Substanz bilden sich beim Vergleich des sensorischen Wertes für die estrige Note und der Konzentration zwei Gruppen heraus. Bis zu einer Konzentration von etwa 40 mg/l ist kein Einfluss des Ethylacetats auf die sensorische Beurteilung zu erkennen (Gruppe 1), darüber hinaus ist eine statistisch signifikante Abnahme zu erkennen.

Auf Grund dieser Versuche ist 3-Methylbutylacetat wohl weiterhin als Leitsubstanz des estrigen Aromas zu verstehen, allerdings scheint die Sensorik stark durch das Zusammenspiel von Ethylacetat und 3-Methylbutylacetat und ihren zugehörigen Konzentrationen beeinflusst. Kapitel 3.1.3 zeigt weitere Ergebnisse, die diese Vermutung bestätigen.

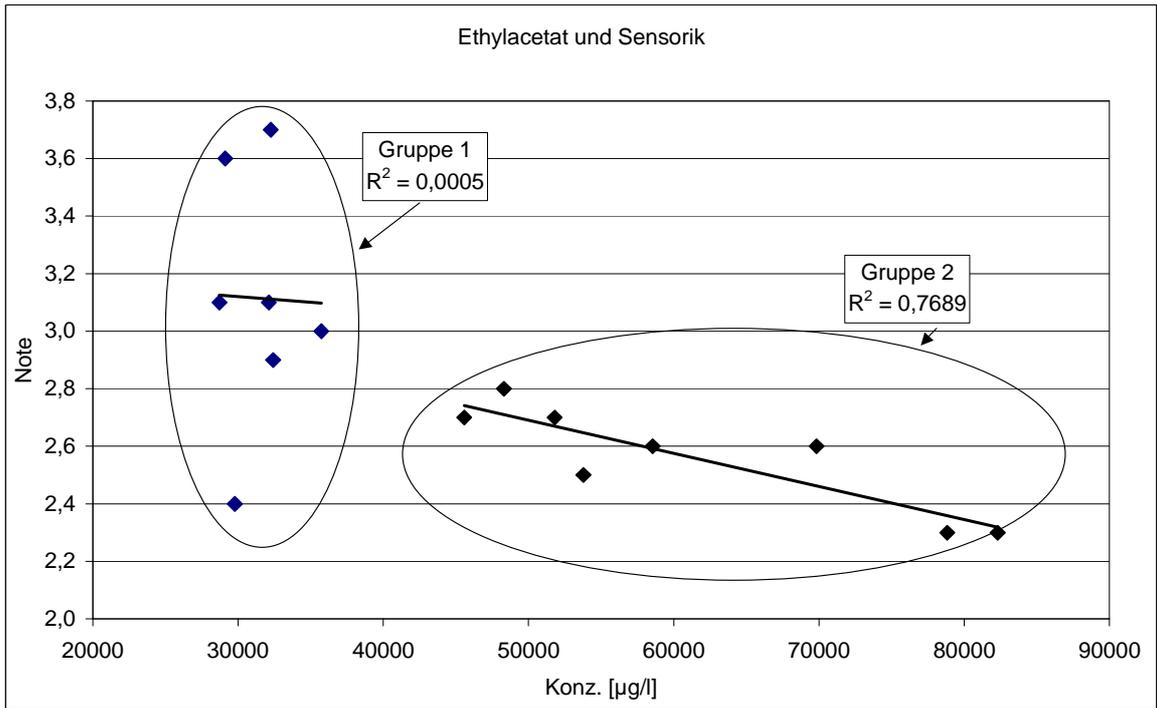


Abb. 3.4: Ethylacetat und estrige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere

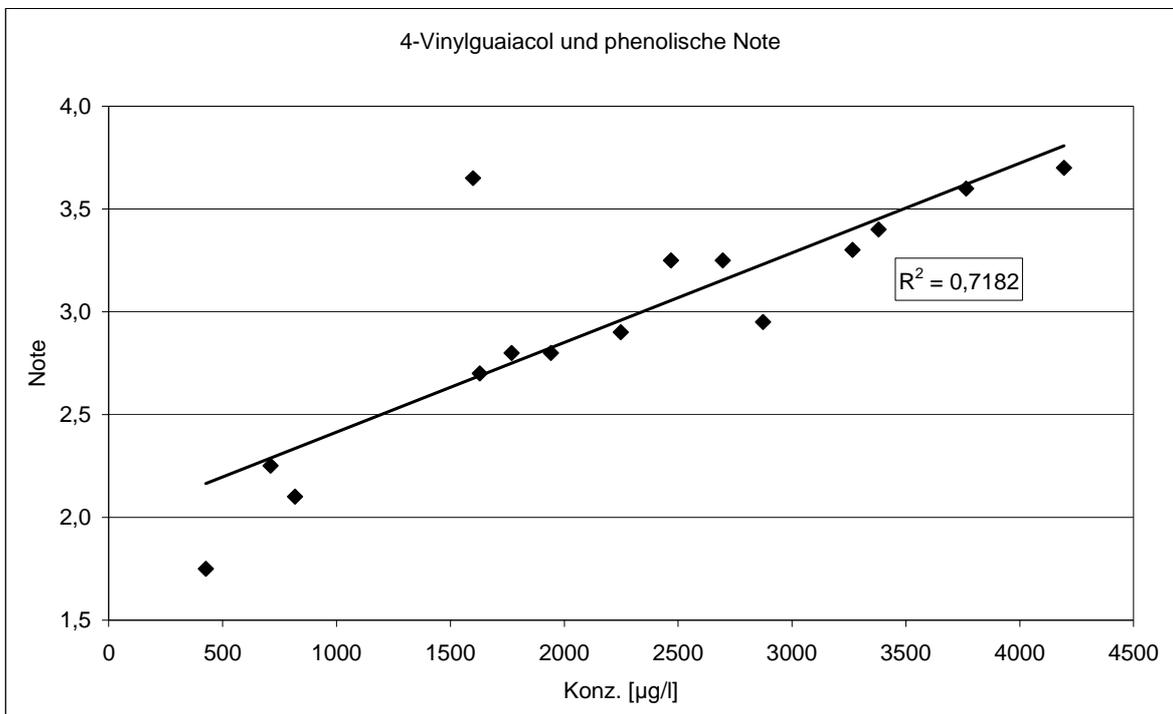


Abb. 3.5: 4-Vinylguaiacol und phenolische Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere

Phenolische Note

In der phenolischen Note zeichnet sich ein noch deutlicheres Bild ab: 4-Vinylguaiacol ist die statistisch signifikante Leitsubstanz der phenolischen Note (siehe Abbildung 3.5). Das Wertepaar für Bier 14 kann als Ausreißer betrachtet werden, ohne dies ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,9319 bzw. ein Pearson-Korrelationskoeffizient von 0,9649.

Hefige Note

Für die hefige Note konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Sensorik und einzelnen Analysenwerten der Aromastoffe hergestellt werden. Die 3-Methylbuttersäure, die in späteren Versuchen als Indikator der Hefealterung identifiziert wurde, korreliert mit der hefigen Note in frischen Bieren nur bedingt.

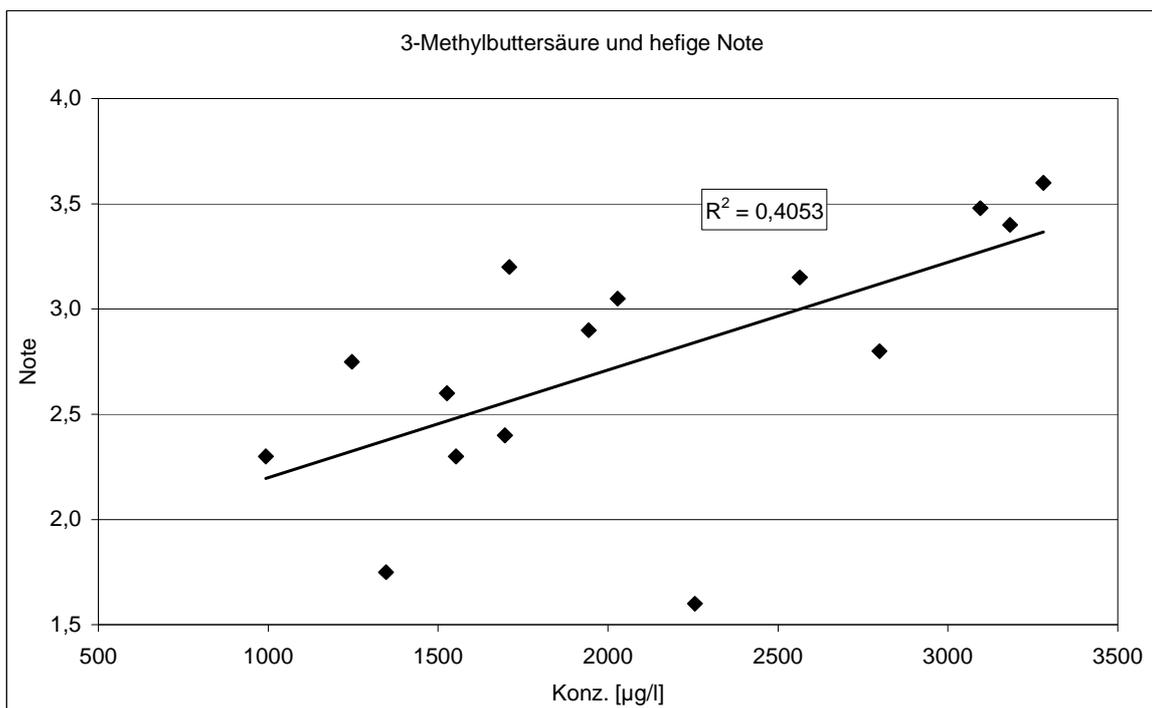


Abb. 3.6: 3-Methylbuttersäure und hefige Note bei der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere

3.1.3 Additive und synergistische Effekte der Ester

Die Ergebnisse der Reihenuntersuchungen zu dem Zusammenhang zwischen den Estern Ethylacetat und 3-Methylbutylacetat und dem sensorischen Eindruck der estrigen Note wurden durch Zumischversuche erweitert. Dabei wurden zu einem aromaarmen, untergärigen Bier bekannter Aromastoffzusammensetzung Ethylacetat und 3-Methylbutylacetat zugemischt. In Reihe 1 ergaben sich Konzentrationen von 2, 4 und 6 mg/l 3-Methylbutylacetat bei einer Konzentration des Ethylacetats von 25 mg/l nach Zumischung. Für Reihe 2 und 3 wurde die Variation der 3-Methylbutylacetatkonzentrationen beibehalten, die Ethylacetatkonzentration wurde auf 45 mg/l respektive 65 mg/l erhöht. Aufgabe der 7 teilnehmenden Verkoster war es, in jeder Reihe die Biere nach zunehmendem fruchtig-bananigen Charakter zu ordnen (Rangordnungsprüfung) und zusätzlich die Intensität der estrigen Note nach der bekannten Skale zu bewerten. Die Tabelle 3.5 zeigt die Ergebnisse dieser Verkostung, die Ergebnisse zur Wiederholung dieses Tests finden sich im Tabellenanhang (siehe Tabelle T5).

Tab. 3.5: Ergebnisse der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistische Effekten der Ester

	Ethylacetat [mg/l]		Ethylacetat [mg/l]		Ethylacetat [mg/l]	
	25		45		65	
3-Methylbutyl- acetat [mg/l]	Rang- ordnung	Inten- sität	Rang- ordnung	Inten- sität	Rang- ordnung	Inten- sität
2	2	3,2	2	2,8	1	2,3
4	1	3,8	1	3,2	2*	1,7
6	3	3,1	3	2,4	2*	1,6

[Anmerkung: *: keine Unterscheidung möglich]

Abbildung 3.7 stellt diesen Zusammenhang graphisch dar. Es ist aus der Gesamtheit der Zumischversuche und der Reihenuntersuchungen zu schließen, dass 3-Methylbutylacetat ab einer Konzentration von etwa 4-6 mg/l, in Abhängigkeit der persönlichen Wahrnehmung, seine positiven Aromaeigenschaften verliert und statt dessen als „Off-Flavour“ wahrgenommen

wird. Für Ethylacetat ist ein Grenzwert im Bier unterhalb 45 mg/l anzustreben, da sich dort bereits negative synergistische Effekte mit dem 3-Methylbutylacetat feststellen ließen. Bei noch höheren Konzentrationen unterdrückt Ethylacetat die positiven Aromaeindrücke des 3-Methylbutylacetats nahezu vollständig. 3-Methylbutylacetat und Ethylacetat sind also stets im Zusammenhang zu betrachten, sie beeinflussen sich gegenseitig und bestimmen den estrigen Charakter des Bieres.

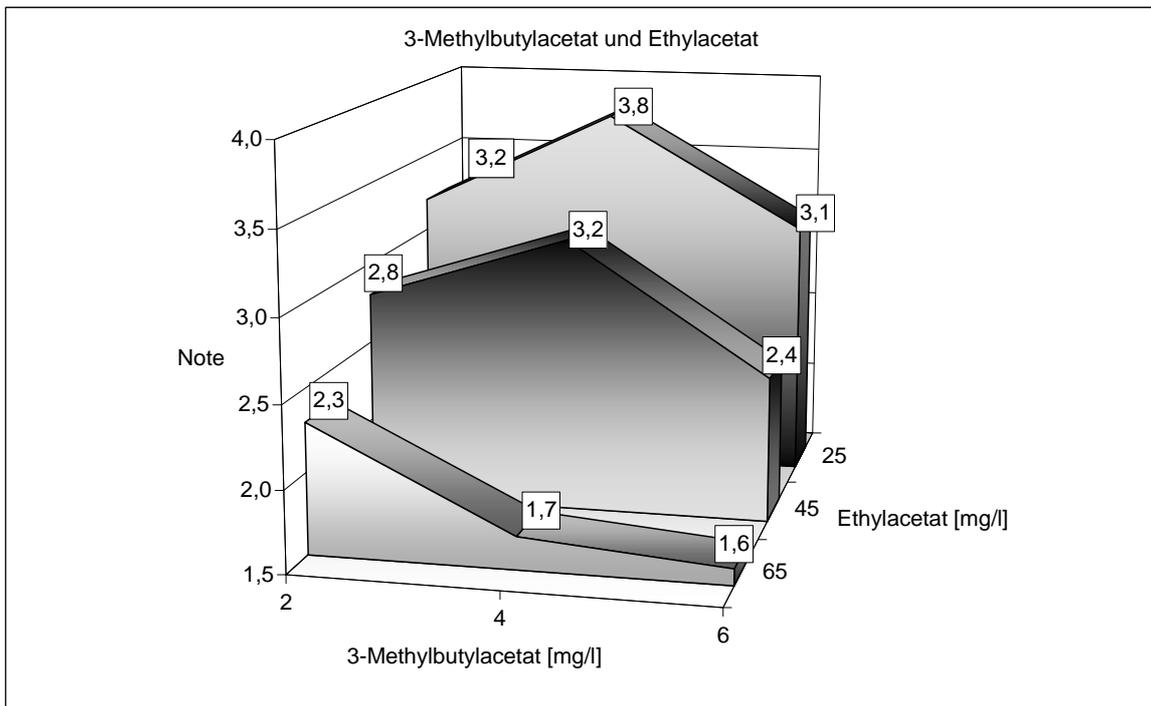


Abb. 3.7: Ergebnisse der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistischen Effekten der Ester

Die Reduktion der Intensität der estrigen Note ist aber nicht nur in der Zunahme des lösungsmittelartigen Charakters zu sehen, viel mehr werden Biere mit sehr hohen Werten an 3-Methylbutylacetat (> 6 mg/l) und Ethylacetat (> 50-70 mg/l) als „leer“ bezeichnet.

3.2 Einfluss des Rohstoffes „Weizenmalz“ auf Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe

Den wohl bedeutendsten Beitrag zu den Erkenntnissen zum Einfluss des Rohstoffes Weizenmalz auf die Entstehung qualitätsbestimmender Aromastoffe lieferte Sacher [1997]. Demnach (siehe 1.1) ist die Weizenpartie zu 23 % an der Ausprägung der sensorischen Ausstattung von Weizenbieren beteiligt. Die Untersuchungen Sachers beinhalteten jedoch keine Messungen der phenolischen Komponenten und sind daher hinsichtlich dieses Sachverhaltes zu ergänzen. Auch war es ihm nicht möglich nach Sorten- und Standortabhängigkeiten zu differenzieren. Nitzsche [1992] fand für die Ausbildung der phenolischen Aromastoffe eine Sorten- und Standortabhängigkeit, da jedoch lediglich 3 Sorten bei 2 Standorten untersucht wurden sollte diese Aussage noch durch weitere Untersuchungen gestützt werden.

Sorte und Anbaugebiet beeinflussen die Würzezusammensetzung und haben somit Auswirkungen auf die Entstehung der Gärungsnebenprodukte (siehe 1).

Untersuchungen bei Gersten zeigten, dass es in aus verschiedenen Sorten hergestellten Würzen Unterschiede im Maltosegehalt gibt, was auf Unterschiede im β -Amylasegehalt zurückgeführt wird. Dahingegen konnten im Maltotriose- und Saccharosegehalt keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden. Der differierende Anteil an Hexosen wird auf unterschiedliche Gehalte an Grenzdextrinase, Glucosidase und Maltase zurückgeführt. Der Gehalt des Malzes an Hexosen wird weitgehend durch Umwelt und Technologie, der an Saccharose durch Umwelt und Sorte, der an Maltose am meisten durch Sorte und der an Maltotriose durch Umwelt und Technologie beeinflusst [Piendl 1968; Piendl 1972]. Es konnte außerdem festgestellt werden, dass die Kohlenhydratentwicklung im Korn bei Weizen und Gerste sehr ähnlich und die Stärkeeinlagerung im Korn fast ausschließlich eine Funktion der Durchschnittstemperatur ist, so dass die oben erwähnten Erkenntnisse auch für Weizenmalz und die daraus hergestellte Würze gelten dürfte [Cerning 1973].

Frühere Untersuchungen an Gersten zeigten, dass die Menge an zur Verfügung stehenden Aminosäuren je nach Anbauort deutlichen Schwankungen unterliegt und dass sich aus dem Eiweißgehalt des Malzes in keiner Weise auf das zu erwartende Niveau an Aminosäuren schließen lässt [Mändl 1971]. Der Eiweißgehalt hängt größtenteils von den Witterungsverhältnissen und Anbaugesbiet ab, kann aber durch erhöhte Stickstoffdüngung gesteigert werden. Der Einfluss der Düngung ist aber im Vergleich zur Sortenabhängigkeit merklich geringer [Schildbach 1969; Schildbach 1975]. Ausschlaggebend für den FAN-Gehalt in Würze ist laut Sacher [1997] jedoch das Mälzungsverfahren.

Der Zinkgehalt in Malzen unterliegt deutlichen Sortenschwankungen, wird aber durch die Bodenbeschaffenheit des jeweiligen Anbauortes dominiert wie in Untersuchungen bei Gerste festgestellt wurde [Mändl 1973; Mändl 1975; Narziss 1999]. Weizenmalz ist im Allgemeinen reich an Zink [Holzmann 1978]. Der Gehalt an Zink in der Würze wird im Wesentlichen durch die Malzlösung und die Maischebedingungen bestimmt [Holzmann 1977]. Allerdings unterliegt der Zinkgehalt in Würzen größeren Schwankungen als der Gehalt in den Malzen, so dass der Gehalt dieses Elements in der Würze offensichtlich von anderen Parametern beherrscht wird als dem Zinkgehalt des Malzes [Jacobsen 1981].

In früheren Untersuchungen bei Gersten wurde festgestellt, dass der pH-Wert jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, sowie bedingt durch Sorte und Anbaugesbiet Unterschiede aufweist. Eine klare Reihenfolge der Gewichtigkeit dieser Faktoren konnte nicht aufgestellt werden [Narziß 1969; Narziß 1970]. Sacher [1997] stellte bei Weizen fest, dass der pH-Wert zu 57 % von der Mälzungstechnologie abhängt und lediglich zu 12 % von der Weizenpartie.

Die Viskosität kann bei Weizenmalzen durch kombinierte Wirkungen von Sorte und Umwelt im Gegensatz zu Gerstenmalzen enorme Ausprägungen annehmen. So stellte Sacher eine Abhängigkeit der Viskosität von der Weizenpartie von 90 % fest [Sacher 1997]. Andere Untersuchungen, die sich allerdings mit Gerstenmalzen beschäftigten, zeigten, dass die Viskosität im Wesentlichen durch den Anbauort beeinflusst wird, wohingegen sich bei den Sorten eines Anbauortes keine signifikanten Unterschiede ergaben [Hwang 1986].

3.2.1 Material und Versuchsaufbau der Versuchsreihe „Weizenmalz“

Es wurden 11 Muster helles Weizenmalz der Ernte 2002 und 12 Muster helles Weizenmalz der Ernte 2003 sowie Pilsener Malz der Sorte Saloon aus Weißensee verwendet. Die Malzmuster wurden mit Ausnahme einiger weniger Muster, bei denen es sich um Rückstellmuster handelte, als Doppelbestimmung versotten, um eine höhere statistische Aussagekraft zu erhalten. Die Herkunftsangaben der Weizenmalze wurden so präzise wie sie die entsprechenden Mälzereien angeben konnten für diese Arbeit übernommen. Eine Veränderung des Charakters des Bieres auf Grund einer längeren Lagerung von Malz und Rohware, hier der Ernte 2002, konnte in Untersuchungen nicht festgestellt werden, da die Veränderungen im Korn äußerst gering ausfallen [Warchalewski 1985; Wackerbauer 2003].

Die Schüttung bestand bei jedem Versuch aus 30 % Pilsener Malz und 70 % Weizenmalz der jeweiligen Charge mit einer Gesamtmenge von 1,5 kg. Die Rasten wurden bei 45 °C (20 min), 60 °C (20 min) und 70 °C (20 min) durchgeführt. Gärung, Reifung und Lagerung wurden wie in Kapitel 2 beschrieben durchgeführt.

3.2.2 Ergebnisse Versuchsreihe „Weizenmalz“

Die gesamten Ergebnisse der chemisch-technischen Analysen der Malze, Würzen und Biere sind dem Anhang zu entnehmen (Tab. T6-T65). In den folgenden Abschnitten dienen diese Daten als Grundlage zur Diskussion.

Viskosität und Läuterdauer

Neben neuen Erkenntnissen zur Bildung der Aromastoffe sollten diese Untersuchungen auch einen Beitrag zur Verarbeitbarkeit der Weizenmalze liefern. Abbildung 3.8 zeigt die Läuterdauer in Abhängigkeit von der Viskosität der Pfanne-Voll-Würze der Versuchssude der Ernte 2002 und 2003.

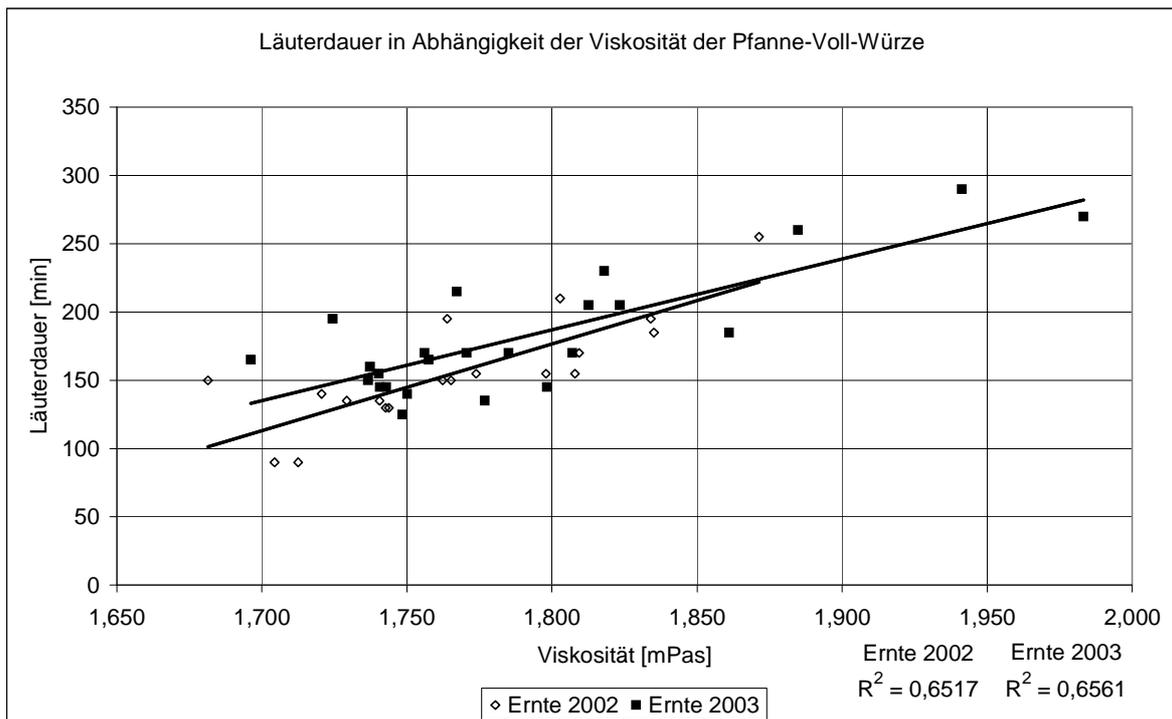


Abb. 3.8: Läuterdauer in Abhängigkeit der Viskosität der Pfanne-Voll-Würze

Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, besteht eine Korrelation zwischen der Viskosität der Pfanne-Voll-Würze und der Läuterdauer.

Zum Vergleich ist in Abbildung 3.9 die Läuterdauer in Abhängigkeit von der Viskosität der Kongresswürzen der Weizenmalze dargestellt.

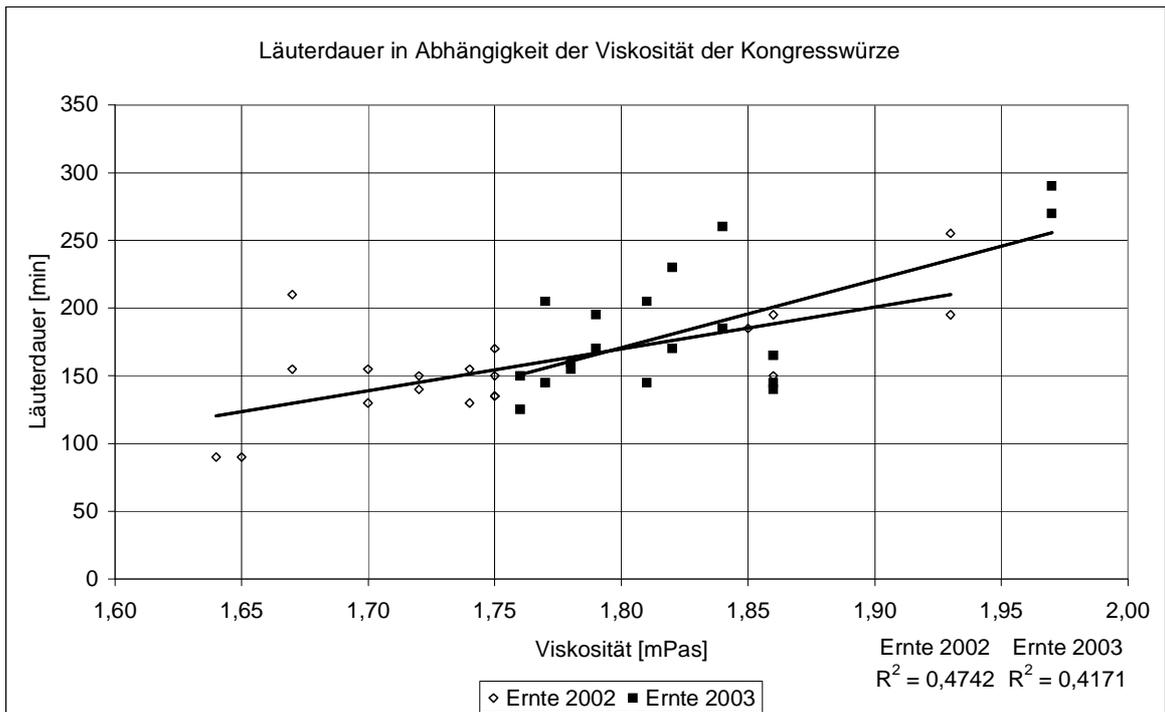


Abb. 3.9: Läuterdauer in Abhängigkeit der Viskosität der Kongresswürze

Es besteht also kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Viskosität der Kongresswürze und der Läuterdauer. Die Viskosität der Kongresswürze ist demzufolge keine geeignete Kennzahl, um die Verarbeitbarkeit, hier der Läuterarbeit, vorherzusagen.

Weiter zeigt sich, dass die Läuterzeiten für die Versuchssude der Ernte 2003 gegenüber der Ernte 2002 durchschnittlich 25 min länger waren, obwohl die durchschnittliche Viskosität der Panne-Voll-Würze der Ernte 2003 lediglich um 0,022 mPa s höher als die Viskosität der Pfanne-Voll-Würze der Ernte 2002 war. Diese Erhöhung der Läuterdauer entspricht einer Steigerung um 16 % gegenüber der Ernte 2002. Eine mögliche Ursache hierfür ist der durchschnittlich 0,75 Prozentpunkte höhere Eiweißgehalt der Weizenmalze der Ernte 2003 gegenüber der Ernte 2002. Bereits Schmid [1978a; 1978b] wies auf einen Einfluss der Eiweißfraktionen auf die Verarbeitbarkeit hin. Auch Untersuchungen zur Filtrierbarkeit von Weizenbieren ergaben, dass durch Zugabe bestimmter proteolytischer Enzyme bzw. Enzymmischungen die Filtrierbarkeit verbessert werden konnte [Kreis 2002]. Da die Filtration und der Läuterprozess aus

verfahrenstechnischer Sicht sehr ähnlich sind, könnten für Läuterprobleme also bestimmte Eiweißfraktionen verantwortlich sein.

Würzearomastoffe

Es zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Malzmustern, eine Sortenabhängigkeit ist dabei jedoch nicht zu erkennen.

Vicinale Diketone

Die Beeinflussung der vicinalen Diketone durch die verschiedenen Malzpartien scheint, wie Sacher [1997] bereits darstellte, nur gering zu sein.

Gehalt an höheren Alkoholen

Laut Miedaner [1980] findet sich auch bei den höheren Alkoholen, entsprechend den Estern (siehe 1.1.1), eine Abnahme der Konzentration im Bier mit höheren FAN-Gehalten. Abbildung 3.10 zeigt exemplarisch die Konzentrationen des 3-Methylbutanols gegenüber dem Gehalt an Freiem Amino-Stickstoff der Anstellwürze für die Sude der Malze der Ernte 2002 und 2003. Der bei Miedaner gefundene Zusammenhang kann hier so nicht bestätigt werden. Dies dürfte zum einen an der Tatsache liegen, dass der Gehalt an Freiem Amino-Stickstoff in den Versuchssuden keiner derartig ausgedehnten Bandbreite wie bei Miedaner unterlag, zum anderen handelte es sich bei Miedaner um eine Sorte Gerstenmalz und nicht, wie hier, um mehrere Malzmuster.

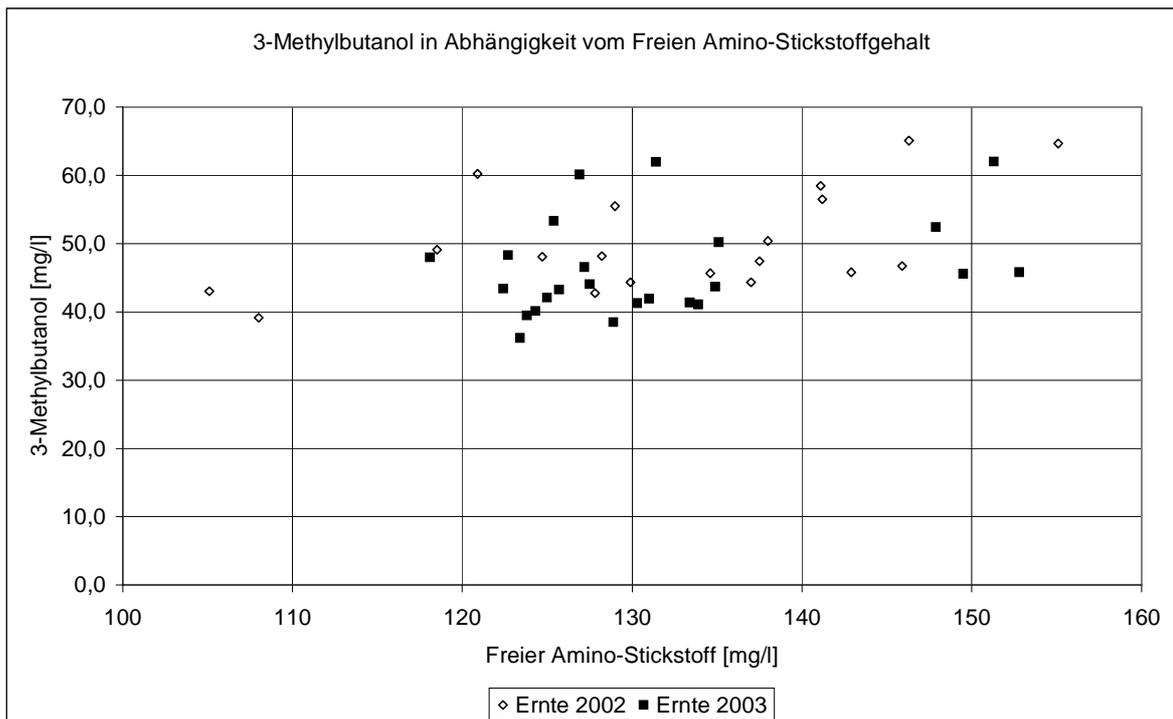


Abb. 3.10: Konzentrationen an 3-Methylbutanol in Abhängigkeit vom Freien Amino-Stickstoffgehalt

Estergehalt

An dieser Stelle soll auf die für das Weißbieraroma wichtigsten Vertreter der Ester, Ethylacetat, 3-Methylbutylacetat und 2-Methylbutylacetat, stellvertretend für alle Ester eingegangen werden.

In den Abbildungen 3.11 und 3.12 sind die Konzentrationen des Ethylacetats der jeweiligen Sorten der Ernte 2002 und 2003 dargestellt.

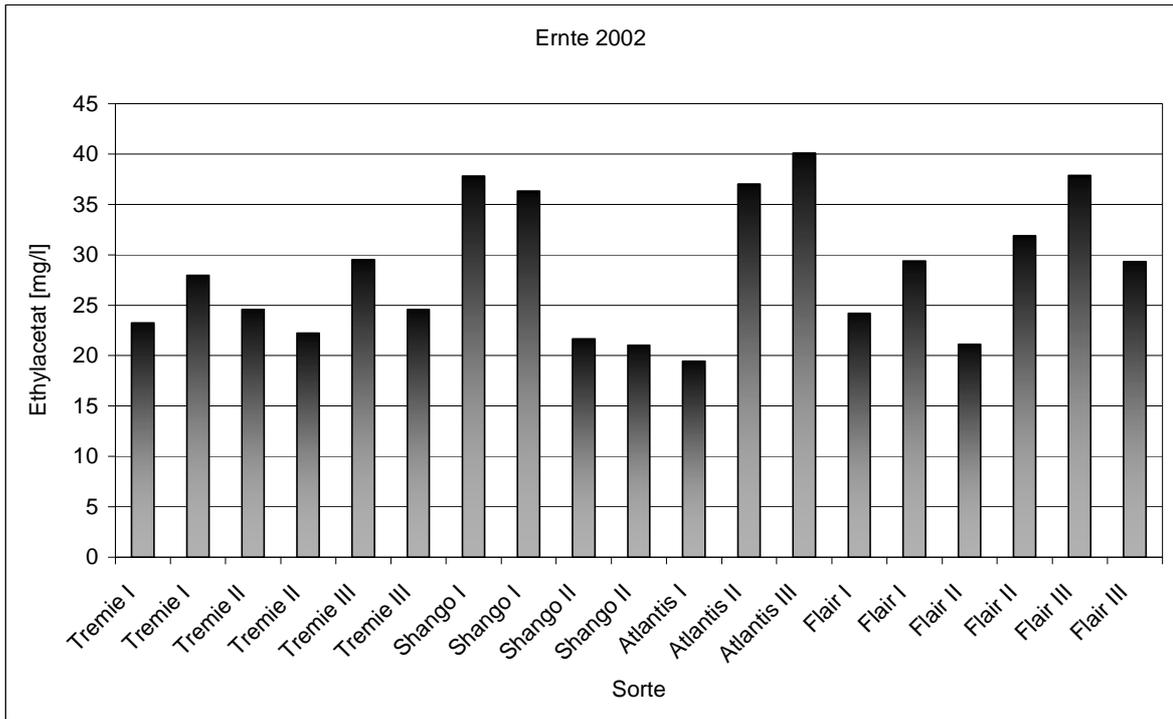


Abb. 3.11: Konzentrationen an Ethylacetat der Sorten der Ernte 2002

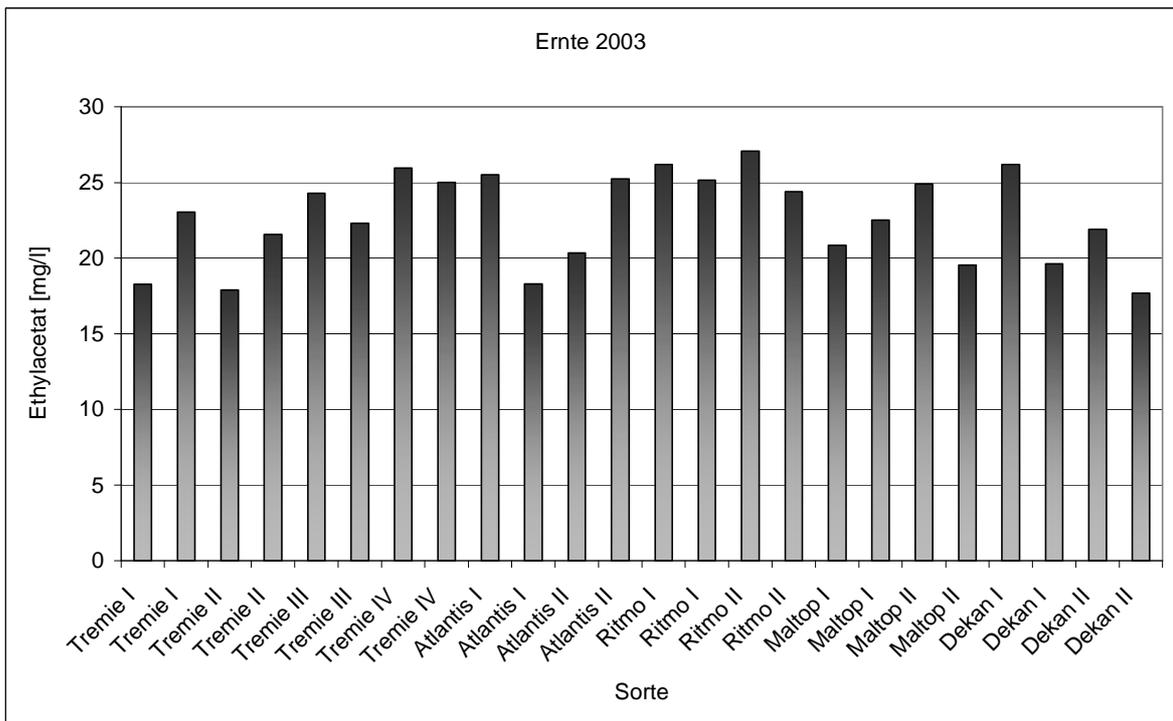


Abb. 3.12: Konzentrationen an Ethylacetat der Sorten der Ernte 2003

Es zeigen sich deutliche Unterschiede im Ethylacetatgehalt, die anscheinend keine Sortenabhängigkeit erkennen lassen. Sacher [1997] bezifferte den Einfluss der Sorte und des Anbaugebietes auf die Ethylacetatbildung auf lediglich 8 %. Sowohl in den Versuchen zur Ernte des Jahres 2002 und des Jahres 2003 fällt auf, dass deutliche Abweichungen zwischen den Wiederholungsversuchen bestehen. Die Wiederholbarkeit sowohl bei 3-Methylbutylacetat (siehe Abb. 3.13 und Abb. 3.14) als auch bei 2-Methylbutylacetat (siehe Abb. 3.15 und Abb. 3.16) ist weitaus größer. Es ist daher zu vermuten, dass der Einfluss der Hefecharge/Hefevitalität auf die Ethylacetatbildung von größerer Bedeutung als bei den weiteren Estern ist.

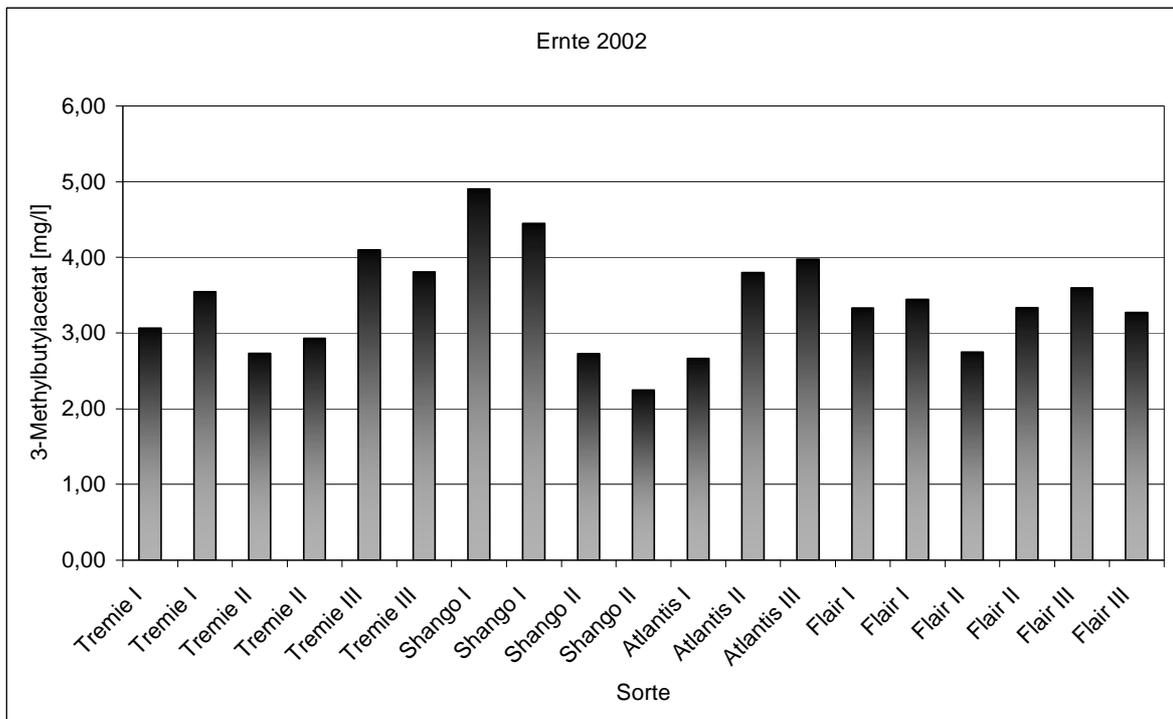


Abb. 3.13: Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2002

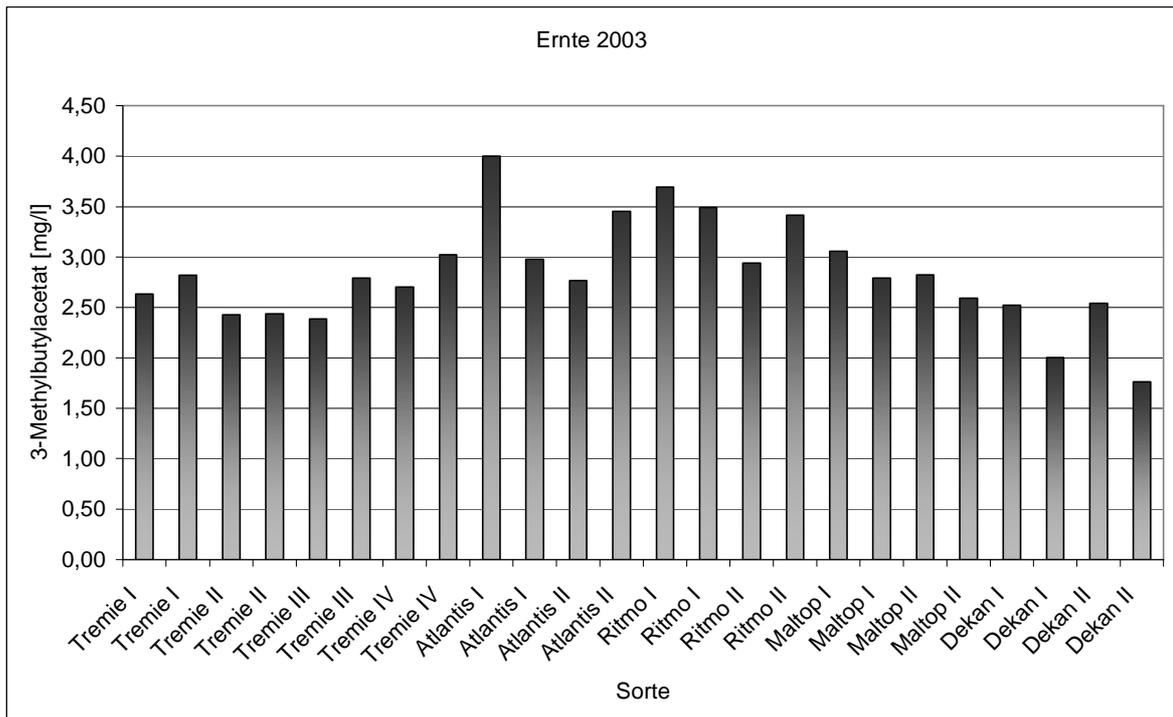


Abb. 3.14: Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2003

Es zeigen sich deutliche Unterschiede im 3-Methylbutylacetatgehalt, die anscheinend keine Sortenabhängigkeit erkennen lassen. Es scheint vielmehr, vor allem bei den Versuchen zur Ernte des Jahres 2002, eine Abhängigkeit von der Provenienz und damit den agronomischen Bedingungen zu bestehen.

In den Abbildungen 3.15 und 3.16 sind die Konzentrationen des 2-Methylbutylacetats der jeweiligen Sorten der Ernte 2002 und 2003 dargestellt.

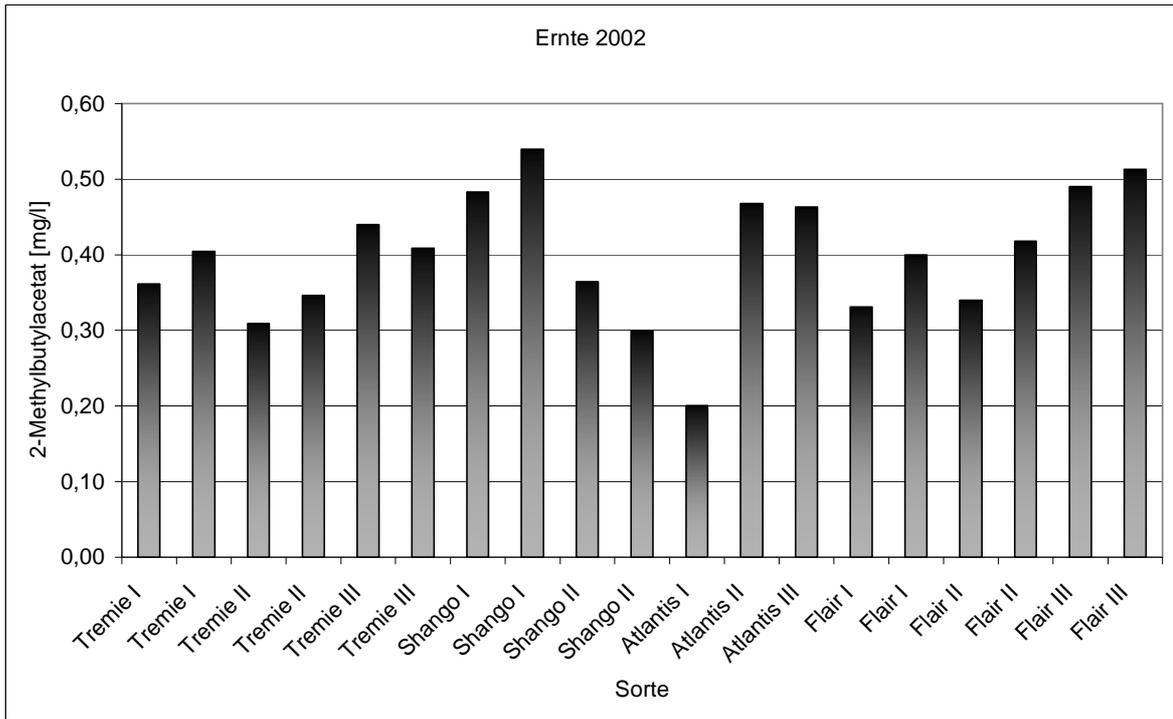


Abb. 3.15: Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2002

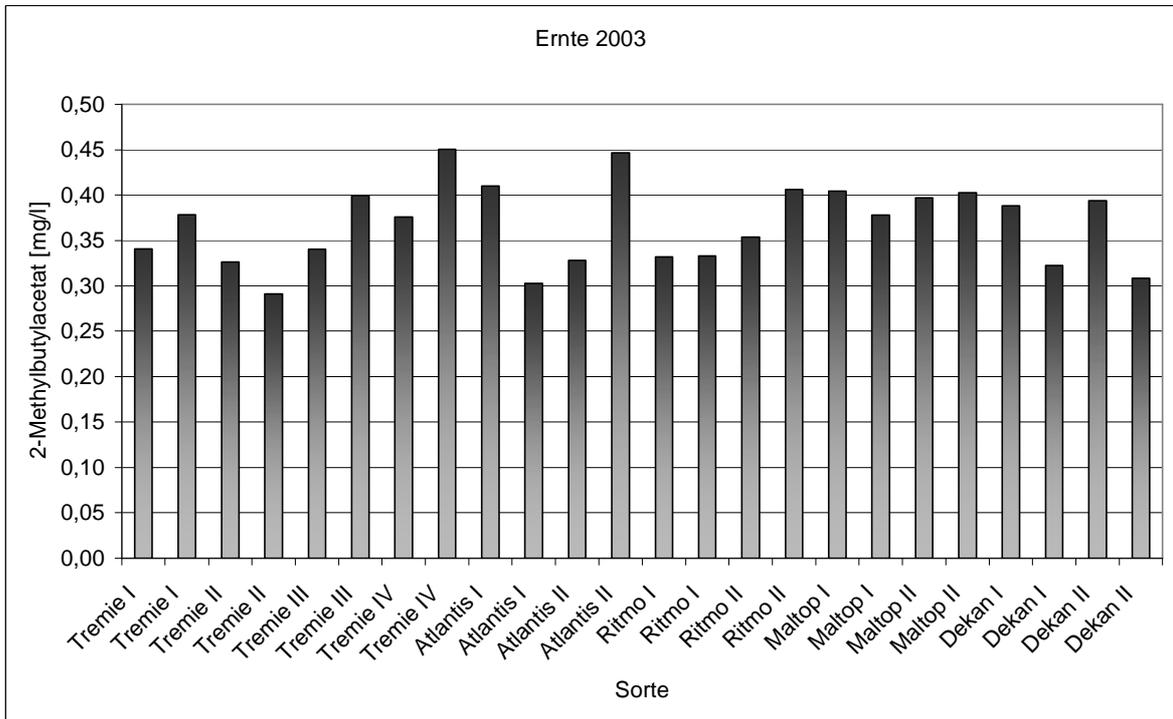


Abb. 3.16: Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat der Sorten der Ernte 2003

2-Methylbutylacetat und 3-Methylbutylacetat verhalten sich ähnlich. Auch hier scheint keine Sortenabhängigkeit zu bestehen, die Unterschiede sind wohl in unterschiedlichen Aufwuchsbedingungen begründet.

Auch für die Esterbildung wurde versucht den bei Miedaner [1980] und Back [1998] gefundenen Zusammenhang mit dem FAN-Gehalt bzw. der proteolytischen Lösung nachzuvollziehen. Wie Abbildung 3.17 zeigt, können im Rahmen dieser Versuchsreihe diese Abhängigkeiten nicht nachvollzogen werden. Dies liegt wohl zum einen an der geringeren Streuung der FAN-Gehalte in dieser Versuchsreihe, zum anderen wurde bei Miedaner [1980] nur eine Sorte Malz verwendet.

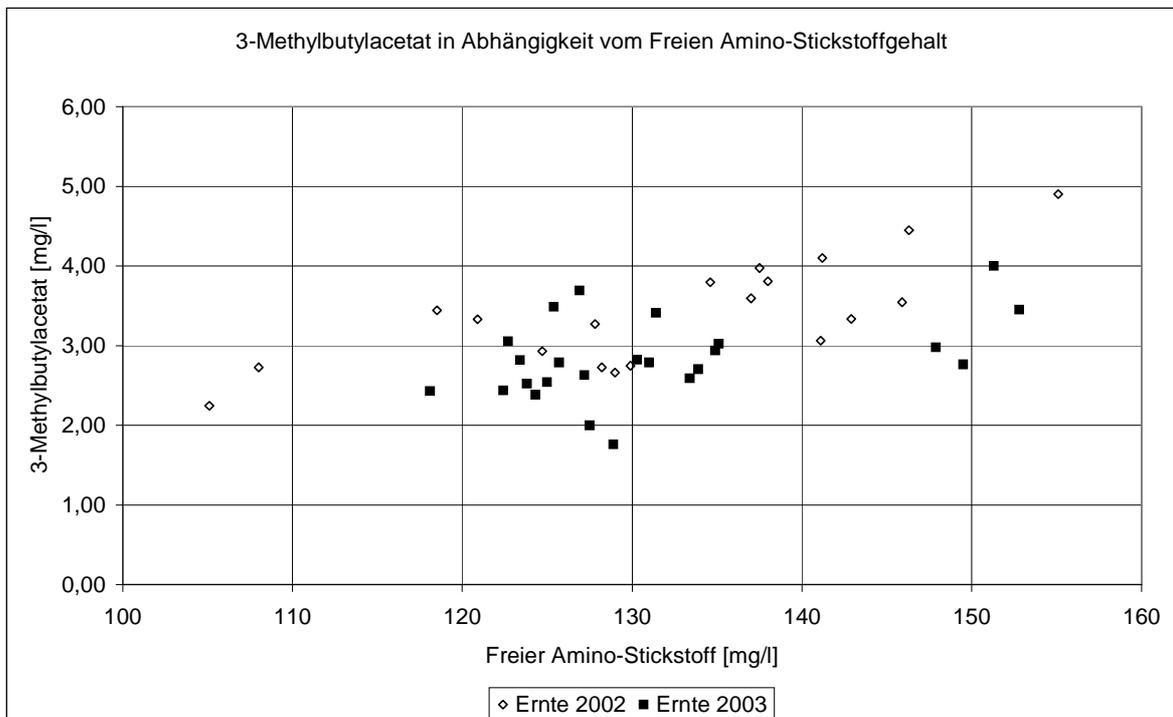


Abb. 3.17: Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Freien Amino-Stickstoffgehalt

Als nächste Erklärungsmöglichkeit wurde ein Augenmerk auf die Zuckerspektren der Anstellwürzen gelegt. So ergeben im allgemeinen Würzen mit höheren Konzentrationen an Fructose und Glucose höhere Estergehalte als Würzen mit hohen Maltoseanteilen [Engan 1972; Pfisterer 1975; White 1979; Younis 1998; Younis 2000]. Pajunen et al. stellten fest, dass auch höhere Saccharosegehalte zu

vermehrter Esterbildung führen [Pajunen 1977]. Es erscheint aber sehr unwahrscheinlich, dass die festgestellten geringfügigen Unterschiede bei der Zuckerzusammensetzung die doch deutlichen Unterschiede bei der Esterbildung erklären können (siehe 3.4). Aus Abbildung 3.18 ist zu erkennen, dass zwischen dem Anteil an Fructose, Glucose und Saccharose an den gesamt vergärbaren Zuckern der Anstellwürze und der Esterbildung, hier 3-Methylbutylacetat, kein nachweisbarer Zusammenhang besteht.

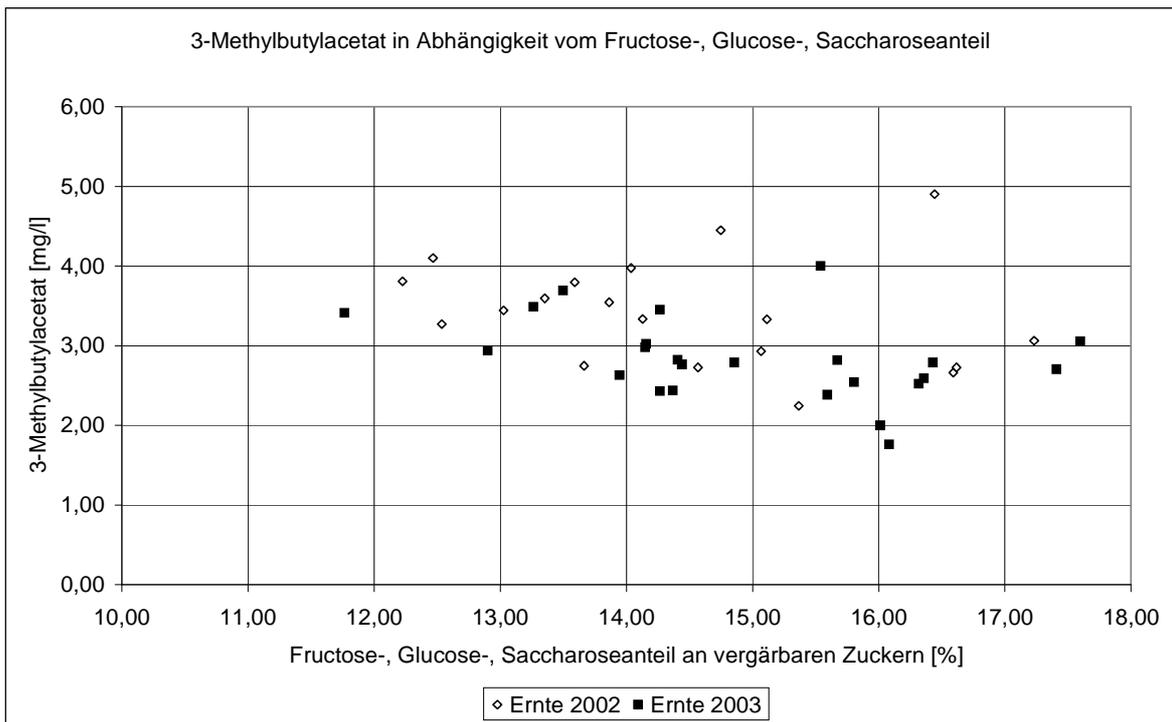


Abb. 3.18: Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Fructose-, Glucose-, Saccharoseanteil

Der Einfluss der Zuckerzusammensetzung kann nur bei den entsprechenden Datenpaaren der einzelnen Malzmuster bestätigt werden, nicht aber insgesamt für alle Sude einer Ernte.

Als weiterer Einflussfaktor auf die Esterbildung wird in der Literatur das Aminosäurespektrum genannt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass es bei der Aminosäurenanalyse der Wiederholungsversuche der Sorten Tremie IV, Ritmo II, Maltop II, Dekan I und Dekan II der Ernte 2003 trotz Mehrfachbestimmung zu

Unstimmigkeiten kam. Ihre Ergebnisse sind zur Vervollständigung der Daten im Tabellenanhang mit aufgeführt, sind aber nicht für die Darstellung der Diagramme in den Abbildungen 3.19 und 3.20 berücksichtigt.

Die Umwelteinflüsse sind für die Eiweißzusammensetzung des Weizens und damit für die Zusammensetzung der Aminosäureausstattung der Würze entscheidend [Sacher 1997]. Diese Zusammensetzung des Aminosäurespektrums, das heißt das Verhältnis der einzelnen Aminosäuren untereinander, ändert sich während des Maischens nicht [Narziß 1981a].

Für 3-Methylbutylacetat ist dabei das Verhältnis des Leucins zur Summe der Aminosäuren entscheidend (siehe Abbildung 3.19), da die Hefe die Aminosäure Leucin über den Ehrlich-Mechanismus zum 3-Methylbutanal umwandelt und anschließend zum 3-Methylbutanol reduziert. Dieser Alkohol wird letztlich mittels Acetyl-CoA zum 3-Methylbutylacetat verestert [Engan 1970; Äyräpää 1971; Narziß 1981a; Calderbank 1994; Sablayrolles 1995].

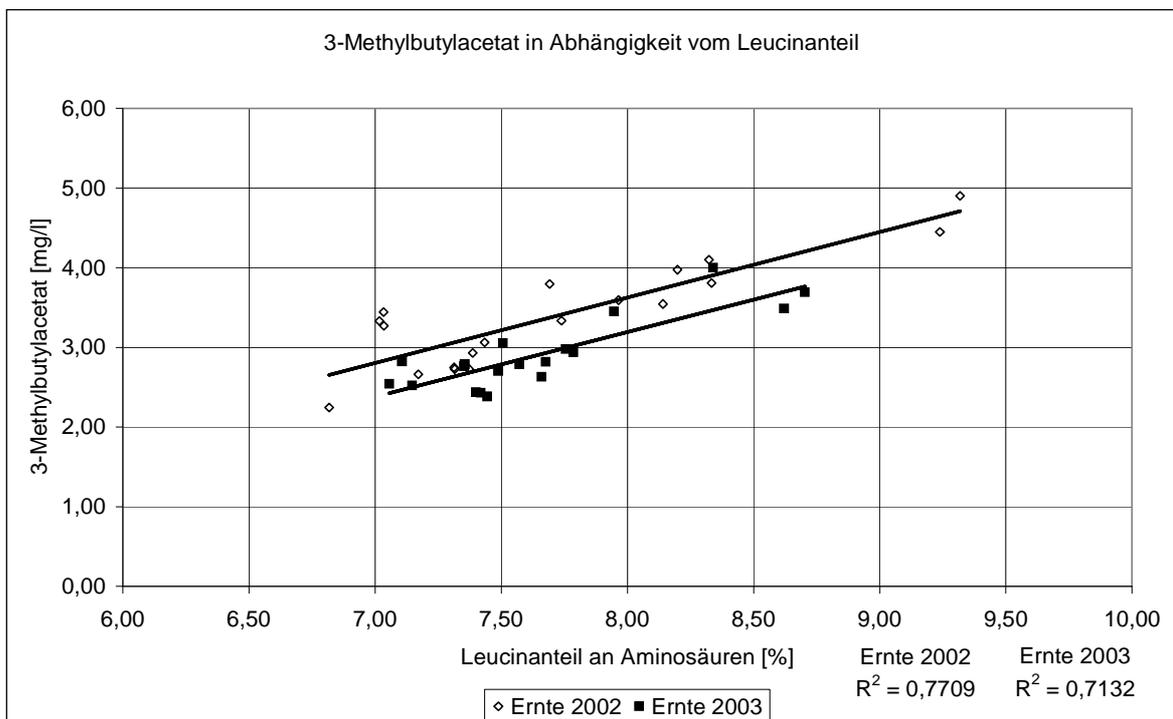


Abb. 3.19: Konzentrationen an 3-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Leucinanteil

Für 2-Methylbutylacetat findet sich ein ähnlicher Zusammenhang. Allerdings ist für die Bildung des 2-Methylbutylacetats die Aminosäure Isoleucin mit ihrem Anteil an der Summe der Aminosäuren entscheidend. In Abbildung 3.20 wird die Abhängigkeit des 2-Methylbutylacetats vom Isoleucinanteil dargestellt.

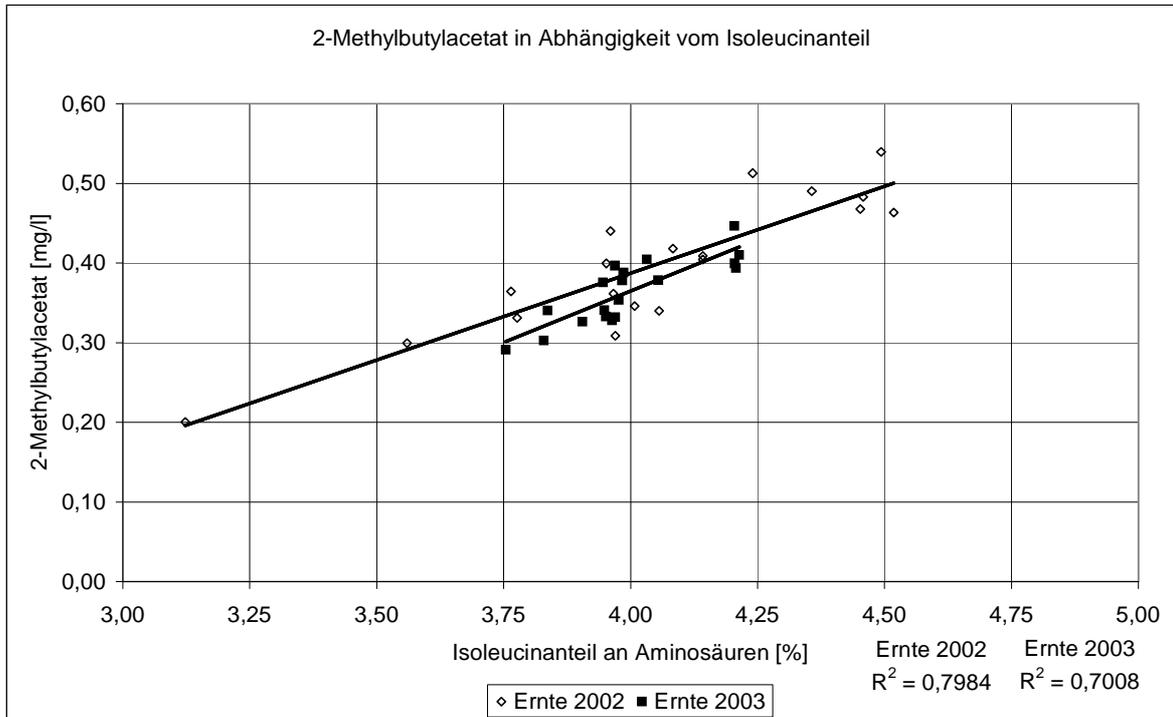


Abb. 3.20: Konzentrationen an 2-Methylbutylacetat in Abhängigkeit vom Isoleucinanteil

Isoleucin wird also, entsprechend dem Leucin, mittels des Ehrlich-Mechanismus zum 2-Methylbutanol umgewandelt. Höhere Anteile an dieser Aminosäure führen dementsprechend zu höheren Gehalten des korrespondierenden Esters. Die Umwelteinflüsse sind mitentscheidend für die Aminosäurezusammensetzung und somit auch für die Unterschiede in der Bildung des 3-Methylbutylacetats und des 2-Methylbutylacetats.

4-Vinylguaiacolgehalt

Die Ergebnisse der Bestimmung des 4-Vinylguaiacols sind dem Anhang zu entnehmen. In den Abbildungen 3.21 und 3.22 sind die 4-Vinylguaiacolgehalte der jeweiligen Sorten der Ernte 2002 und 2003 dargestellt.

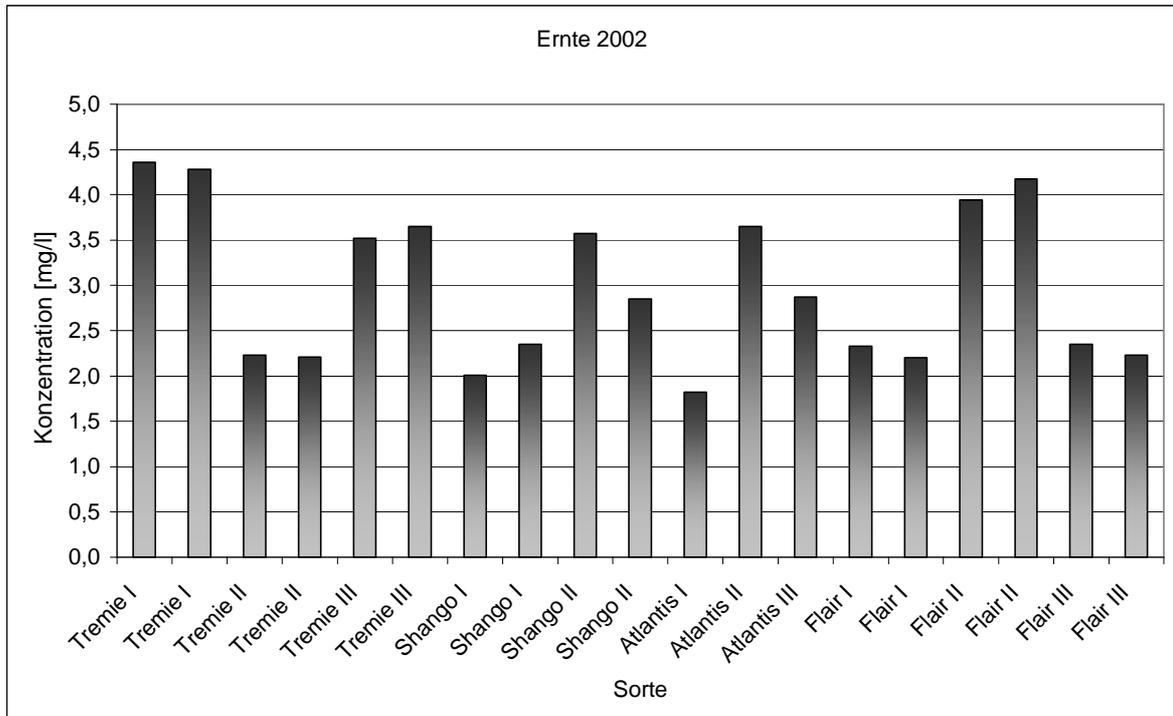


Abb. 3.21: Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten der Ernte 2002

Es zeigen sich deutliche Unterschiede im 4-Vinylguaiacolgehalt, die anscheinend keine Sortenabhängigkeit erkennen lassen, auch wenn hier die französischen Sorten, sowohl der Ernte 2002 als auch der Ernte 2003, etwas mehr 4-Vinylguaiacol ergaben. Es scheint vielmehr eine Abhängigkeit von der Provenienz und damit den agronomischen Bedingungen zu bestehen. Es lässt sich außerdem feststellen, dass die Sorten der Ernte 2002 insgesamt etwas höhere Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol ergaben als die Sorten der Ernte 2003.

Entscheidend ist dabei der Gehalt an Ferulasäure als Vorläufersubstanz in der Ausschlagwürze (siehe Abbildung 3.23).

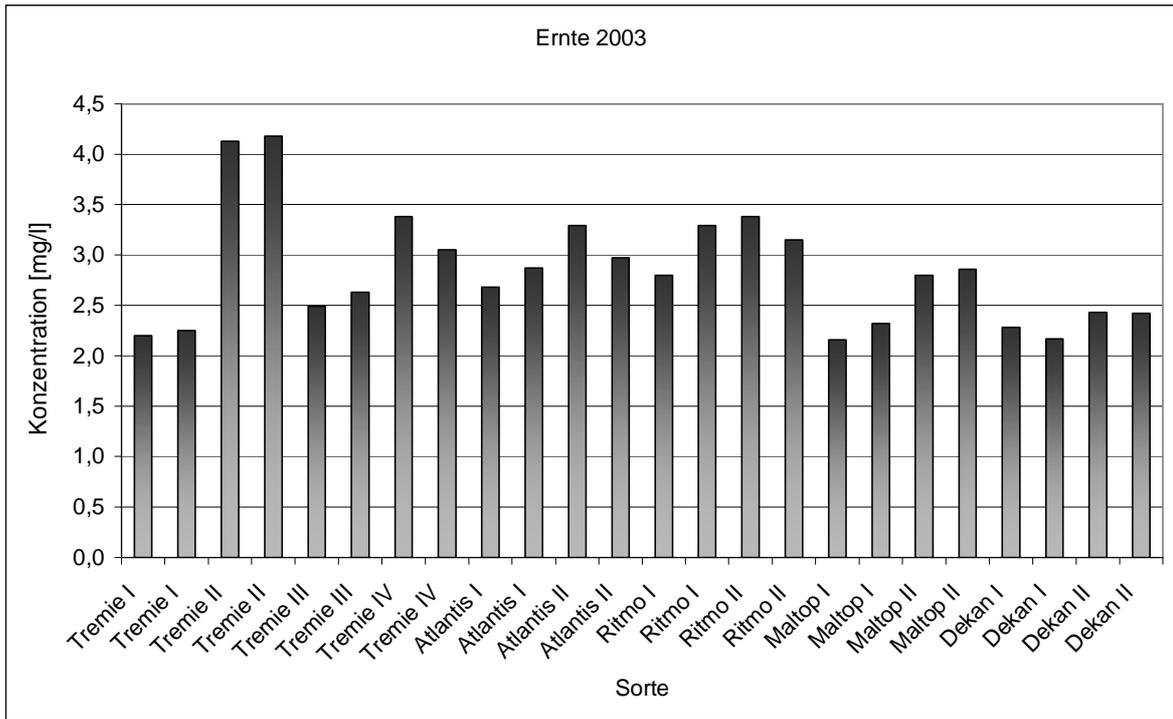


Abb. 3.22: Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten der Ernte 2003

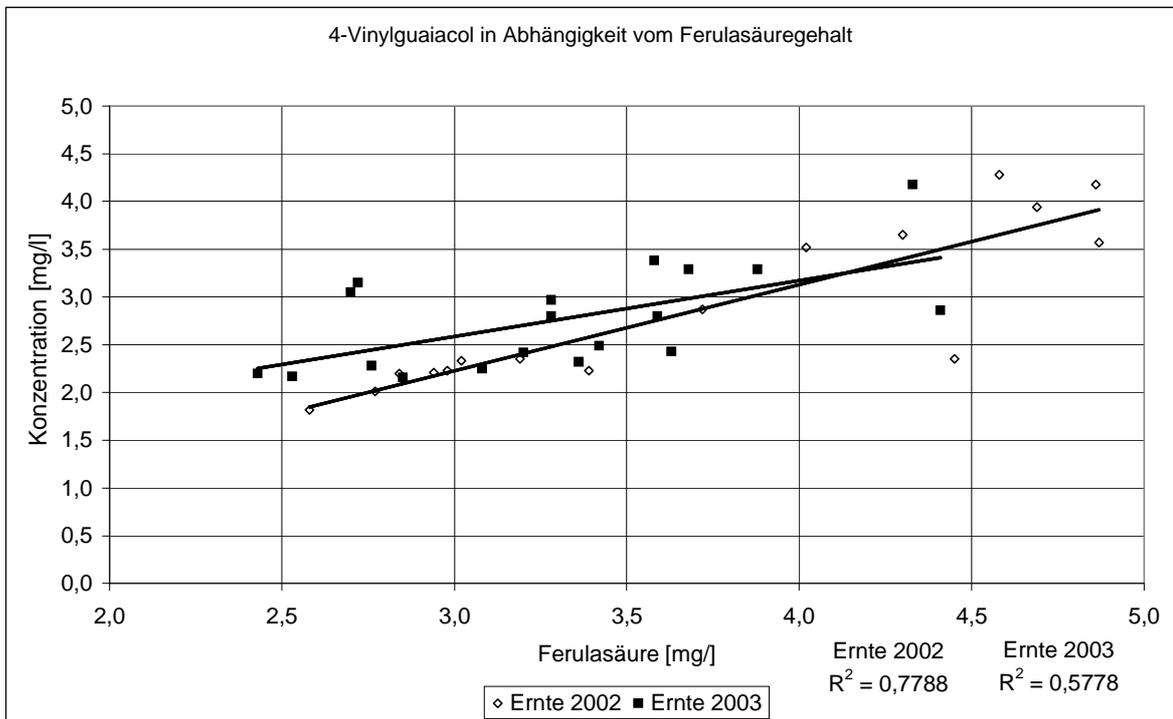


Abb. 3.23: Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol in Abhängigkeit vom Ferulasäuregehalt

Es zeigt sich eine deutliche Korrelation zwischen dem Ferulasäuregehalt und 4-Vinylguaiacol. Aus dem Ferulasäuregehalt der Anstellwürze lässt sich also vorhersagen, inwieweit sich eine phenolische Note im Bier bei gegebenem Hefestamm (siehe 1.1.2) entwickelt. Die Ferulasäurewerte der zweiten Versuchsreihe der Sorten Tremie IV und Ritmo II sind wohl als Ausreißer zu werten, da hierbei der Sinapinsäurepeak den Ferulasäurepeak überlagerte (siehe 2.3.4). Daraus ergeben sich Ferulasäurewerte die unterhalb des 4-Vinylguaiacolgehaltes liegen. Zwar kommt es bei der Gärung zu einer Nachlösung an Ferulasäure, die Konzentration an 4-Vinylguaiacol wird aber nicht größer als der anfängliche Ferulasäuregehalt [Coghe 2004]. Diese Werte wurden daher nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Selbst auf lokaler Ebene können sich, trotz ähnlicher Lösungsverhältnisse, bereits deutliche Unterschiede in den resultierenden 4-Vinylguaiacolgehalten ergeben (siehe Abbildung 3.24).

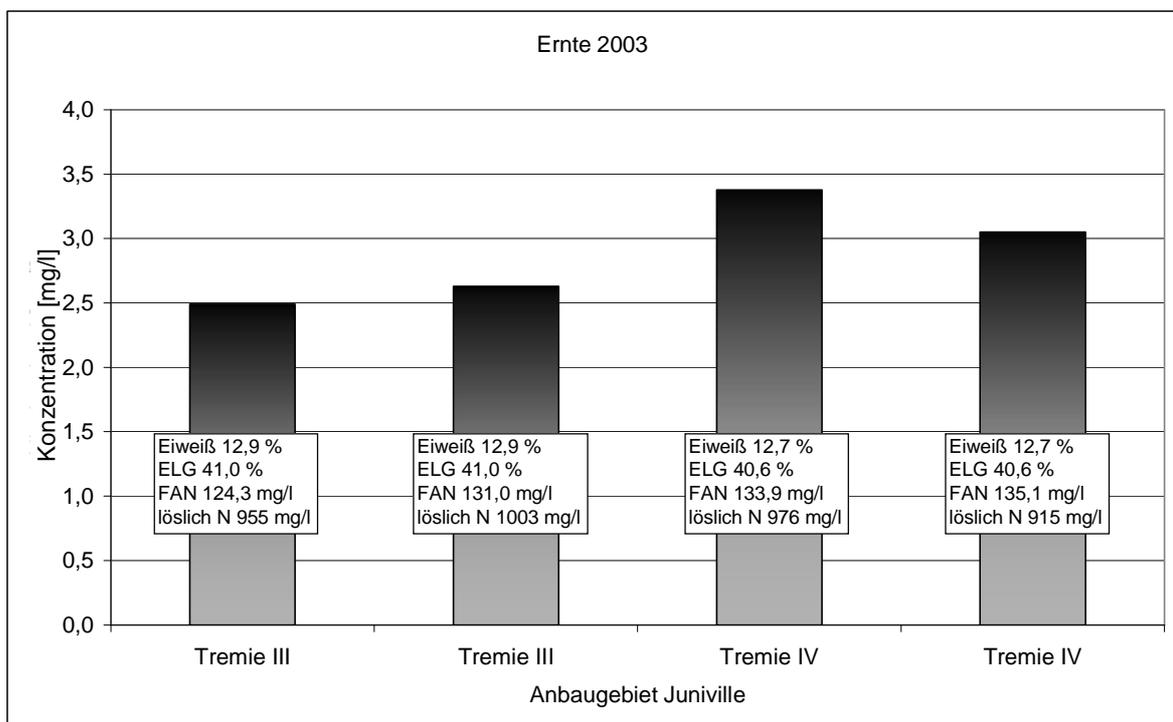


Abb. 3.24: Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten Tremie III und Tremie IV der Ernte 2003 aus dem Anbaugbiet Juniville

Laut Nitzsche [1992] hat die Mälzungstechnologie ebenfalls einen Einfluss auf die Freisetzung der Ferulasäure. Der Mälzungseinfluß konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht detailliert untersucht werden, dennoch scheinen die Werte der Sorten Tremie I und Tremie II der Ernte 2002 aus dem Anbaugebiet Arcis sur Aube diese Ergebnisse zu bestätigen (siehe Abbildung 3.25), auch wenn die Aussage durch die Unterschiede auf lokaler Ebene (siehe Abbildung 3.24) erschwert wird.

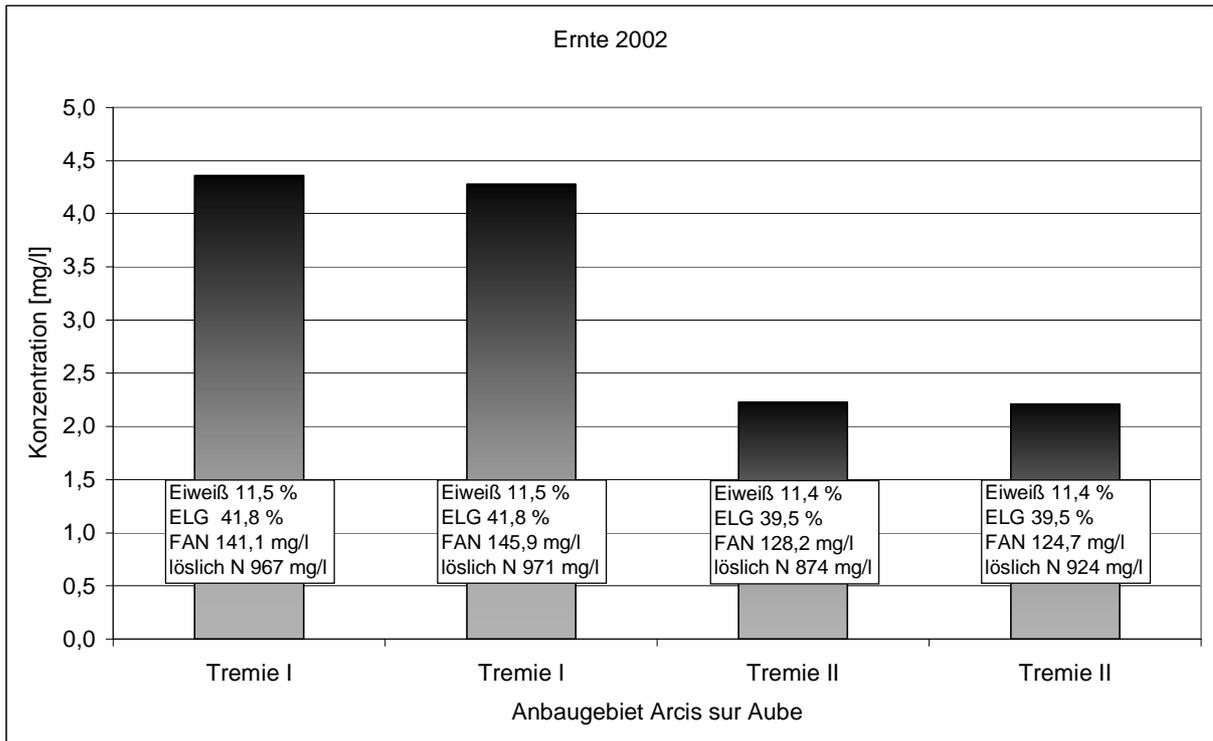


Abb. 3.25: Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol der Sorten Tremie I und Tremie II der Ernte 2002 aus dem Anbaugebiet Arcis sur Aube

3.2.3 Diskussion der Ergebnisse der Versuchsreihe „Weizenmalz“

Bei den Ergebnissen der Bestimmung der Aromastoffe zeigte sich, dass für beide Jahrgänge keine Sortenabhängigkeit festgestellt werden konnte. Es scheint vielmehr das Anbaugebiet und damit die entsprechenden Umwelteinflüsse für die Ausprägung einer bestimmten Aromanote entscheidend zu sein. So konnte bei der Esterbestimmung festgestellt werden, dass der Anteil der Aminosäuren Leucin bzw. Isoleucin an der Summe der Aminosäuren anscheinend entscheidend für den Gehalt an 3-Methylbutylacetat bzw. 2-Methylbutylacetat ist. Für die Bildung des 4-Vinylguaiacols ist die Menge an Ferulasäure in der Anstellwürze entscheidend. Die Zusammensetzung der Würze an diesen drei Substanzen wird hauptsächlich durch die Umwelteinflüsse geprägt. Weiter konnte bei den Aromastoffen festgestellt werden, dass die Sorten der Ernte 2002 höhere Konzentrationen an Estern und 4-Vinylguaiacol ergaben als die Sorten der Ernte 2003.

Die gängige Meinung, dass der 4-Vinylguaiacolgehalt durch Erhöhung des Weizenmalzanteils gesenkt werden kann, muss mit gewisser Vorsicht betrachtet werden. So hängt der sich ergebende 4-Vinylguaiacolgehalt stark von der jeweiligen Weizenmalzpartie ab, so dass durch eine Erhöhung des Weizenmalzanteils nicht zwangsläufig niedrigere Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol erzielt werden. Diese Aussage ist dann richtig, wenn ein und dieselbe Weizenpartie mit niedrigem Gehalt an Ferulasäure verwendet wird wie Nitzsche [1992] und Coghe [2004] zeigten. Die sich aus der Ferulasäure ergebenden Konzentrationen an 4-Vinylguaiacol konnten sich im Rahmen dieser Arbeit bei entsprechender Weizenmalzpartie sogar annähernd verdoppeln. Eventuell gibt es bei Überprüfung weiterer Weizenmalze sogar noch größere Unterschiede in den Konzentrationen an Ferulasäure bzw. 4-Vinylguaiacol. Es ist durchaus angebracht zu überlegen, ob die Ferulasäurebestimmung in die Analytik der wertbestimmenden Eigenschaften von Weizenmalzen und Gerstenmalzen aufzunehmen sei, da Änderungen des 4-Vinylguaicolgehaltes in dieser Größenordnung durchaus den Charakter des Bieres ändern.

3.3 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe im Sudhaus

3.3.1 Einfluss der Maische und Würzesäuerung

Bei der Herstellung untergäriger Biere wird vielfach auf biologisches Sauergut zurückgegriffen. Es wird zwischen Maische- und Würzesäuerung unterschieden, wobei beide Verfahren natürlich auch problemlos kombiniert werden können. Beide Verfahren bieten eine Vielzahl von Vorteilen [Narziß 1992]:

- Eine Herabsetzung des Maische-pH-Wertes auf 5,4 bzw. 5,5 bewirkt einen wesentlich besseren enzymatischen Abbau, es kommt zu einer Erhöhung des Gesamtstickstoffs, die Gärung verläuft besser und die Biere werden geschmacklich besser bewertet.
- Bei reiner Würzesäuerung ergeben sich hellere Würze- und Bierfarben, die Gärung ist rascher und der Stickstoffgehalt der Biere ist aufgrund der stärkeren Eiweißausscheidung etwas geringer. Geschmacklich schneiden auch diese Biere deutlich besser ab als ungesäuerte.

Eine Kombination beider Verfahren ist ebenfalls möglich.

Jedoch zeigte Back [1998], dass Maischesäuerung zu geringerer sensorischer Akzeptanz der estrigen, phenolischen und hefigen Noten bei Weißbieren führte. Dies steht im Gegensatz zu der bekannten geschmacklichen Verbesserung bei untergärigen Bieren, die Aufgabe dieser Versuchsreihe war es daher die Beeinflussung der Aromastoffe durch die Maische- und Würzesäuerung zu ermitteln.

Die bekannten Einflüsse der Maische- und Würzesäuerung hinsichtlich der Enzymwirkung, der Ausfällung, der Farbe und anderen Effekte konnten in der

Versuchsreihe bestätigt werden, die Gesamtheit der Analysen findet sich im Tabellenanhang (siehe Tab. T66-T83).

3.3.1.1 Material und Methoden der Versuchsreihe Maische und Würzesäuerung

Die Versuchsreihen Maische- und Würzesäuerung wurden jeweils parallel gesotten und angestellt.

Materialien:

- Brauwasser, enthärtet,
- Gerstenmalz einer Charge,
- Hopfen der Sorte Magnum, 14,1 % Alpha, bei 0 °C dunkel gelagert,
- Maischverfahren:
 - Hoch-Kurz: Schüttung 1,5 kg, Hauptguss 1:4, Einmaischen bei 62 °C, Rast 40 min, Aufheizen auf 70 °C, Rast 20 min, Aufheizen auf 78 °C, Rast 7 min, erreichte Stw: 12,2-12,4 %, wurde durch destilliertes Wasser auf 12,0 % eingestellt,
 - Verfahren mit „intensiver“ Eiweißrast: Hauptguss 1:4, Einmaischen bei 45 °C, Rast 40 min, Aufheizen auf 70 °C, Rast 20 min, Aufheizen auf 78 °C, Rast 7 min, erreichte Stw: 12,2-12,4 %, wurde durch destilliertes Wasser auf 12,0 % eingestellt,

Das Maischprogramm kann Abbildungen 3.26 und 3.27 entnommen werden, die Sude einer Reihe wurden stets parallel vergoren. Die weitere Bierbereitung erfolgte entsprechend dem Standardverfahren (siehe. 2.4.1).

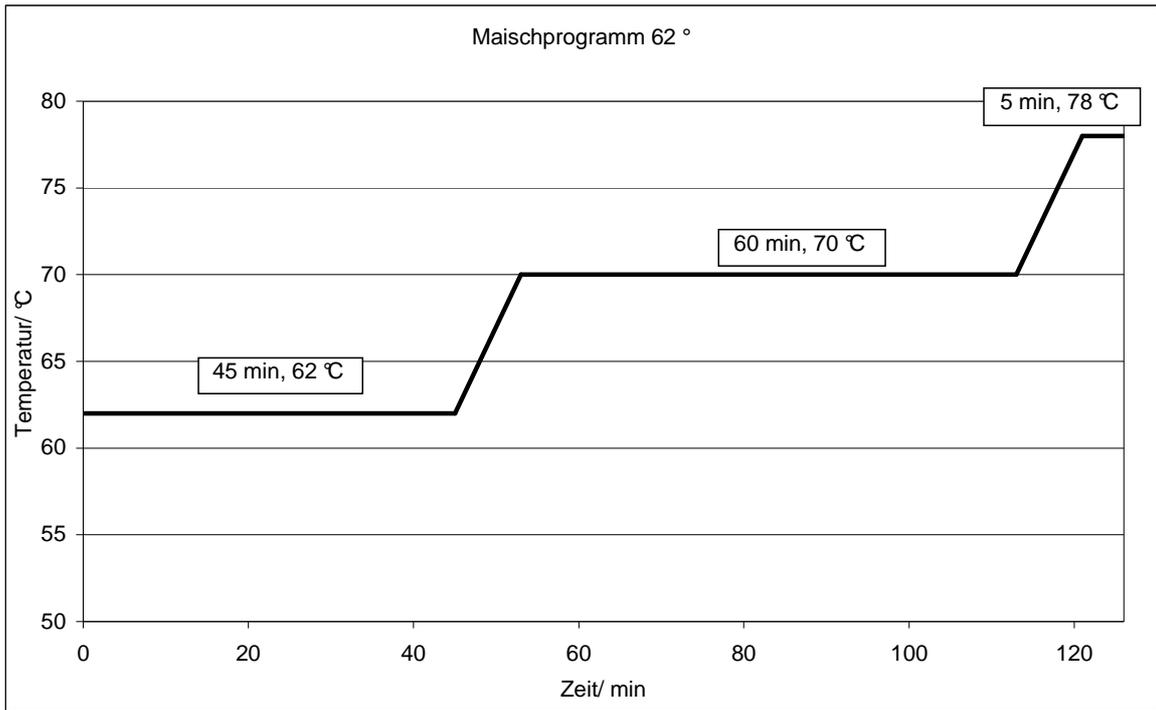


Abb. 3.26: Maischverfahren, Einmaischtemperatur 62 °C

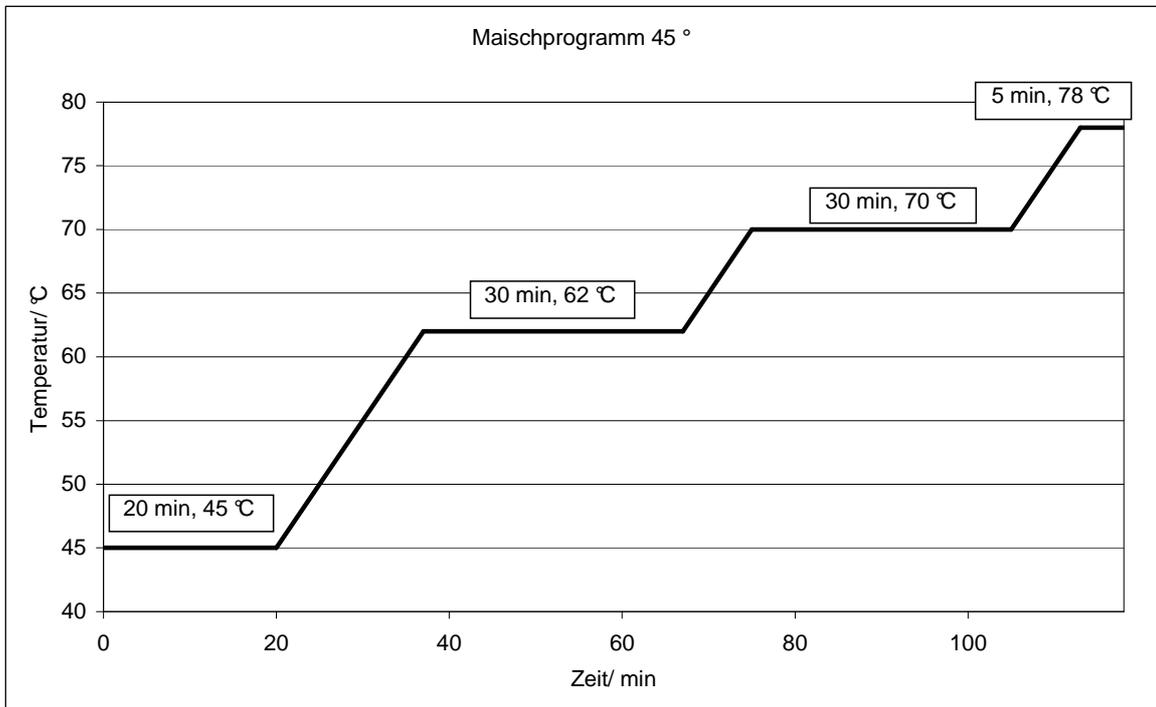


Abb. 3.27: Maischverfahren, Einmaischtemperatur 45 °C

Der Versuchsaufbau mit den entsprechenden Gaben an Sauergut sind den Tabellen 3.6 und 3.7 zu entnehmen.

Tab. 3.6: Versuchsaufbau Maischesäuerung

Sud-Nr.	Einmischtemp.	Säuerung	Zeitpunkt der Gabe
MS1	45°C	Keine/ Vergleichssud	
MS2	62°C	Keine/ Vergleichssud	
MS3	45°C	1 l/hl AW	Maischbeginn
MS4	45°C	5 l/hl AW	Maischbeginn
MS5	62°C	1 l/hl AW	Maischbeginn
MS6	62°C	5 l/hl AW	Maischbeginn

Tab. 3.7: Versuchsaufbau Würzesäuerung

Sud-Nr.	Einmischtemp.	Säuerung	Zeitpunkt der Gabe
WS1	45°C	keine	
WS2	45°C	Technische Milchsäure, auf pH 5,4	Kochbeginn
WS3	45°C	5 l/hl AW	Kochbeginn
WS4	45°C	1 l/hl AW	Kochbeginn
WS5	45°C	5 l/hl AW	10 min. vor Kochende
WS6	45°C	1 l/hl AW	10 min. vor Kochende

3.3.1.2 Ergebnisse der sensorischen Analyse

Die Biere wurden gemäß dem spezifischen Verkostungsschema für Weißbiere (siehe 2.2.2) verkostet.

Die Versuchssude der Maischesäuerung, die Sude MS1 bis MS6, wurden durchwegs gut und relativ gleichmäßig bewertet.

Bei den würzegesäuerten Bieren jedoch sind schon im Gesamteindruck deutliche Unterschiede erkennbar. Vor allem in den Bereichen Geruch und Trunk unterscheiden sich die Biere, die gesäuerten schnitten insgesamt schlechter ab, am schlechtesten die kurz vor Kochende gesäuerten (WS5, WS6).

Folgende Werte sind die Durchschnittswerte der fünf beteiligten Verkoster:

Tab. 3.8: Verkostungsergebnisse der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung

Sud-Nr.	Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere	DLG-Gesamt
MS1	4,4	4,4	4,4	4,6	4,3	4,4
MS2	3,6	4,2	4,3	4,2	4,2	4,1
MS3	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3
MS4	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
MS5	4,2	4,3	4,4	4,3	4,4	4,3
MS6	4,3	4,4	4,3	4,5	4,4	4,4
WS1	4,2	3,9	4,2	4,2	4,1	4,1
WS2	4,1	3,7	3,9	4,1	4,1	4,0
WS3	3,9	3,9	3,9	4,2	4,0	4,0
WS4	4,0	4,0	3,8	4,2	4,0	4,0
WS5	3,7	3,5	3,9	4,0	4,0	3,8
WS6	3,6	3,5	4,0	4,1	4,0	3,8

In den Einzelnoten für den estrigen, phenolischen und hefigen Charakter ergaben sich nur geringe Unterschiede zwischen Geruch und Geschmack, in den folgenden Darstellungen wird daher nur auf den Durchschnitt zwischen Geruch und Geschmack eingegangen.

Phenolische Note

Bei der Maischesäuerung erreichten die Versuche „45 °C ohne MS“ (MS1) und „45 °C, niedrige Gabe“ (MS3) die höchsten Werte für die Intensität der phenolischen Werte. Dies ist durch das pH und Temperaturoptimum der Ferulasäurehydrolase zu erklären (siehe 1.1.2). Die Optima liegen also bei einer Temperatur von 43-45,5 °C und einem pH-Wert von 5,9 bis 6,1, dementsprechend ergeben sich höhere 4-Vinylguaiacolwerte bei 45 °C Einmaischtemperatur, eine hohe Sauergutgabe wirkt aufgrund der pH-Verschiebung der Wirkung der Ferulasäurehydrolase entgegen. Die Verkostung nach phenolischem Charakter ergab bei der Würzesäuerung erwartungsgemäß keine größeren Unterschiede, ein Einfluss auf die Decarboxylierung der Ferulasäure während der Gärung ist nicht zu erkennen.

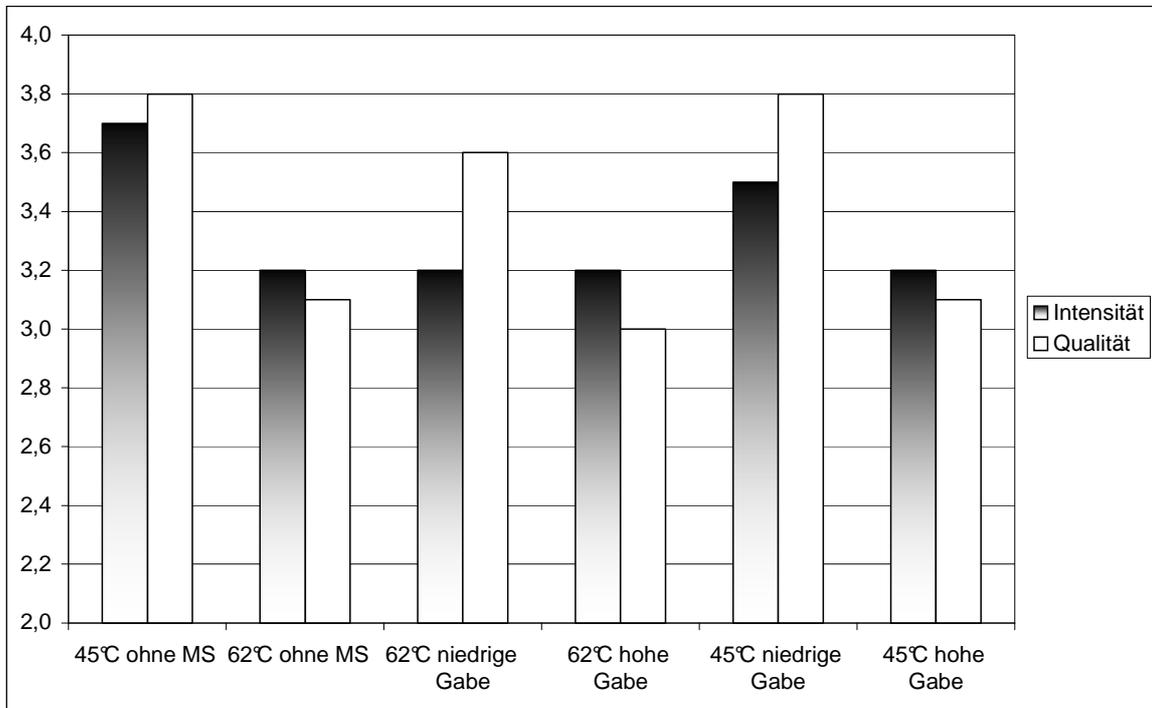


Abb. 3.28: Phenolische Note, Maischesäuerung

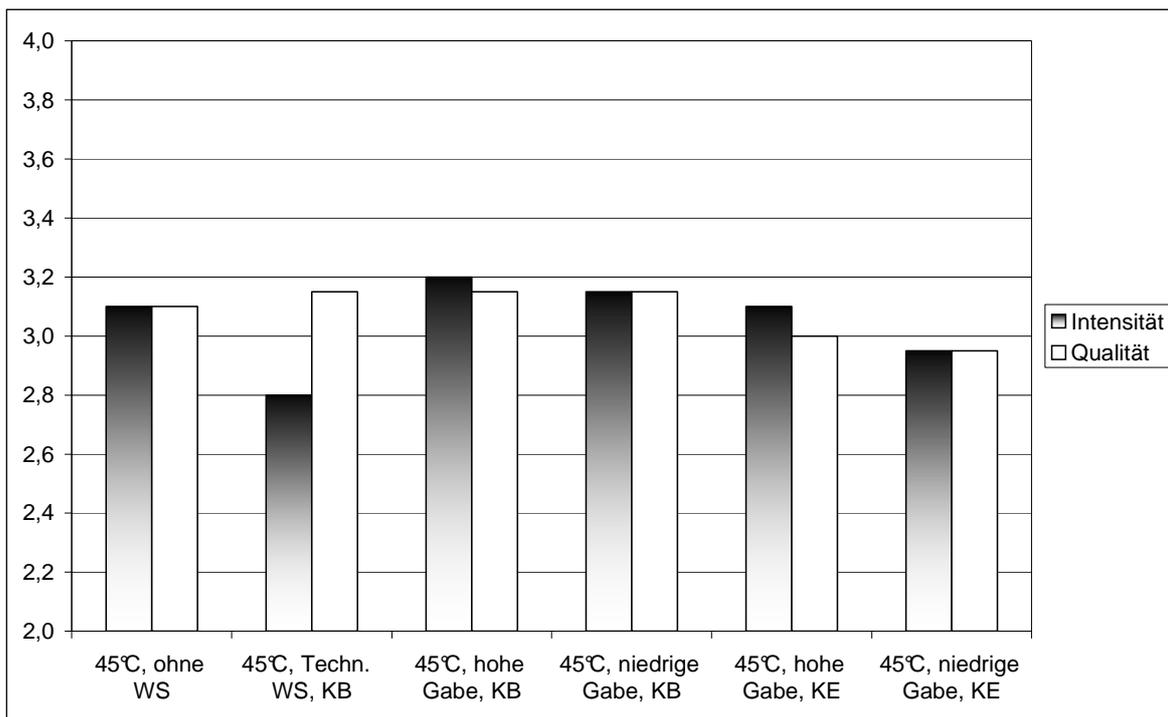


Abb. 3.29: Phenolische Note, Würzesäuerung

Estrige Note

Bei allen Versuchen wurde eine Verringerung des sensorischen Eindruckes „estrige Note“ festgestellt. Lediglich der Versuch „45 °C, hohe Gabe“ (MS4) erreichte eine höhere Intensität als der Versuch „62 °C, ohne MS“ (MS2) und ähnlich hohe Werte wie der Versuch „45 °C, ohne MS“ (MS1).

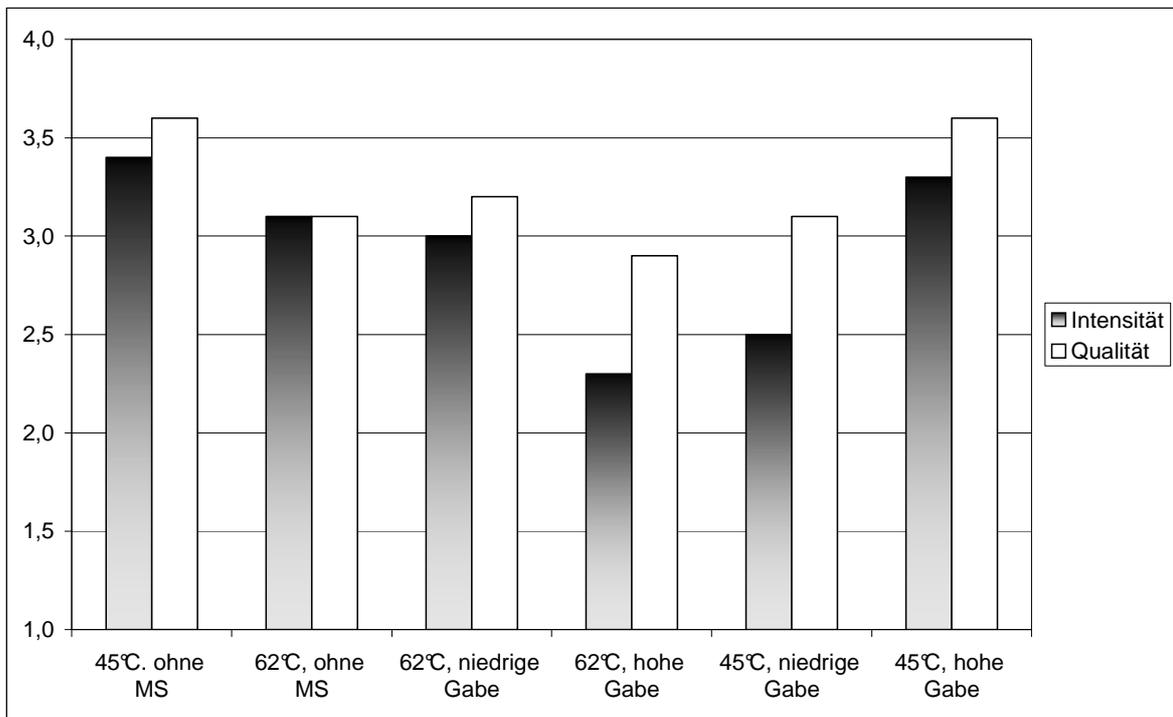


Abb. 3.30: Estrige Note, Maischesäuerung

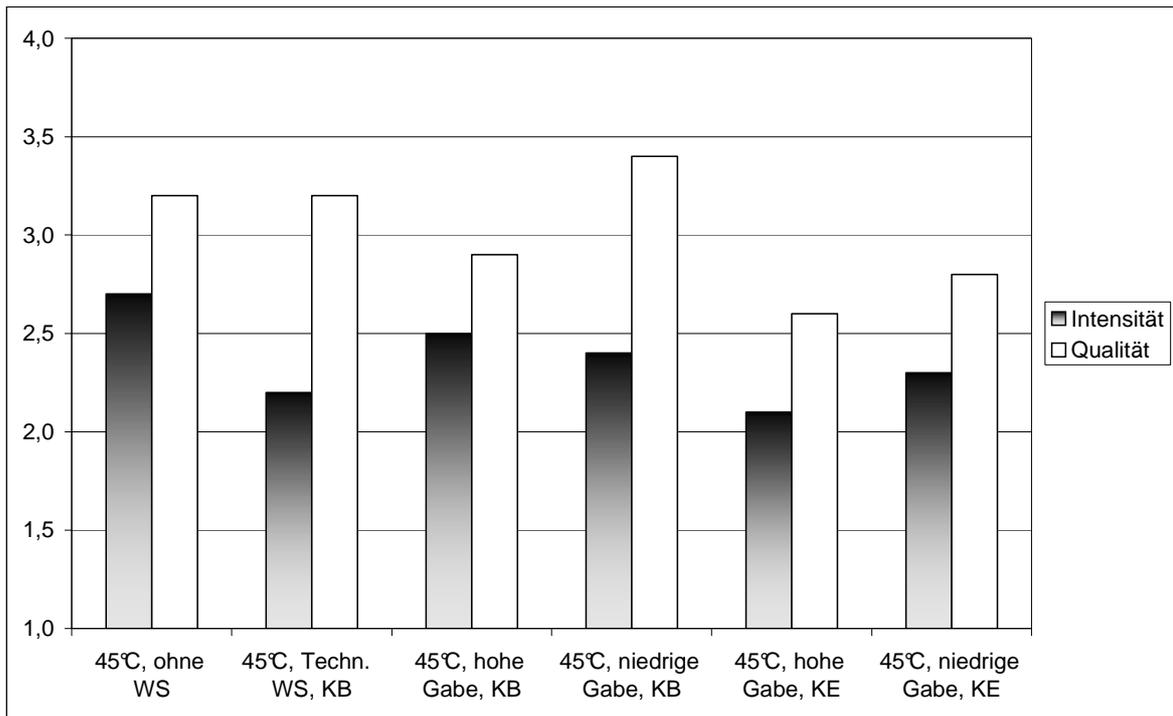


Abb. 3.31: Estrige Note, Würzesäuerung

Hefige Note

Die hefige Note wies keinen nennenswerten Unterschied auf.

Die gesäuerten Biere wurden bei den Verkostungen also stets als weniger intensiv und in ihrer Gesamtnote zumeist schlechter bewertet. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Back [1998].

3.3.1.3 Auswirkungen der Maische- und Würzesäuerung auf die Aromastoffbildung

Die Auswirkungen der Maische- und Würzesäuerung auf die Aromastoffbildung in Weißbieren sind jedoch unbekannt, die hier dargestellten Ergebnisse scheinen den sensorischen Analysen zu widersprechen. Abbildungen 3.32 und Abb. 3.33 zeigen, dass die Konzentration an 3-Methylbutylacetat in gesäuerten Bieren stets höher liegen als in den ungesäuerten Bieren.

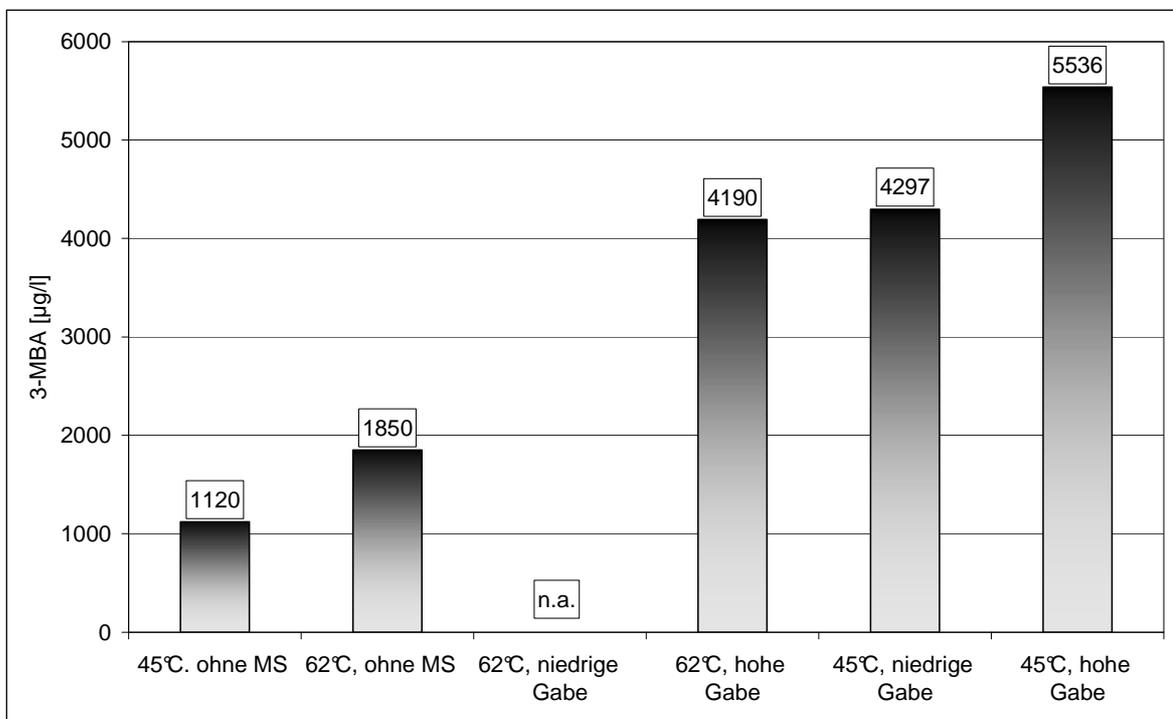


Abb. 3.32: Konzentration des 3-Methylbutylacetats bei der Maischesäuerung

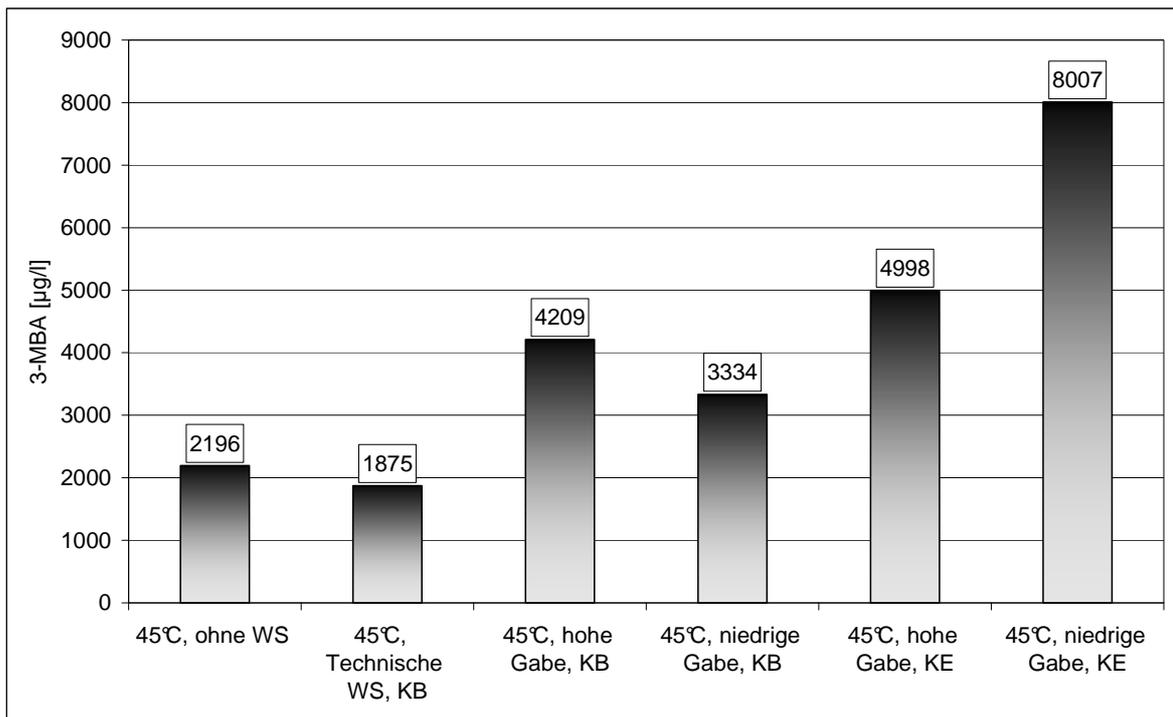


Abb. 3.33: Konzentration des 3-Methylbutylacetats bei der Würzesäuerung

Auch Ethylacetat weist eine steigende Tendenz durch Maische- und Würzesäuerung auf (Siehe Tab. 3.9).

Tab. 3.9: Ethylacetat- und Acetaldehydkonzentrationen bei der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung

c/[µg/l]	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6
Ethylacetat	21297	18911	47863	47897	40915	41927
Acetaldehyd	10842	7285	21935	23141	24167	19047
c/[µg/l]	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Ethylacetat	21135	25156	35122	35472	45457	68818
Acetaldehyd	10372	9307	10654	11443	7402	7310

Des Weiteren finden sich auch starke Veränderungen in den höheren Alkoholen wie 2-Methylpropanol, 2- und 3-Methylbutanol. Laut Kunze [1998] verursachen höhere Alkohole ab einer Konzentration von 100 mg/l einen negativen sensorischen Eindruck. Wie Abbildungen 3.34 und 3.35 zeigen, erreichen die

höheren Alkohole bei wärze- und maischegesäuerten Bieren stets einen höheren Gehalt.

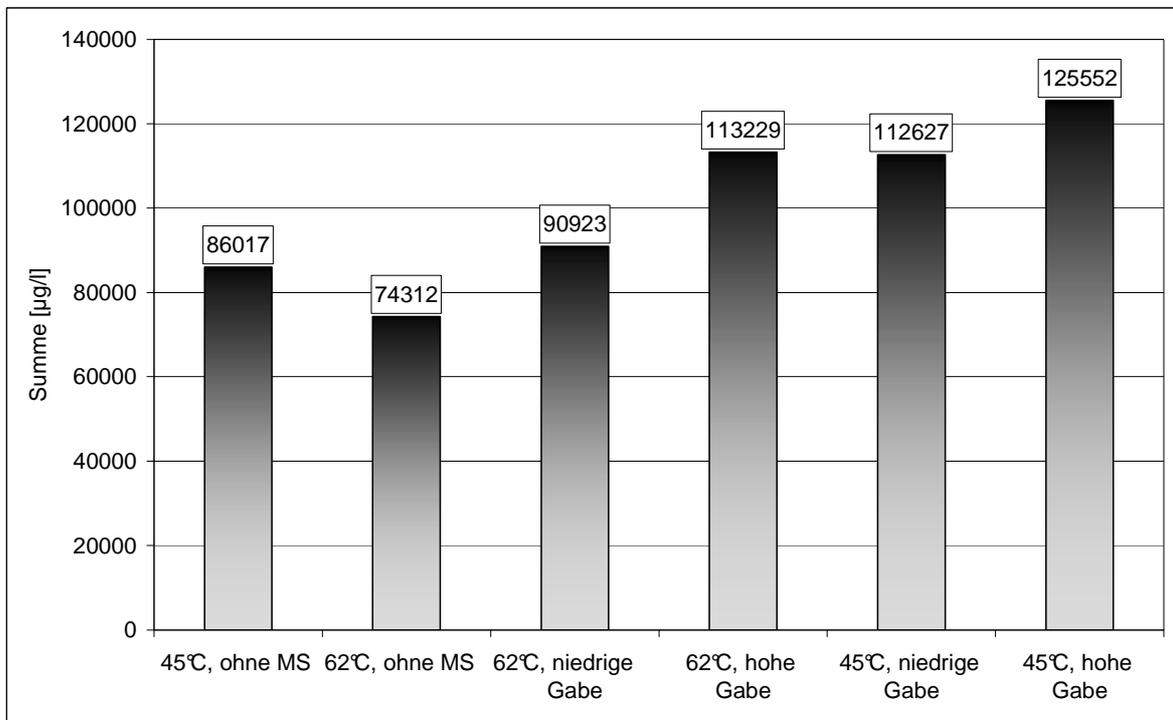


Abb. 3.34: Summe aus 2-Methylpropanol, 2- und 3-Methylbutanol bei der Versuchsreihe Maischesäuerung

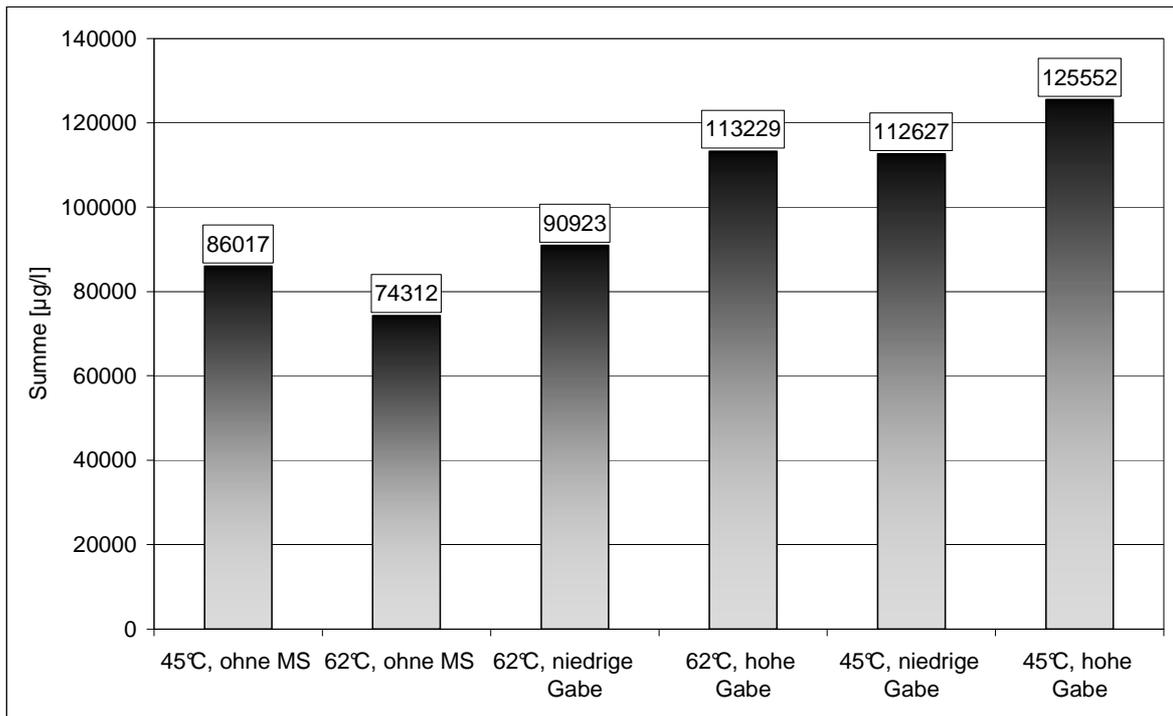


Abb. 3.35: Summe aus 2-Methylpropanol, 2- und 3-Methylbutanol bei der Versuchsreihe Würzesäuerung

3.3.1.4 Diskussion der Ergebnisse der Versuchsreihe Maische- und Würzesäuerung

Aromastoffanalytik und Sensorik scheinen bei dieser Versuchsreihe weit zu divergieren. Die gesäuerten Biere wiesen zwar höhere Gehalte an Estern auf, wurden aber in der Intensität und Qualität geringer bewertet. Dies kann jedoch mit den vermuteten Effekten hoher Esterkonzentrationen erklärt werden (siehe 3.1.3.2). So liegen alle gesäuerten Biere bei der Ethylacetatkonzentration im kritischen Bereich von 40 mg/l und darüber. Auch bei der 3-Methylbutylkonzentration erreichen die gesäuerten Biere Werte, die an den kritischen Bereich von 4-6 mg/l heranreichen. Als dritter Punkt sind nun noch die höheren Alkohole zu nennen, die ebenfalls den Erkennungsschwellenwert von 100 mg/l überschreiten.

Die Versuchsergebnisse können also durch additive und maskierende Effekte erklärt werden, die Zunahme negativer Aromen überwiegt die der positiven Aromen. Dies wiederum gibt Grund zur Annahme, dass die Vorteile der Maische- und Würzesäuerung durch geeignete technologische Maßnahmen – zur Unterdrückung der übersteigerten Gärungsnebenproduktbildung – für die Weißbierherstellung besser genutzt werden könnten. Vielversprechend scheint hierbei eine gesonderte Betrachtung des Einflusses der Maische- und Würzesäuerung bei Gärungen in zylindrokonischen Tanks industriellen Maßstabs, da dort die Bildung von Gärungsnebenprodukten unterdrückt wird (siehe 1.1.1).

3.3.2 Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung der Würze

Da die Zuckerzusammensetzung der Würze, auch bei obergärigen Hefen, einen signifikanten Einfluss auf die Esterbildung hat (siehe 3.4) und der Einsatz von Zuckerprodukten zumindest in bayerischen Weizenbieren nicht statthaft ist (siehe 1), wurde ein neues Maischverfahren zur Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung entwickelt. Ziel dieses Verfahrens ist die Erhöhung der Glucosekonzentration.

Weinfurtner [1965] zeigte, dass eine signifikante Änderung der Zuckerzusammensetzung der Würze mit klassischen Maischverfahren nur auf Kosten des Vergärungsgrades zu erreichen ist.

Tab. 3.10: Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung durch die Einmischtemperatur [Weinfurtner 1965]

Maischtemperatur	"Einfachzucker"/Maltose	EVG
[°C]	[%]	[%]
62,5	12,3%	88,1
67,5	7,8%	83,4
72,5	6,3%	75,0
75,0	5,6%	69,2

Durch Erhöhung der Einmischtemperaturen – jenseits der Denaturierungstemperatur der β -Amylase – kann also das Glucose/Maltoseverhältnis geändert werden. Aufgrund der Verringerung des EVG hat dies jedoch keine praktische Bedeutung.

Lediglich bei Dekoktionsmaischen konnte eine Erhöhung der Glucosegehalte festgestellt werden. Aus den Ergebnissen von Schur [1972] geht hervor, dass beim Zubrühen der Kochmaische auf 45 °C eine leichte Steigerung der Glucose auf etwa 14 % Glucose/Maltose gefunden werden kann, während beim Zubrühen auf 62 °C oder 70 °C keine Veränderung der Zuckerzusammensetzung stattfindet und bei etwa 11 % verbleibt.

Wie Tab. 3.11 zeigt, verfügen auch die Malze über ein mehr oder weniger fixiertes Glucose/Maltoseverhältnis, lediglich einige Spezialmalze weichen davon ab. Diese sind jedoch aufgrund ihres niederen Extraktes oder geringeren Vergärungsgrad nicht geeignet, das Glucose/Maltoseverhältnis signifikant zu verändern.

Die Tabelle zeigt die Zuckerzusammensetzungen aus Kongresswürzen bezogen auf 9 % GG, im Tabellenanhang (siehe Tab. T84 und T85) finden sich zusätzlich Werte für die zugehörigen Kaltauszüge.

Tab. 3.11 Zuckerzusammensetzung verschiedener Malze

	Glucose	Saccharose	Maltose	Glu./Malt.
	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[%]
Weizen Malz	8,7	1,7	59,3	12,8%
Pilsner Malz	6,2	1,6	46,2	11,9%
Wiener Malz	5,1	3,8	44,8	10,2%
Münchener Malz Typ1	5,4	3,7	42,2	11,3%
Carapils	6,2	2,8	50,9	10,8%
Carahell	1,2	1,2	6,0	16,3%
Caraamber	4,8	2,5	35,2	12,1%
Carafa spezial	1,2	0,3	6,2	16,3%
Diastase Malz	6,1	3,0	46,3	11,7%
Melanoidin Malz	5,7	1,9	22,9	19,9%
Caramüch Typ2	1,8	2,2	9,5	15,9%

3.3.2.1 Material und Versuchsaufbau der Versuchsreihe Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung der Würze

Die Vergleichssude der Versuchsreihe Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung der Würze wurden jeweils parallel gesotten und angestellt.

Materialien:

- Brauwasser, enthärtet,
- Gersten- und Weizenmalz einer Charge.

Maischverfahren:

Hoch-Kurz: Hauptguss 1:4, Einmaischen bei 62 °C, Rast 40 min, Aufheizen auf 70 °C, Rast 20 min, Aufheizen auf 78 °C, Rast 7 min, erreichte Stw: 12,2-12,4 %, wurde durch destilliertes Wasser auf 12,0 % eingestellt,

Verfahren mit „intensiver“ Eiweißrast: Hauptguss 1:4, Einmaischen bei 45 °C, Rast 40 min, Aufheizen auf 70 °C, Rast 20 min, Aufheizen auf 78 °C, Rast 7 min, erreichte Stw: 12,2-12,4 %, wurde durch destilliertes Wasser auf 12,0 % eingestellt,

Maltaseverfahren: Variabel, siehe 3.3.2.2

Gärung:

- Obergärige Hefe, Stamm 68, Anstellmenge: 2 Mio. lebende Zellen/ml,
- Definierte Belüftung über Venturidüse,
- Vergleichende Versuche wurden simultan angestellt,
- Gärtemperatur 18 °C.

3.3.2.2 Entwicklung eines Maischverfahrens zur gezielten Beeinflussung der Zuckerzusammensetzung

Bereits die Arbeit von Schur [1972] deutet darauf hin, daß durch die 45 °C Rast eine Veränderung der Zuckerzusammensetzung zu erreichen ist. Grund hierfür scheint die Wirkung des Enzyms Maltase zu sein. Die Maltase, als natürlich im Malz vorkommendes Enzym, hat die Fähigkeit durch Spaltung von Maltoseeinheiten zu Glucoseeinheiten das Glucose/Maltoseverhältnis signifikant zu verändern. Ihre Wirkungsoptima liegen bei 35- 45 °C und pH 6,0- 6,3. Jenseits des Temperaturoptimums wird das Enzym rasch denaturiert [Narziß 1995a, Rutloff 1994]. Es ist unwahrscheinlich, dass eine Intensivierung der Maltaseaktivität beim „Schwelken“ zum Erfolg führen würde, da durch die üblichen Abdarrzeiten und Abdarrtemperaturen eine starke Farbzunahme zu erwarten ist (Vgl.: Brühmalze,

siehe Tab. 3.11). Des Weiteren würde bei einem solchen Schwelkverfahren auch nicht eine genügend hohe Eduktkonzentration (Maltosekonzentration) vorliegen.

Bei Dekoktionsverfahren ist die unzureichende Eduktkonzentration ebenfalls der Grund für die nur geringe Zunahme der Glucosekonzentration: da ein Zubrühen auf 45 °C ein sehr geringes Volumen der Kochmaische voraussetzt, können der Ruhemaische nur geringe Mengen an Maltose zugeführt werden. Es ist ebenfalls möglich, dass die Maltaseaktivität beim Zubrühen aufgrund lokaler Überhitzungen verringert wird.

Das Verfahren wird daher in 2 Schritten durchgeführt. Der 1. Schritt des Verfahrens ist die Verzuckerung einer Teilmaische durch Rasten bei 62 °C und 70 °C, um Edukte für die Maltase bereitzustellen. Diese Teilmaische wird auf das Temperaturoptimum der Maltase bei 45 °C „abgebrüht“; das „Abbrühen“ kann durch eine kühle Teilmaische oder ein 2. Einmischen mit kaltem Brauwasser erfolgen. Der Großteil der Malzschüttung wird der 1. Teilmaische zugeführt, während der Zweck der 2. Teilmaische bzw. des 2. Einmischens das Zuführen des Enzyms „Maltase“ ist. Die Zeitdauer der Maltaserast bestimmt das für die Esterbildung ausschlaggebende Glucose/Maltoseverhältnis. Abschließend wird eine weitere 70 °C Rast gehalten.

Die optimale Mischtemperatur wurde durch Versuche im Kleinmaßstab ermittelt, Tabelle 3.12 zeigt die Ergebnisse der einleitenden Versuche.

Tab. 3.12: Zuckerkonzentrationen bei Variation der Mischtemperatur bezogen auf 12 % StW.

[g/l]	Glucose	Maltose	Glucose/Maltose
35 °C	10,1	60,6	16,7%
40 °C	15,5	55,4	27,9%
45 °C	18,3	52,9	34,7%
50 °C	8,6	64,2	13,5%

Das für die weiteren Versuche verwendete Maischverfahren ist aus Abbildung 3.36 ersichtlich.

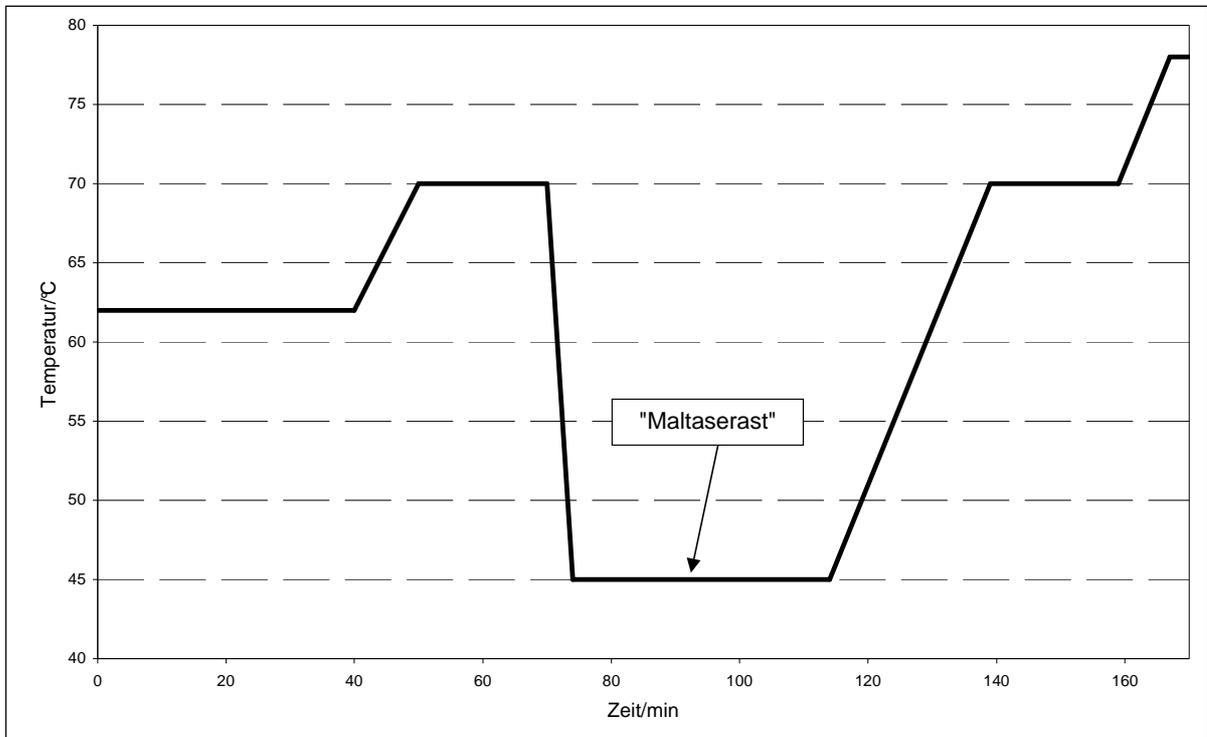


Abb. 3.36: Maischdiagramm

Für die Versuche im Kleinsudmaßstab wurden folgende Schüttungen und Gussmengen angewandt:

- 1. Teilmaische: Schüttungsverhältnis 1:3; Schüttung: 0,9 kg, Guss: 2,7 l,
- 2. Teilmaische: Schüttungsverhältnis 1:5,5; Schüttung: 0,6 kg, Guss: 3,3 l, Temperatur der Teilmaische 11 °C,
- Gesamtmaische: Schüttungsverhältnis 1:4; Schüttung: 1,5 kg, Guss: 6 l.

Die Versuche im Pilotmaßstab wurden mit einer Schüttung von 10 kg und 40 l Guss durchgeführt.

Durch dieses Maischverfahren kann bei 40-minütiger „Maltaserast“ der Glucosegehalt in den Maischen von durchschnittlich 10-14 g/l auf 29 g/l erhöht werden (siehe Abbildung 3.37). Bezogen auf einen Stammwürzegehalt von 12 % bedeutet dies eine Steigerung von etwa 10 % auf 24,6 %. Bezieht man diese Steigerung nur auf das Glucose/Maltoseverhältnis kommt dies dem optimalen Verhältnis der Modelllösungen von 40 % Glucose zu 60 % Maltose bereits sehr nahe (~ 31 %/ 69 %). Die Entwicklung der Zuckerkonzentrationen während des Maischens zeigt Abbildung 3.37.

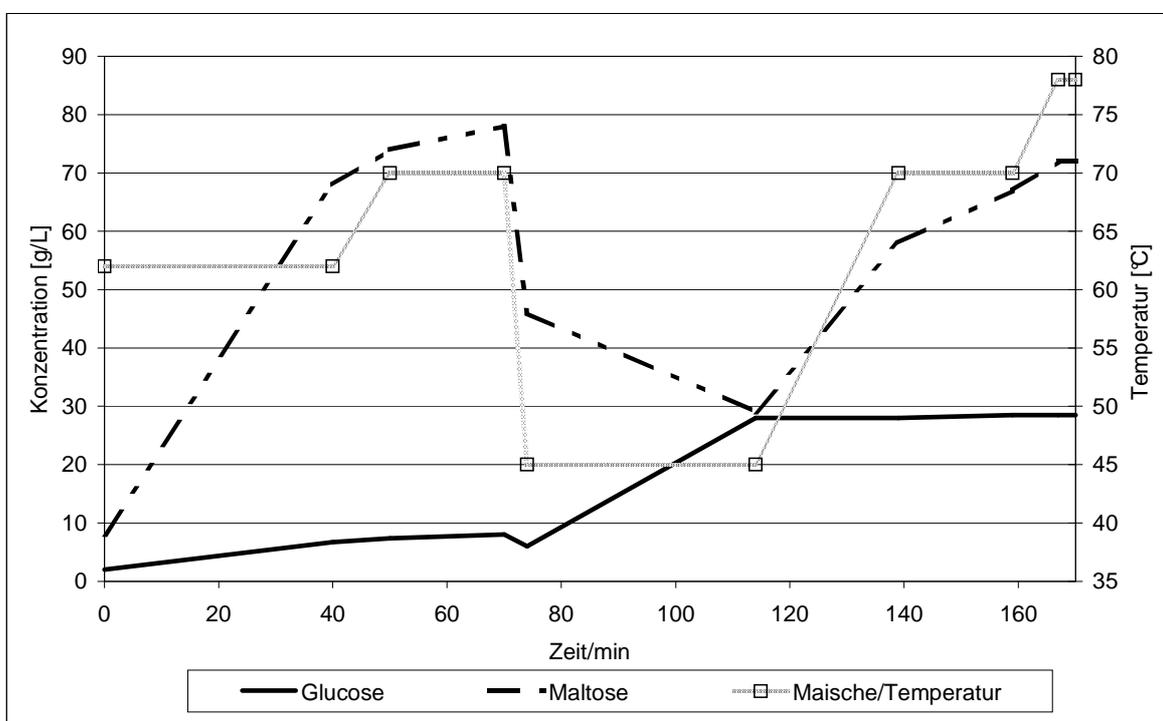


Abb. 3.37: Glucose- und Maltosekonzentrationen während des „Maltasemaischverfahrens“

Im Vergleich mit Hoch-Kurz-Maischverfahren (HK) ergibt sich für dieses Programm eine bis zu dreifache Menge an Estern, insbesondere an Isoamylacetat (siehe Abbildung 3.38). Versuche mit Maischverfahren mit intensiver Eiweißrast - einer 40-minütigen 45 °C Rast vor der Verzuckerung – belegen, dass die verstärkte Esterbildung nicht auf eine übermäßige Proteolyse zurückzuführen ist (siehe Tabelle 3.15). Der Messwert für Isoamylacetat betrug bei dem Verfahren

mit intensiver Eiweißrast 4200 µg/l am Ende der Hauptgärung; für den parallel dazu ausgeführten Versuch nach „neuem“ Verfahren ergab sich ein Wert von 8500 µg/l am Ende der Hauptgärung.

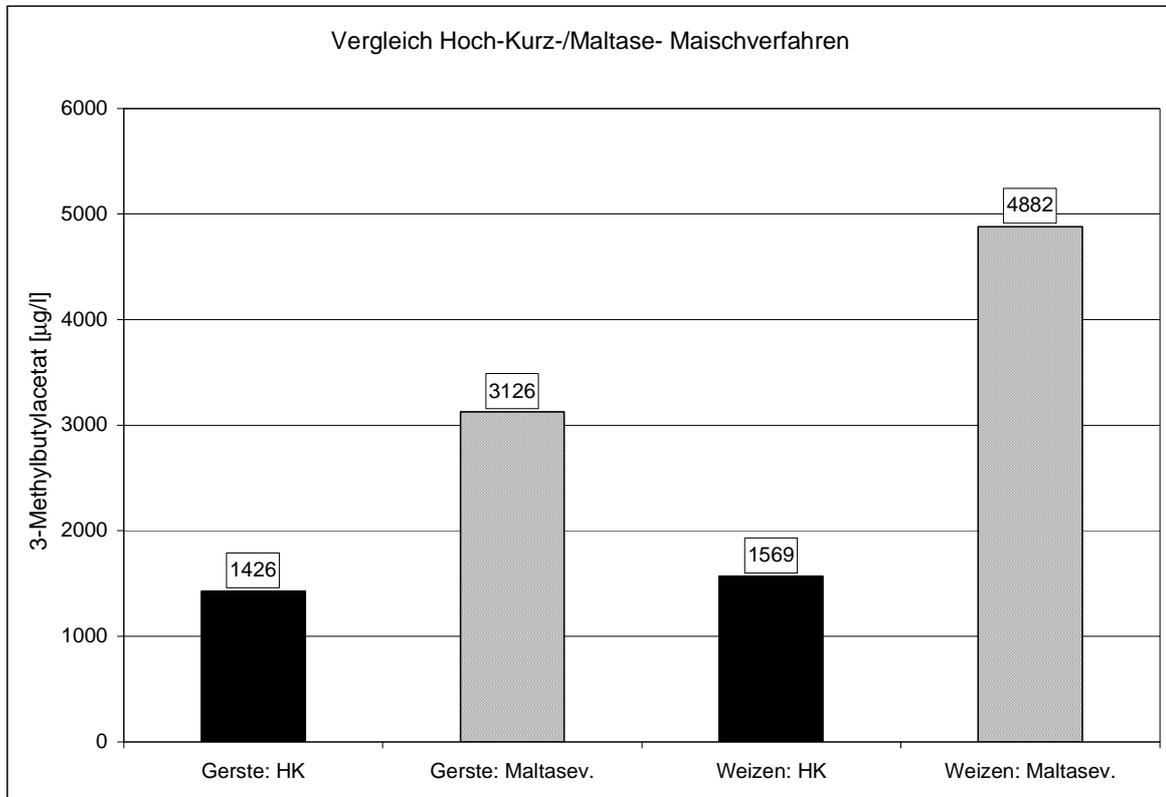


Abb. 3.38: Vergleich Hoch-Kurz-Maischverfahren/Maltaseverfahren

Ein weiterer Vorteil des neuen Maischverfahrens ist der Abbau unerwünschter β -Glucane. Im Vergleich mit den Hoch-Kurz-Maischverfahren konnte der β -Glucangehalt um 23 % reduziert werden. Als nachteilig können sich bei diesem Verfahren eine zu weitgehende Proteolyse und eine zu große Freisetzung an Ferulasäure – und somit einer starken Zunahme des phenolischen Charakters des Weißbieres - erweisen. Beide Nachteile können jedoch durch Auswahl der Rohstoffe behoben werden.

Überraschenderweise wurde trotz eines höheren Glucosegehaltes keine Verstärkung der Maillardreaktion im Kleinsudmaßstab (KM/10 l) festgestellt. Im Pilotsudmaßstab (PM/60 l) wurden leicht erhöhte Werte der Streckeraldehyde erfasst (siehe Abbildung 3.39). Im Vergleich mit einem Maischverfahren mit intensiver Eiweißrast wiesen die Analysen der Würze aromastoffe (versch. Maillardprodukte, Streckeraldehyde), der Würzefarbe und des pHs keine Unterschiede zu den Würzen nach neuem Verfahren auf. Das Zuckerverhältnis bleibt während der Kochung weitestgehend konstant.

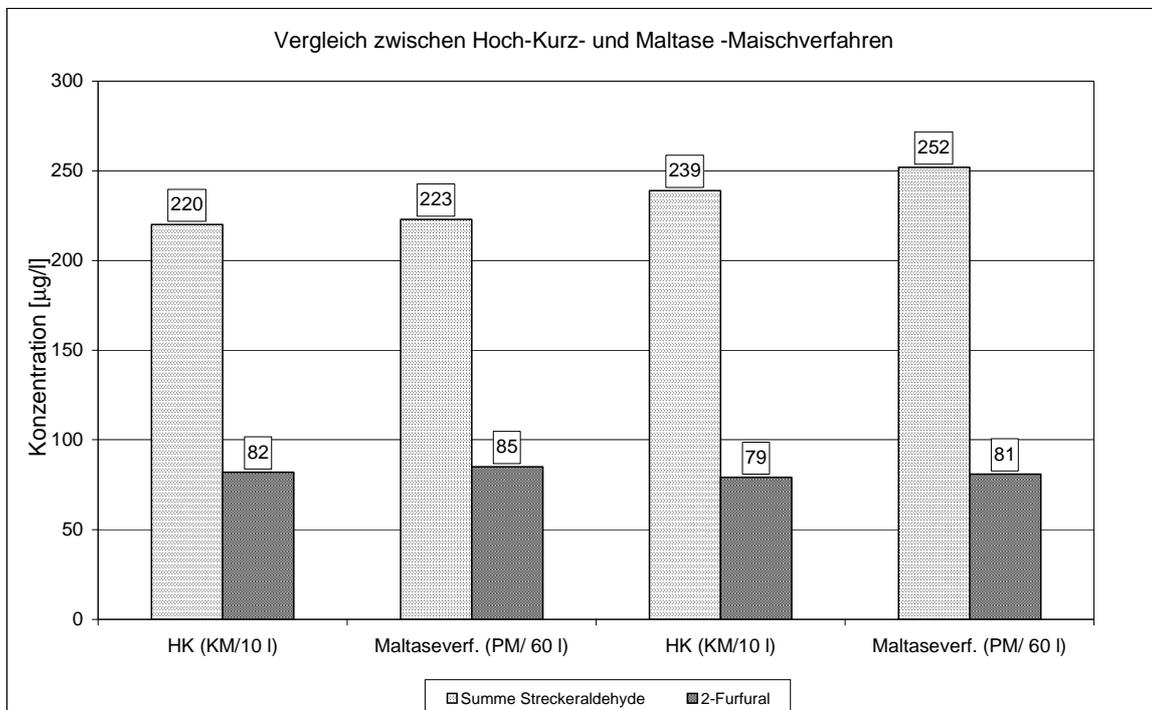


Abb. 3.39: Konzentrationen der Streckeraldehyde und des 2-Fufurals im Vergleich zwischen Hoch-Kurz- und Maltase- Maischverfahren

Der Scale-Up des Verfahrens auf Pilotmaßstab (60 l) bestätigt die Ergebnisse aus den Kleinsudversuchen. In den bisherigen Versuchen im Kleinsud- und Pilotmaßstab konnte bei den durch das neue Maischverfahren erreichbaren

Zuckerkonzentrationen kein Nachteil hinsichtlich Katabolit-Repression und Katabolit-Inaktivierung festgestellt werden.

Wiederholbarkeit des Verfahrens

Versuche, bei denen das Maltasemaischverfahren mit einem Hochkurzmaisverfahren verglichen wurde, belegen, dass das Maltasemaischverfahren stets höhere Isoamylacetatkonzentrationen als das Vergleichsverfahren erbringt.

Tab. 3.13: Ergebnisse der Versuche „Maltasemaischverfahren gegen Hochkurzmaisverfahren“

Malz	Substanz:					
	Isoamylacetat [$\mu\text{g/l}$]		Zucker [g/l]			
Versuche im Kleinsudmaßstab (10 l)						
V1	HK	Malt.	Glu.[HK]	Glu. [Malt.]	Mal.[HK]	Mal.[Malt.]
Weizen	1089,6	2915,9	8,2	17,4	78,7	71,2
Gerste	1267,7	1740,5	7,2	12,6	80,4	74,8
V2	HK	Malt.	Glu.[HK]	Glu. [Malt.]	Mal.[HK]	Mal.[Malt.]
Weizen	1569,0	4882,0	13,4	28,6	86,4	72,1
Gerste	1426,0	3126,0	11,3	22,1	84,3	74,5
V3	HK	Malt.	Glu.[HK]	Glu. [Malt.]	Mal.[HK]	Mal.[Malt.]
70/30	955,0	2774,0	7,4	16,6	80,2	70,8
Versuche im Pilotsudmaßstab (60 l)						
V4	HK	Malt.	Glu.[HK]*	Glu. [Malt.]*	Mal.[HK]*	Mal.[Malt.]*
70/30	2756	7863	10,4	23,2	131,2	126,1

[Anmerkung: * für V4 liegen keine Zuckeranalysen der Würzen vor
Sind Ergebnisse unter einer Versuchsnummer zusammengefasst, so wurden diese parallel angestellt und vergoren und sind somit direkt vergleichbar.]

Aus diesen Daten wurde die relative Steigerung der Isoamylacetatkonzentration bzw. der Glucosekonzentration durch das Maltasemaischverfahren bezogen auf das Vergleichsverfahren berechnet (siehe Tabelle 3.14).

Tab. 3.14: Relative Steigerung der Isoamylacetatkonzentration bzw. der Glucosekonzentration

Versuch/Steigerung	Steigerung d. IAA in %	Steigerung d. Glu. in %
V1 [Weizen, HK]	167,6 %	112,3 %
V1 [Gerste, HK]	37,3 %	74,9 %
V2 [Weizen, HK]	211,2 %	113,4 %
V2 [Gerste, HK]	119,2 %	95,6 %
V3 [70/30, HK]	190,5 %	123,9 %
V4 [70/30, HK]	185,3 %	123,3 %

Abb. 3.40 zeigt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Zunahme der Glucosekonzentration und der Steigerung der Isoamylacetatkonzentration besteht. Dies ist auch bei den Vergärungen von Modelllösungen zu sehen, solange das Optimum der Isoamylacetatbildung nicht überschritten wird.

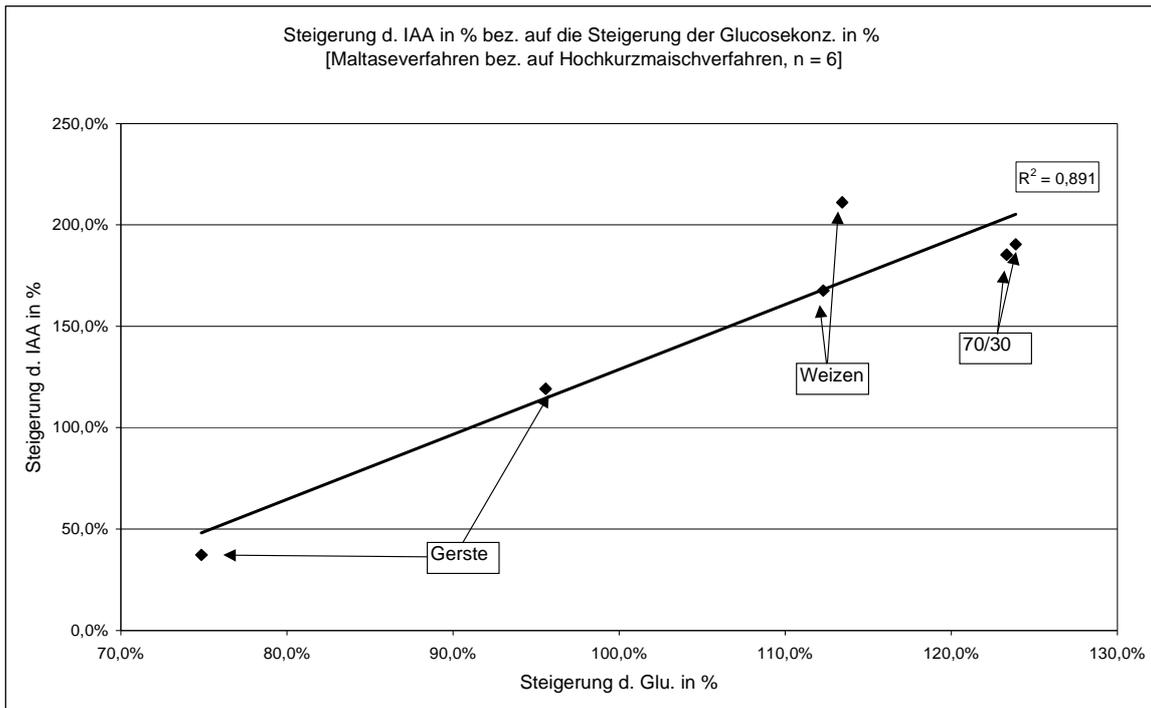


Abb. 3.40: Steigerung der Isoamylacetatkonzentration in % bezogen auf die Steigerung der Glucosekonzentration in % [Maltaseverfahren bez. auf Hochkurzmaisverfahren, n = 6]

Auch bei den Versuchen, bei denen das Maltasemaischverfahren mit einem Maischverfahren mit intensiver Eiweißrast verglichen wurde, erzielte das Maltasemaischverfahren stets höhere Estergehalte.

Laut Miedaner [1980] können hohe FAN-Werte auch zu erhöhten Estergehalten führen. Tabelle 3.15 zeigt jedoch, dass die Steigerung der Glucose der dominanter Effekt ist. Beide verglichenen Verfahren hatten eine 40-minütige Rast bei 45 °C, die FAN-Gehalte waren näherungsweise gleich.

Tab. 3.15: Ergebnisse der Versuche „Maltasemaischverfahren gegen Maischverfahren mit intensiver Eiweißrast“

Malz	Substanz:					
	Isoamylacetat [$\mu\text{g/l}$]		Zucker [g/l]			
Versuche im Kleinsudmaßstab (10 l)						
V1	EW	Malt.	Glu.[HK]	Glu. [Malt.]	Mal.[HK]	Mal.[Malt.]
Weizen	1569	3282	9,2	17,6	76,9	70,2
Gerste	1226	2485	7,4	16,8	n.a.	n.a.
Versuche im Pilotsudmassstab (60 l)						
V2	EW	Malt.	Glu.[HK]*	Glu. [Malt.]*	Mal.[HK]*	Mal.[Malt.]*
70/30	4220	8255	12,6	24,4	129,4	116,4

Maltaseaktivität der Malze

In Folge der Entwicklung des Maltasemaischverfahrens wurde eine Aktivitätsbestimmung für dieses Enzym eingeführt. Tabelle 3.16 zeigt eine Reihenuntersuchung verschiedener Malze aus der Kleinmälzung des Lehrstuhls des Jahrgangs 2003.

Aufgrund der unterschiedlichen Maltaseaktivitäten der Malze ergibt sich weiteres Potential zur Optimierung des Verfahrens durch Rohstoffauswahl. Es wurden jedoch noch keine Brauversuche mit Malzen stark unterschiedlicher Aktivitäten durchgeführt.

Tab. 3.16: Maltaseaktivitäten verschiedener Malze

Maltaseaktivität von Malzmustern		
Malzmuster (Sorte)	Extinktionsdifferenz ΔE	Aktivität / U/kg Mehl
Gerstenmalze:		
KM 1 (Barke)	0,099	22,3
KM 3 (Annabell)	0,080	18,0
KM 15 (Barke)	0,093	20,9
KM 17 (Annabell)	0,085	19,1
KM 29 (Barke)	0,078	17,6
KM 31 (Annabell)	0,087	19,6
KM 43 (Barke)	0,089	20,0
KM 45 (Annabell)	0,078	17,6
KM 57 (Barke)	0,097	21,8
KM 59 (Annabell)	0,074	16,7
KM 71 (Barke)	0,094	21,2
KM 73 (Annabell)	0,099	22,3
KM 85 (Barke)	0,100	22,5
KM 87 (Annabell)	0,080	18,0
KM 99 (Barke)	0,100	22,5
KM 101 (Annabell)	0,048	10,8
Weizenmalze:		
WM I	0,098	22,0
WM II (Soufflee)	0,104	23,4

3.3.2.3 Diskussion der Ergebnisse zur Beeinflussung des Zuckerspektrums

Das entwickelte Maischverfahren erlaubt die gezielte Einstellung der Glucosekonzentration und beeinflusst die Esterbildung signifikant. Nachteile des Verfahrens können die erhöhte Freisetzung der Ferulasäure durch die 45 °C sein, auch eine Beeinträchtigung der Schaumwerte durch die verstärkte Proteolyse kann gegeben sein. Beiden Nachteilen kann durch eine geeignete Rohstoffauswahl bis zu einem gewissen Grade entgegengesteuert werden.

Für Brauereien die noch mit klassischen, offenen Gärbottichen arbeiten, ist eine Verwendung dieses Verfahrens nicht anzuraten, da Gärparameter wie Hefestamm, Temperaturführung u.a. ausreichend sind um esterreiche Biere

herzustellen. Die Verwendung von zylindrokonischen Gärtanks unterdrückt jedoch die Esterbildung überproportional, das Maltaseverfahren kann hierbei genutzt werden um dennoch ein typisch estriges Bier zu erzeugen.

Weitere Ergebnisse zur Esterbildung in Abhängigkeit von der Zuckerkonzentration finden sich in Kapitel 3.4.

3.3.3 Unterschiede von Dekoktions- und Infusionsverfahren im Hinblick auf die Aromastoffbildung von Weißbieren

Für die Maischarbeit im Sudhaus haben sich über die Zeit zwei Verfahren etabliert, die bis heute in den Brauereien zum Einsatz kommen: das Infusionsverfahren und das Dekoktionsverfahren.

Bereits Mitte der sechziger Jahre wurden Versuche unternommen, das technisch aufwendigere Dekoktionsverfahren durch ein Infusionsverfahren zu ersetzen, ohne dabei Abstriche in analytischer und sensorischer Hinsicht machen zu müssen. Dabei gelang es, Biere herzustellen, die von den Analysen her leichte Unterschiede aufwiesen, jedoch im Dreieckstest nicht zu unterscheiden waren [Runkel 1965].

Jedoch noch Ende der siebziger und Anfang der achtziger Jahre arbeiteten die meisten Brauereien nach einem Dekoktionsmaischarbeitungsverfahren [Hug 1979].

Im Hinblick auf die Energiekrise Ende der Siebziger war das Thema auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten interessant, da man davon ausging, dass sich bei Anwendung eines Infusionsverfahrens nicht zu vernachlässigende Einsparungen gegenüber einem 1- oder sogar 2-Maischarbeitungsverfahren ergäben.

Ein weiterer Anstoß zur Erprobung von geeigneten Infusionsverfahren war die sich immer weiter verbreitende Automatisierung. Ein Infusionsmaischoverfahren war dabei einfacher zu programmieren als ein Dekoktionsmaischoverfahren. Viele Brauereien bestanden aber auf der zusätzlichen Einrichtung eines Dekoktionsverfahrens, um Problemen mit dem Infusionsverfahren bei schlechter Malzqualität begegnen zu können [Narziß 1981b].

Die Brauereien standen dem Infusionsverfahren weiterhin skeptisch gegenüber, obwohl Mitte der Achtziger wiederholte Untersuchungen zu dem Schluss kamen, dass insgesamt keine Veränderungen in der Produktion und in den analytischen Qualitätsmerkmalen zwischen den Bieren festzustellen waren. Die geschmacklichen und analytischen Unterschiede bestanden gar nicht oder, wenn überhaupt, nur tendenziell [Sommer 1985]. Dennoch wird auch heute noch in etwa 40 % aller Weißbierbrauereien (siehe 1) ein Dekoktionsverfahren verwendet. Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich jedoch nur auf untergärige Biere.

Aus den verschiedenen Untersuchungen ergibt sich folgendes Bild für die Unterschiede zwischen Infusions- und Dekoktionsverfahren [Runkel 1965, Hug 1979, Narziß 1981b, Sommer 1985]:

- Tendenziell weisen beim Infusionsverfahren Ausbeute, scheinbarer Extrakt, scheinbarer und wahrer Endvergärungsgrad niedrigere Werte auf.
- Gerbstoffe und Anthocyanogene sind bei Infusionsbier tendenziell weniger stark ausgeprägt. Die Schwankungen können jedoch durch verstärkte Auslaugung von Spelzenpolyphenolen ebenso bedingt sein, wie durch die Ausfällung von phenolischen Substanzen beim Maischekochen.
- Die Kältestabilität ist schlechter als bei dem jeweils vergleichbaren Dekoktionsbier.
- Die Schaumstabilität ist bei Dekoktionsbieren entweder unbeeinflusst oder tendenziell besser als bei den jeweils vergleichbaren Infusionsbieren.
- Entgegen der oft vorgefundenen Meinung, wonach die Maischekochung zu dunkleren Würzfarben führt, sind die gemessenen Farbwerte annähernd

gleich oder identisch, in einem Fall liegen die Farbwerte bei den Infusionsbieren sogar höher.

- Die Alterungsstabilität scheint bei vergleichbaren Infusions- und Dekoktionsbieren identisch zu sein.
- In der Sensorik werden Infusionsbiere oft als „milder“ und „Dekoktionsbiere“ oft als „kräftiger“ oder „kerniger“ beschrieben, bei Dreieckstest konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Bei entsprechenden Anpassungen der Maischarbeit gelang es, sowohl mit dem Infusions- als auch mit dem Einmais- und Zweimaisverfahren Würzen und Biere zu gewinnen, die sich analytisch und sensorisch nicht unterscheiden ließen [Hug 1979].

Es wurde vermutet, dass der „milde“ respektive „kernige“ Eindruck von Infusions- bzw. Dekoktionsbieren auf Dextrine zurückzuführen sei. Charalambous [1981] geht davon aus, dass die Maischarbeit und der daraus resultierende Dextringehalt der Würze sich direkt auf die Vollmundigkeit auswirken, „auch wenn Dextrine an sich geschmackslos sind [Otter 1969]. Unterstützt wird die Annahme durch eine Untersuchung zum Abbau der Dextrine zu Zucker durch die im Mundspeichel vorhandene α -Amylase. Die Hydrolyse findet zwar nicht in dem Umfang statt, dass ein süßer Geschmack/ Nachgeschmack empfunden werden kann, der bittere Nachgeschmack des Bieres wird aber teilweise kompensiert [Bréfort 1989]. Die Ergebnisse zur Dextrinzusammensetzung bei Infusions- und Dekoktionsverfahren werden jedoch nicht hier, da es sich nicht um Aromastoffe handelt, sondern in der Habilitationsschrift von Krottenthaler [o.j.] dargestellt.

3.3.3.1 Versuchsaufbau der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren

In der ersten Versuchsreihe wurden je ein Weizenbiersud im Dekoktions- und Infusionsverfahren hergestellt.

Die Sude wurden folgendermaßen durchgeführt:

- Schüttung: 0,75 kg helles Weizenmalz
- 0,75 kg Pilsener Malz
- Hauptguß: 6 Liter
- Nachgüsse: 3 + 2 + 1 Liter
- Gesamtmaische: $1,5 \text{ kg Malz} \times 0,7 \text{ l/kg} + 6 \text{ l Hauptguß} = 7,1 \text{ l Maische}$
- Kochmaische: 1,9 Liter
- Restmaische: 5,2 Liter
- Würzekochdauer: 75 Minuten (atmosphärisch)

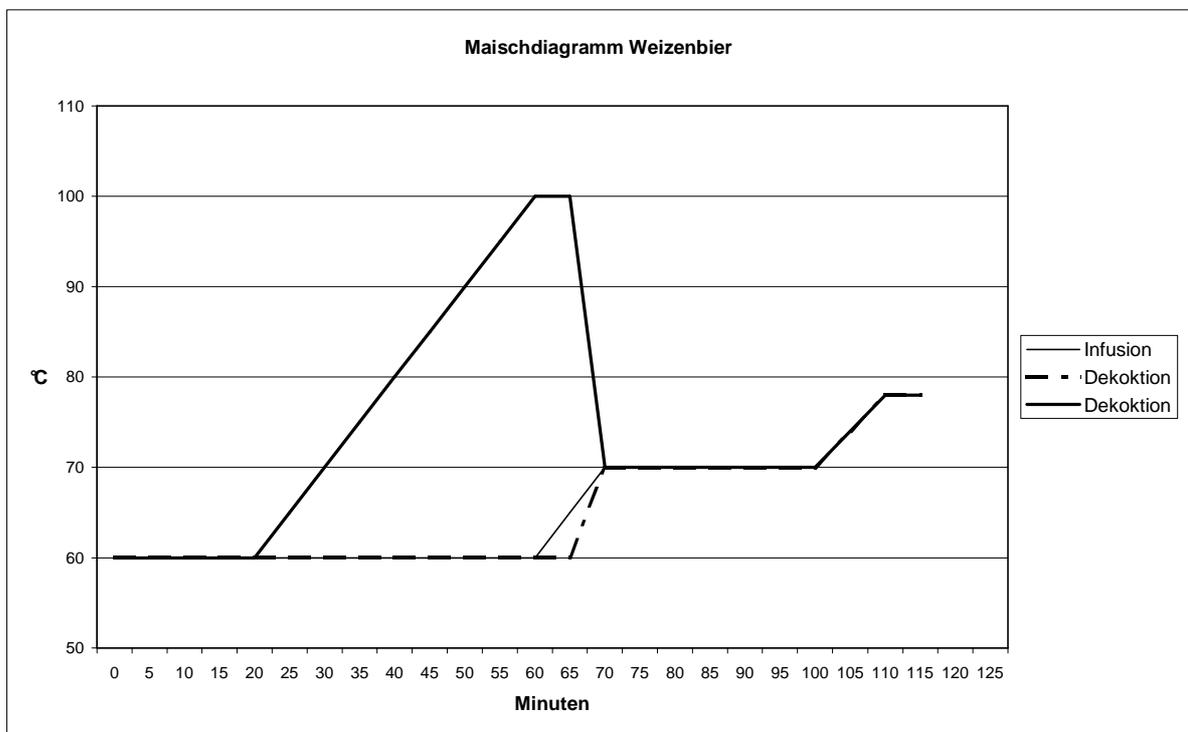


Abb. 3.41: Maischdiagramm für Dekoktions- und Infusionsverfahren (VR1)

In der zweiten Versuchsreihe wurden je ein Sud im Dekoktions- und Infusionsverfahren hergestellt.

Dabei wurde von einem obergärigen auf ein untergäriges Brauverfahren übergegangen, um bei der Verkostung der fertigen Biere einen zu großen Einfluss von phenolischen und estrigen Gärungsnebenprodukten auszuschließen. Die Hopfung wurde überdies auf ein Minimum beschränkt.

Die Durchführung deckte sich mit Versuchsreihe 1, jedoch wurde die Kochdauer der Teilmaische von 5 auf 10 Minuten ausgedehnt, um dem Einfluss des Maischekochens mehr Gewicht zu verleihen. Darüber hinaus kam 100 % Gerstenmalz zum Einsatz. Die Würzekochdauer wurde von 75 Minuten auf 50 Minuten reduziert.

In Versuchsreihe 3 wurden vier Sude hergestellt.

Zwei Sude wurden identisch zu Versuchsreihe 2 hergestellt, um die Ergebnisse zu reproduzieren und zu verifizieren.

Zwei weitere Sude wurden mit modifizierten Infusionsmaisverfahren hergestellt.

Zum einen wurde ein Maischverfahren angewendet, bei dem die Einmischtemperatur statt bei 60 °C bei 58 °C lag und 20 Minuten gehalten wurde (GV). Die weitere Temperaturstaffelung gestaltete sich wie im Infusionsverfahren in VR2. Dabei sollte untersucht werden, ob der Gehalt an höhermolekularen Dextrinen im Bier durch eine ausgedehnte Grenzdextrinaserast (Temperaturoptimum Grenzdextrinase: 55-60 °C) [Narziß 1992] auf einen ähnlichen Gehalt zu senken ist wie bei einem Bier, welches im Dekoktionsverfahren hergestellt wurde.

Beim vierten Maischverfahren (KV) wurde die Einmischtemperatur bei 65 °C gewählt. Dabei sollte überprüft werden, ob eine kombinierte α - und β -Amylase-Rast ebenfalls zu einer Senkung des Gehaltes an höhermolekularen Dextrinen führen konnte.

3.3.3.2 Ergebnisse der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren

Die unter 3.3.3 zusammengefassten Ergebnisse zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren konnten auch in diesen Versuchsreihen weitestgehend festgestellt werden. Hierzu sei auf die Daten im Tabellenanhang verwiesen (siehe Tab. T89- T101).

Würze

Es bestehen keine Unterschiede zwischen typischen Parametern wie FAN, Zuckerszusammensetzung und pH. Farbe und koagulierbarer Stickstoff sind bei den Dekoktionsbieren tendenziell geringer.

Im Bereich der Würzearomastoffe konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich von Infusions- und Dekoktionsverfahren festgestellt werden.

Nach dem Abläutern wiesen die Pfanne-Voll-Würzen des Infusionsverfahrens höhere Gehalte an Streckeraldehyden auf als die Würzen nach dem Dekoktionsverfahren. Dies ist auf die Ausdampfung von Streckeraldehyden bereits während des Maischekochens zurückzuführen. Nach Kochende sind die Würzen im Gehalt an Streckeraldehyden analytisch identisch.

In den modifizierten Infusionsverfahren in Versuchsreihe 3 wurden in der Pfanne-Voll-Würze ähnliche Werte gemessen wie in VR2 im Infusions- und Dekoktionsverfahren. Nach Kochende lagen sie aber signifikant niedriger als die Würzen in VR1 und VR2. Den niedrigsten Gehalt an Streckeraldehyden wies die Ausschlagwürze des Infusionsmaischverfahrens mit einer Einmaischttemperatur von 65°C (KV) auf.

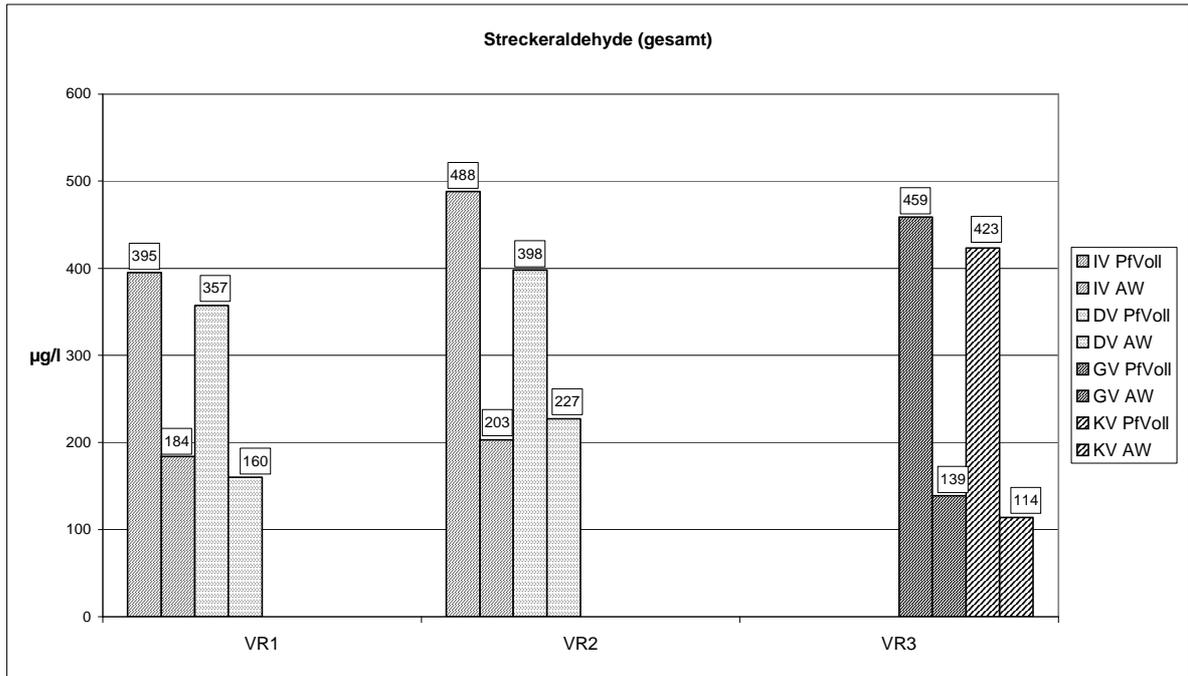


Abb. 3.42: Streckeraldehyde (gesamt), VR1-3

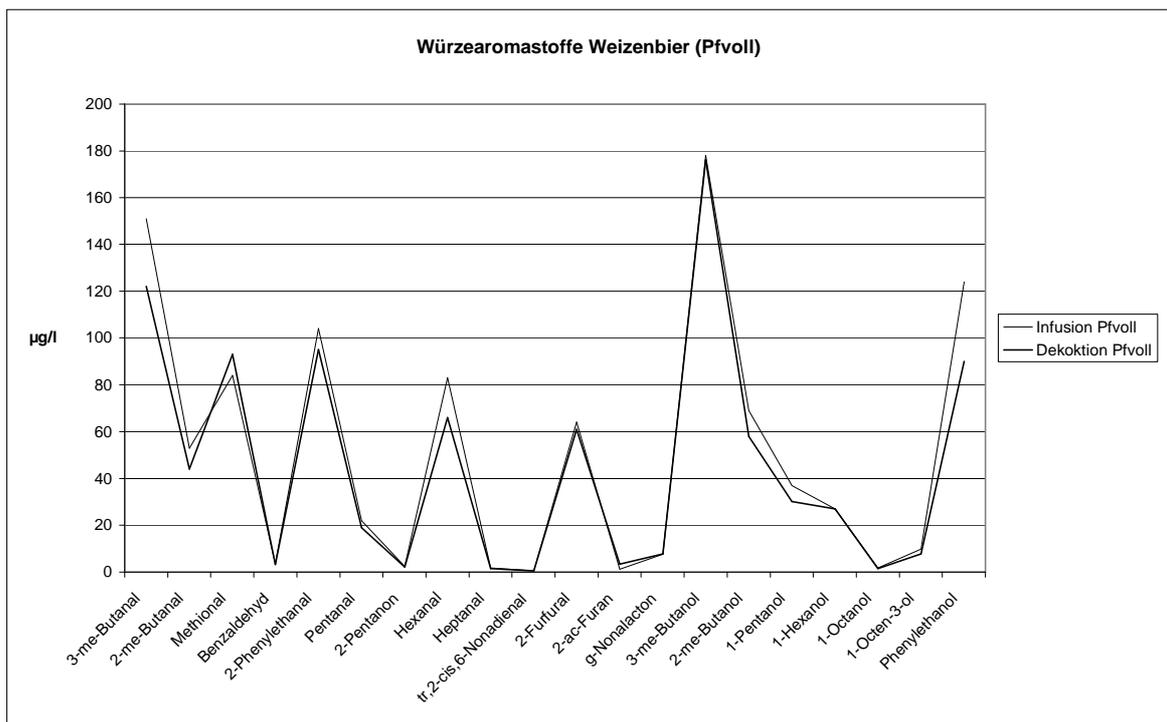


Abb. 3.43: Würzearomastoffe, Pfanne-Voll, VR1

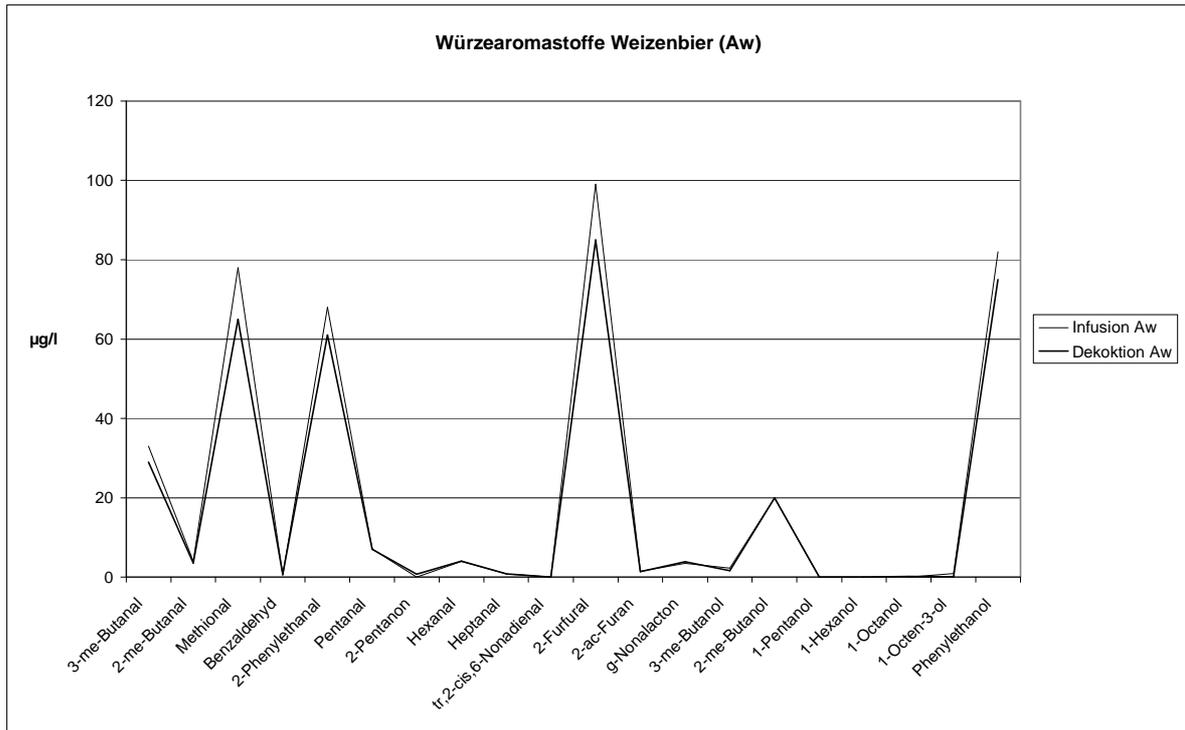


Abb. 3.44: Würzearomastoffe, Ausschlagwürze, VR1

Bier

Bei der Untersuchung auf Bieraromastoffe konnte zwischen den im Infusionsverfahren und Dekoktionsverfahren hergestellten Bieren kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

So gilt 2-Phenylethanol als Indikator der Gärintensität, in den 2 Weizenbiersuden weist es Werte von 38,5 mg/l beim Infusionsbier und 37,5 mg/l beim Dekoktionsbier auf. Auch dies stellt keinen signifikanten Unterschied dar, Gärintensität und auch Gärdauer waren nahezu identisch.

Auch bei den höheren Alkoholen und leichtflüchtigen Estern konnte kein Unterschied zwischen Infusionsverfahren und Dekoktionsverfahren nachgewiesen werden. Darüber geben Abbildung 3.46 und Abbildung 3.47 Aufschluss:

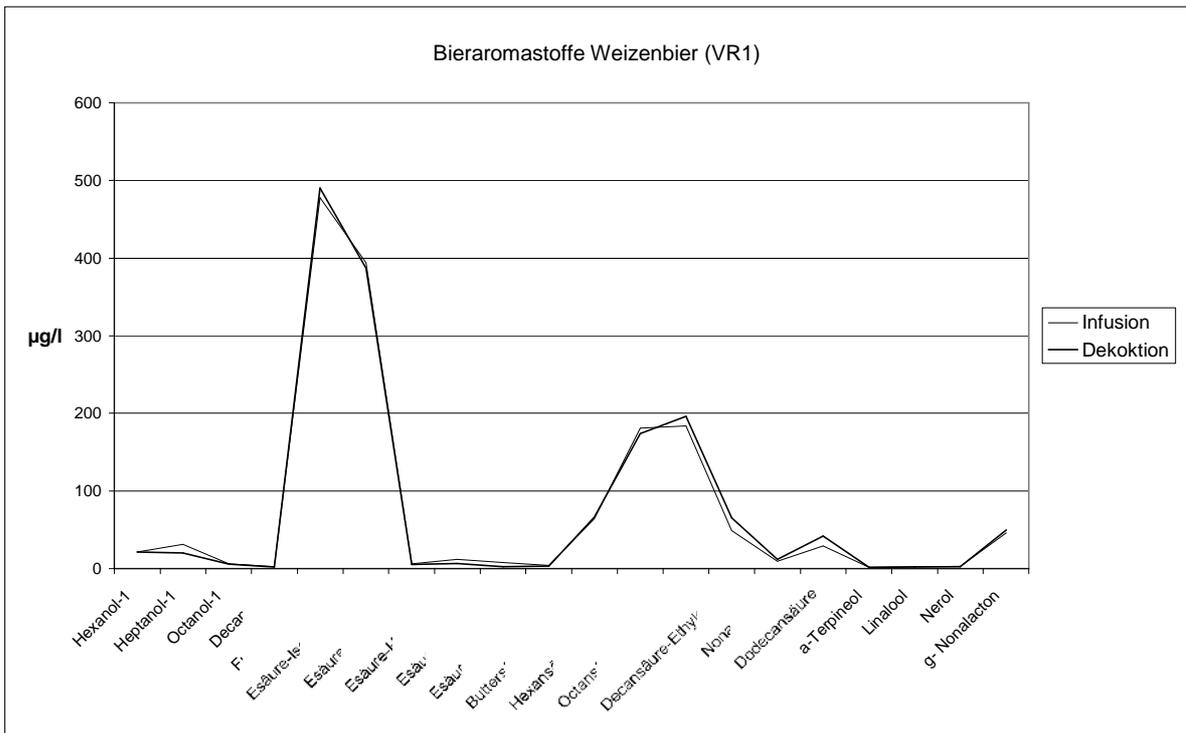


Abb. 3.45: Bieraromastoffe, VR1

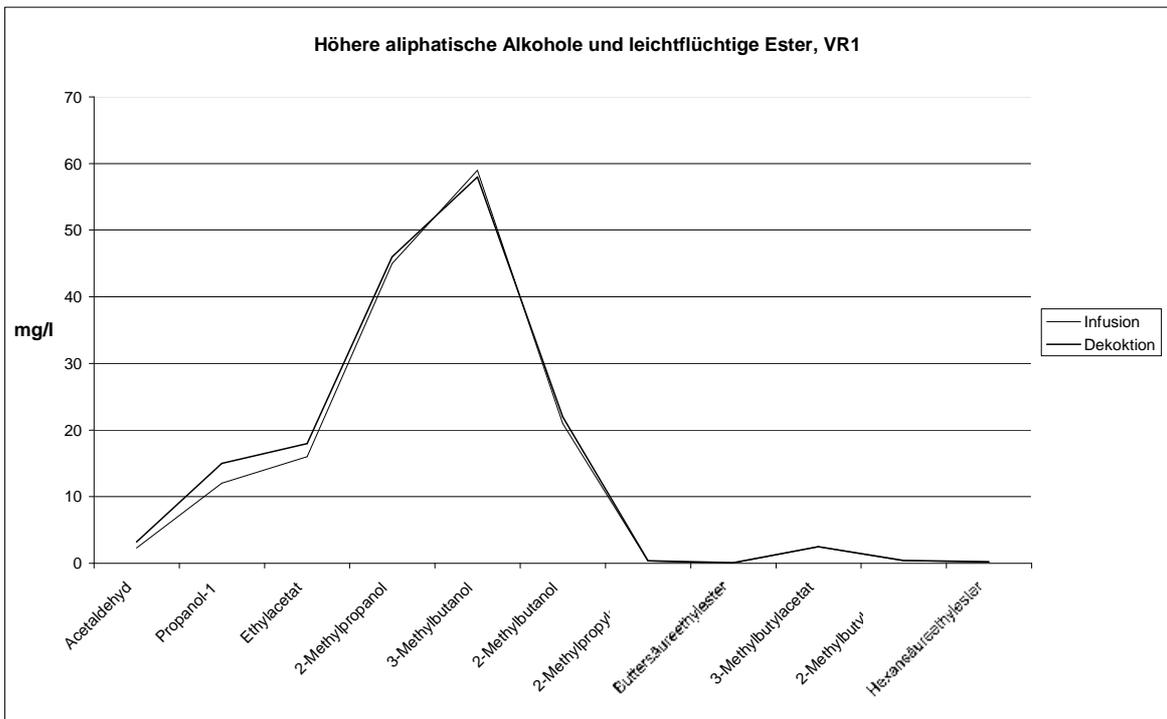


Abb. 3.46: Höhere Alkohole und leichtflüchtige Ester, VR1

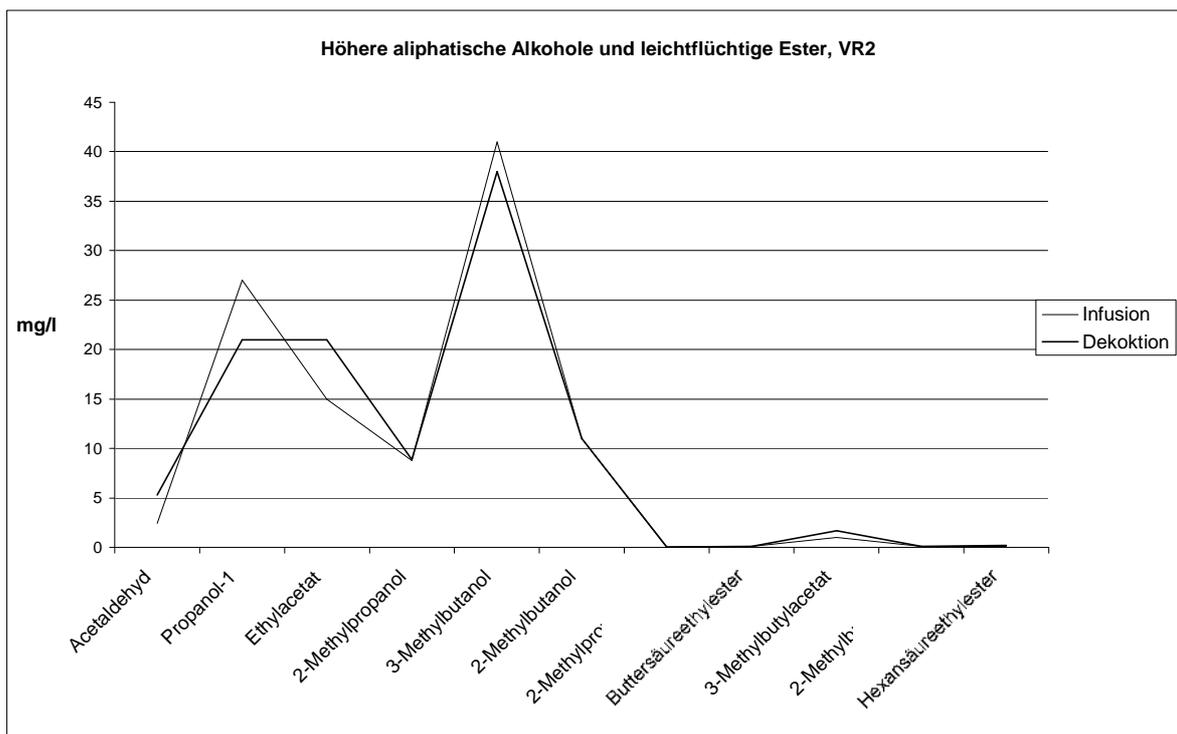


Abb. 3.47: Höhere Alkohole und leichtflüchtige Ester, VR2

Diese Ergebnisse hinsichtlich der Aromastoffe wurden in den weiteren Versuchen bestätigt.

In den Dreiecksverkostungen ergab sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied. In der spezifischen Verkostung für Weißbiere und der DLG-Verkostung wurden die Infusionsbiere vielfach als milder, weicher und insgesamt runder umschrieben, das Dekoktionsbier hingegen als kantig und „scharf“. Erwähnenswert ist jedoch, dass der Großteil der Verkoster, die die Biere im Dreieckstest richtig zuordneten, die Infusionsbiere bevorzugten. So wurden von 10 Verkostern 4 richtige Antworten gegeben, 3 der 4 richtig antwortenden Prüfer bevorzugten das Infusionsbier.

Dies gilt auch für die Alterungsverkostung, die forcierten Biere konnten im Dreieckstest nicht unterschieden werden.

Deutliche Unterschiede ergaben sich lediglich in der Trübungsstabilität, die Biere nach dem Dekoktionsverfahren waren stets stabiler (siehe Tab. 3.17). Die

Messung der Trübungsstabilität konnte natürlich nur in den hefefreien Bieren gemessen werden.

Tab. 3.17: Trübungsstabilität der Biere (Durchschnitt aus je einer Doppelbestimmung)

	Infusion	Dekoktion
Warmtage	2,3	8,6
Warmtage	3,2	7,7

Auch bei den Schaumwerten erwiesen sich die Dekoktionsbiere als stabiler.

Tab. 3.18: Schaumstabilität der Biere (Durchschnitt aus je einer Doppelbestimmung)

Schaumzahl (Nibem)	Infusion	Dekoktion
Frisch	254	252
Forciert	221	248

3.3.3.3 Diskussion der Ergebnisse der Untersuchungen zu Unterschieden von Infusions- und Dekoktionsverfahren

Auch in Weißbieren verursacht ein Dekoktionsverfahren keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Aromastoffbildung. Weder die Sensorik noch die Aromastoffanalytik weisen Abweichungen auf. Lediglich in den Pfanne-Voll-Würzen wurden verschiedene Werte aufgenommen, das Kochen der Würze gleicht dies aber wiederum aus. Ein Zubrühen auf niedere Temperaturen wurde

jedoch nicht untersucht, es besteht die Möglichkeit, dass dies zu einer Veränderung der Aromastoffausstattung führt. Dennoch ist auch beim Zubrühen auf beispielsweise 45 °C keine große Abweichung zu erwarten, die Zunahme der Glucosekonzentration (siehe 3.3.2) ist zu gering um die Esterbildung deutlich zu forcieren. Die Umstellung von Infusion zu Dekoktion sollte, wie es auch bereits für untergärige Biere nachgewiesen wurde, auch bei Weißbieren ohne schwerwiegende Probleme möglich sein.

Entscheidender ist der Einfluss von Dekoktionsverfahren auf die Eiweißfraktionen. Die Dekoktionsbiere erwiesen sich sowohl in der Schaumstabilität als auch in der Trübungsstabilität als stabiler. Diese Erkenntnis sollte hinsichtlich der Trübungsstabilität von Weißbieren weiter verfolgt werden und könnte einen deutlichen Vorteil des Dekoktionsverfahrens gegenüber Infusionsverfahren für die Weißbierbrauer darstellen.

3.4 Beeinflussung der Aromastoffbildung durch unterschiedliche Zuckerzusammensetzungen der Würze während der Gärung

Verschiedene Untersuchungen [Narziß 1983, Back 1998] zeigen, dass die Gärung in zylindrokonischen Gärtanks zu geringeren Estergehalten in Bieren führt. Diese Tatsache kann bei der Herstellung von Weißbieren aber auch von Märzen-, Fest-, Leicht- und alkoholfreien Bieren zu einem einseitigen Geschmacksprofil führen. Der Großteil aller in zylindrokonischen Gärtanks hergestellten Weißbiere zeichnet sich durch ein phenolisch geprägtes Aroma aus (siehe 1).

Es wird vermutet, dass die geringere Esterbildung sich aus einem niedrigeren Acetyl-CoA-Pool aufgrund der Hemmung des Lipidstoffwechsels durch einen höheren Kohlenstoffdioxidpartialdruck in den tieferen Schichten des ZKG ergibt [Renger 1992, Shanta 1995]. In neueren Untersuchungen zur genetischen Expression der esterbildenden Enzyme, den Alkohol-Acetyltransferasen, wurde festgestellt, dass ungesättigte Fettsäuren die Bildung dieser Enzyme inhibieren [Mason 2000].

In High-Gravity-Würzen wird auch in zylindrokonischen Gärtanks eine überproportionale Menge an Estern gebildet. Zusätzlich kann durch Variation der Gärungsparameter Temperatur, Druck u. a. der Estergehalt bis zu einem gewissen Maß beeinflusst werden [Back 1998]. High-Gravity-Verfahren konnten sich bei Weißbieren jedoch nicht durchsetzen. Untersuchungen zum Einfluss der Zuckerzusammensetzung der Würze zeigen, dass durch die Erhöhung des Maltoseanteils – durch Zugabe von Maltosesirup - eine Verringerung der Estermenge zu erreichen ist. Durch eine Verringerung des Maltoseanteils ergibt sich eine Erhöhung des Estergehaltes [Anderson 1974, Palmer 1974, D'Amore 1991, Shindo 1999]. Die Bildung der Isoamylalcohol-Acetyl-Transferase (AATase 1) ist im Allgemeinen um so höher, je größer der „Stress“ der Hefe ist. Zu den Stressfaktoren zählen Temperatur, pH, osmotischer und oxidativer Stress sowie Glucose- und Stickstoffmangel. Die für die Expression der AATase 1 verantwortlichen Gene werden durch ungesättigte Fettsäuren reprimiert

[Dufour 1999, Mason 2000]. Des Weiteren wird vermutet, dass ein höherer Maltoseanteil den Transport von Estern aus der Hefezelle behindert und aufgrund der langsameren Vergärung auf Maltosebasis durch Verringerung des Acetyl-CoA-Pools zu geringerer Esterbildung führt [Stewart 1999].

Es war nicht bekannt ob und inwieweit sich obergärige Hefen wie untergärige Hefen gegenüber der Änderung des Zuckerspektrums verhalten.

3.4.1 Material und Versuchsaufbau der Untersuchungen zum Einfluss des Zuckerspektrums

Untersuchungen zum Einfluss des Zuckerspektrums auf die Bildung von Gärungsnebenprodukten:

Verwendete Materialien für die Modelllösungen (16 % Stw., späterer Versuch: 12 %, pH 5,2):

- Brauwasser, enthärtet,
- Maltose-Monohydrat, Glucose-Monohydrat, Saccharose-Monohydrat und Fructose-Monohydrat (Fa. Döhler Euro-Citrus),
- „Yeast Nitrogen Base“ (Fa. Difco),
- Aminosäuren in einer der Bierwürze entsprechenden Zusammensetzung (Fa. Sigma-Aldrich),
- Milchsäure zur pH-Korrektur (technisch rein, Fa. Merck).

Gärung:

- Ober- und untergärige Hefen wurden zur Adaption in diesem Medium herangezogen,
- Belüftung durch „Schwenken“ der Modelllösungen in einem Hansenkolben,
- die Versuchsreihen wurden simultan mit 2 Mio. Zellen/ml angestellt,

- die Gärtemperatur betrug 17-17,5 °C.

Versuche in praxisnäheren Medien und Versuche zur Simulation eines ZKGs im Bioreaktor

Würze:

- Weißbierwürze einer Brauerei, verdünnt auf 10 % Stw. mittels destilliertem Wasser.

Zuckeraddition:

- Maltose-Monohydrat und Glucose-Monohydrat (Fa. Döhler Euro-Citrus).

Gärung:

- Obergärige Hefe, Stamm 68, Anstellmenge 2 Mio lebende Zellen (praxisnahe Medien), bzw. 7,5 Mio. lebende Zellen/ml (Bioreaktor),
- Gärtemperatur 18 °C.

3.4.2 Untersuchungen zum Einfluss des Zuckerspektrums auf die Bildung von Gärungsnebenprodukten

Versuche in High-Gravity Modelllösungen

In dieser Versuchsreihe wurden die Hefestämme 34 und 68 untersucht.

Höhere Alkohole, wie 2-Methylpropan-1-ol oder 2-Methylbutan-1-ol, wurden durch die Veränderung der Zuckerzusammensetzung der Würze nur geringfügig beeinflusst (siehe Abbildung 3.48). Der Gehalt an Diacetyl und Pentandion wies bei einem 100 % Maltose Medium ein Minimum auf (siehe Abbildung 3.49).

Obergärige und untergärige Hefen unterschieden sich in ihrem Verhalten hierbei nicht wesentlich.

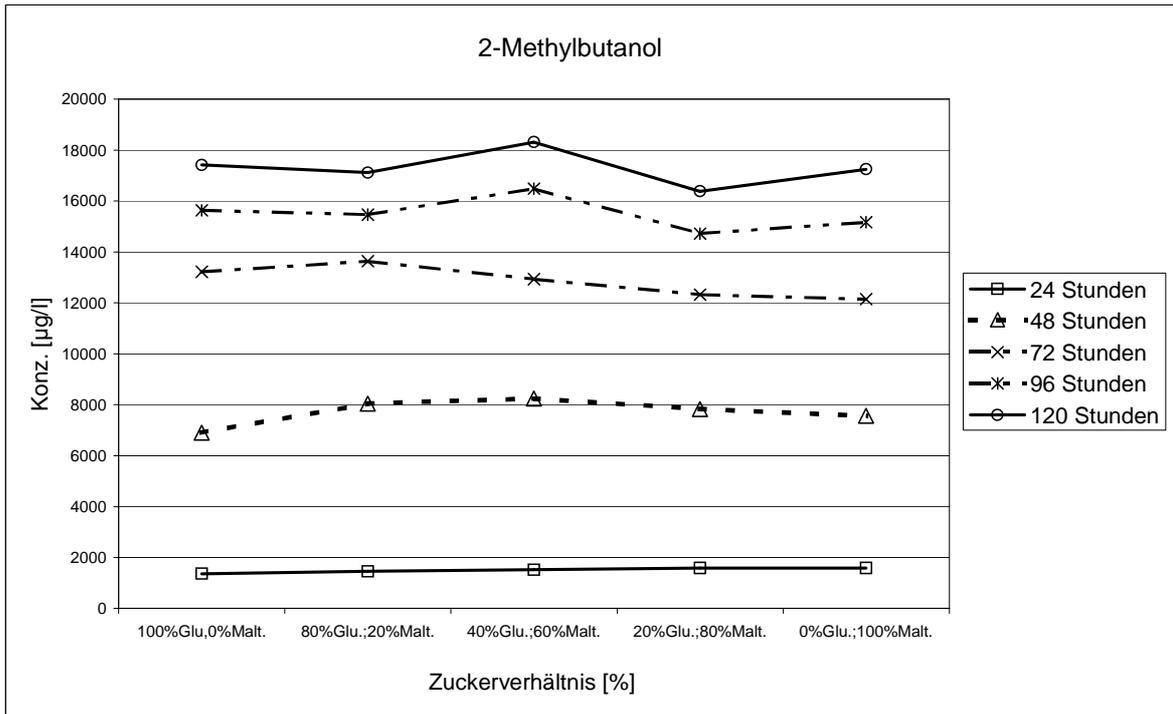


Abb. 3.48: 2-Methylbutanolbildung während der Hauptgärung (Stamm 68) in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung der Würze

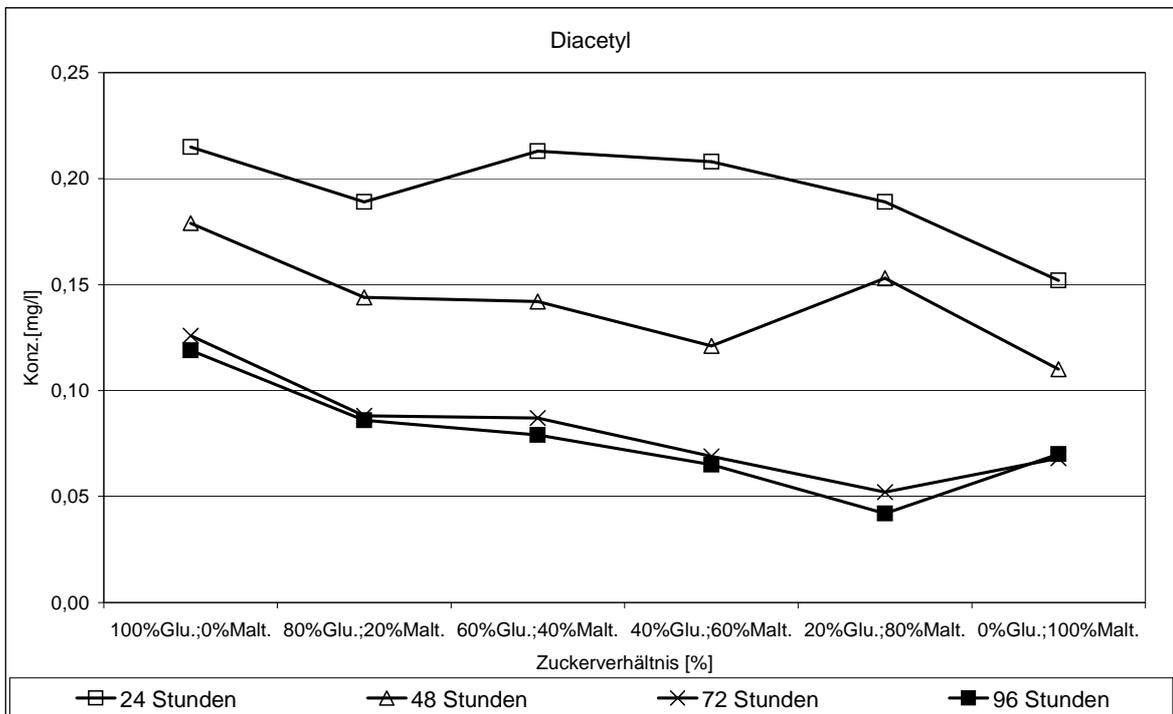


Abb. 3.49: Diacetylkonzentration in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung der Würze (Stamm 34)

Die Vergärung von Modelllösungen mit variierender Zuckerzusammensetzung ergab bei einer Erhöhung des Glucoseanteils um 40 % eine Steigerung des Isoamylacetatgehalts um 123 % bzw. 52 % (siehe Abbildung 3.50 und 3.51).

Die Gärgeschwindigkeit der Versuche mit höheren Glucoseanteilen war tendenziell rascher.

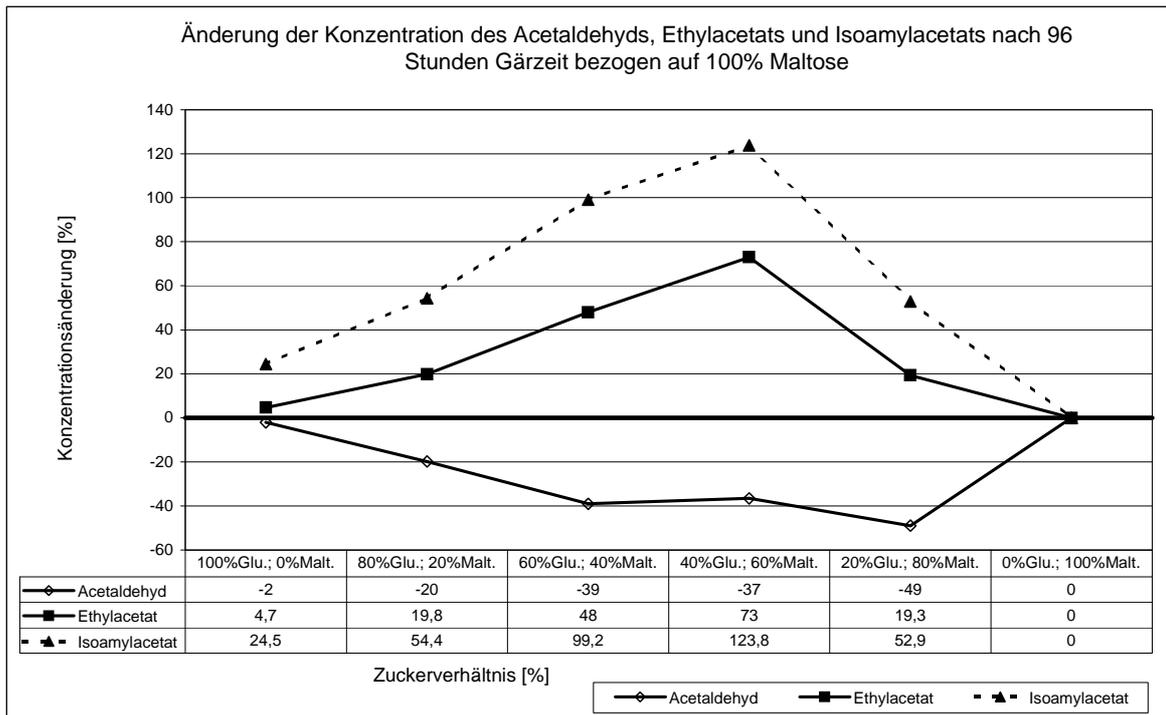


Abb. 3.50: Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 34)

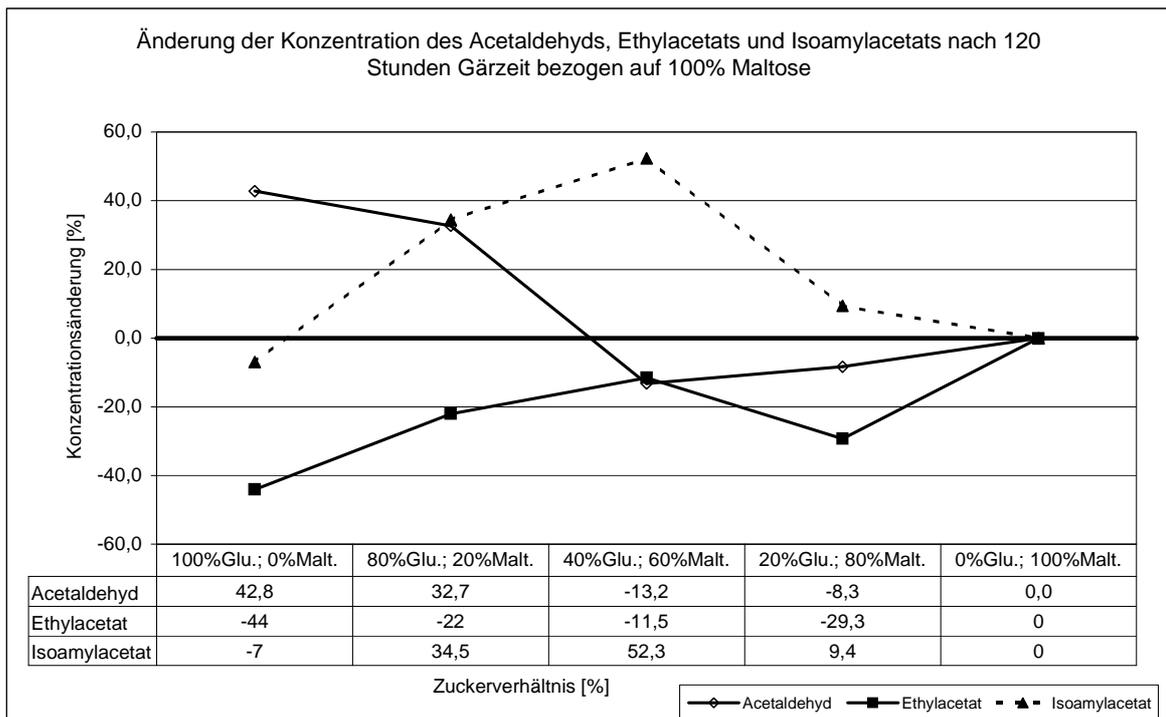


Abb. 3.51: Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 68)

Die Betrachtung der Absolutwerte darf nicht außer Acht gelassen werden: Stamm 68 erreicht ein höheres absolutes Maximum bei 3-Methylbutylacetat in Höhe von 2,7 mg/l, während Stamm 34 ein Maximum von 1,1 mg/l erreicht. Die relative Steigerung war jedoch bei Stamm 34 höher.

Für Modellösungen mit Fructose bzw. Saccharose und Maltose konnte mit Verringerung des Maltoseanteils ebenso eine deutliche Steigerung des Estergehaltes festgestellt werden (siehe Abbildung 3.52 und 3.53).

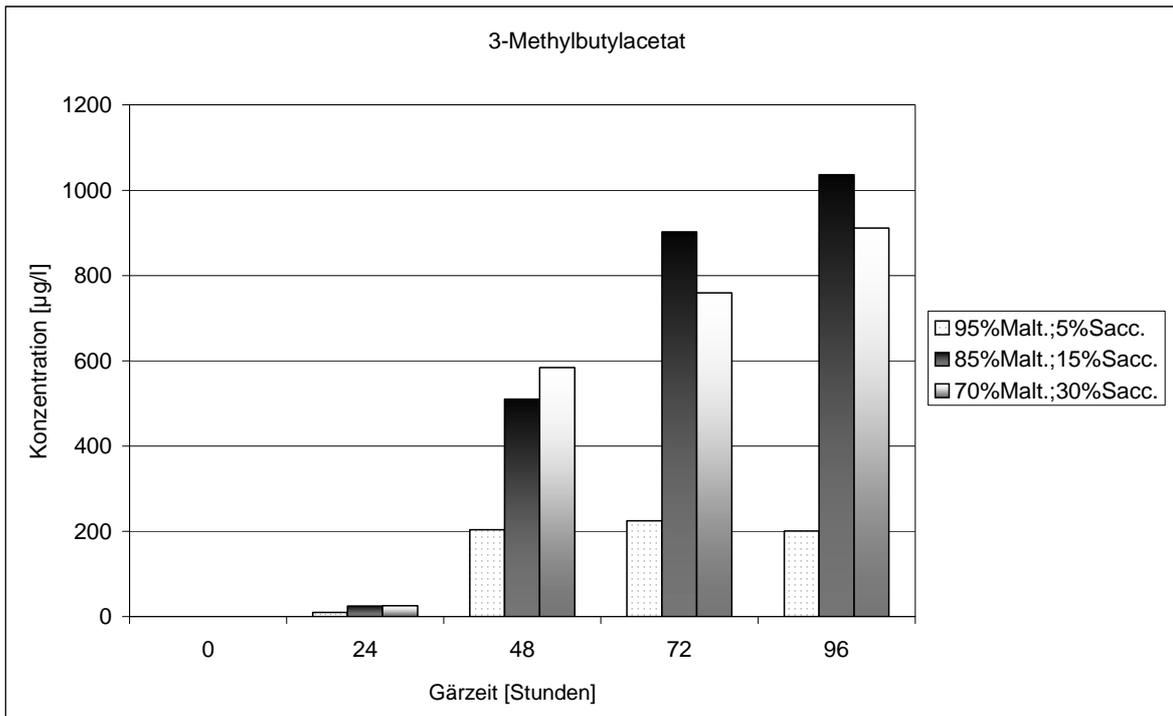


Abb. 3.52: Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Saccharose-/Maltosezusammensetzung (Stamm 68)

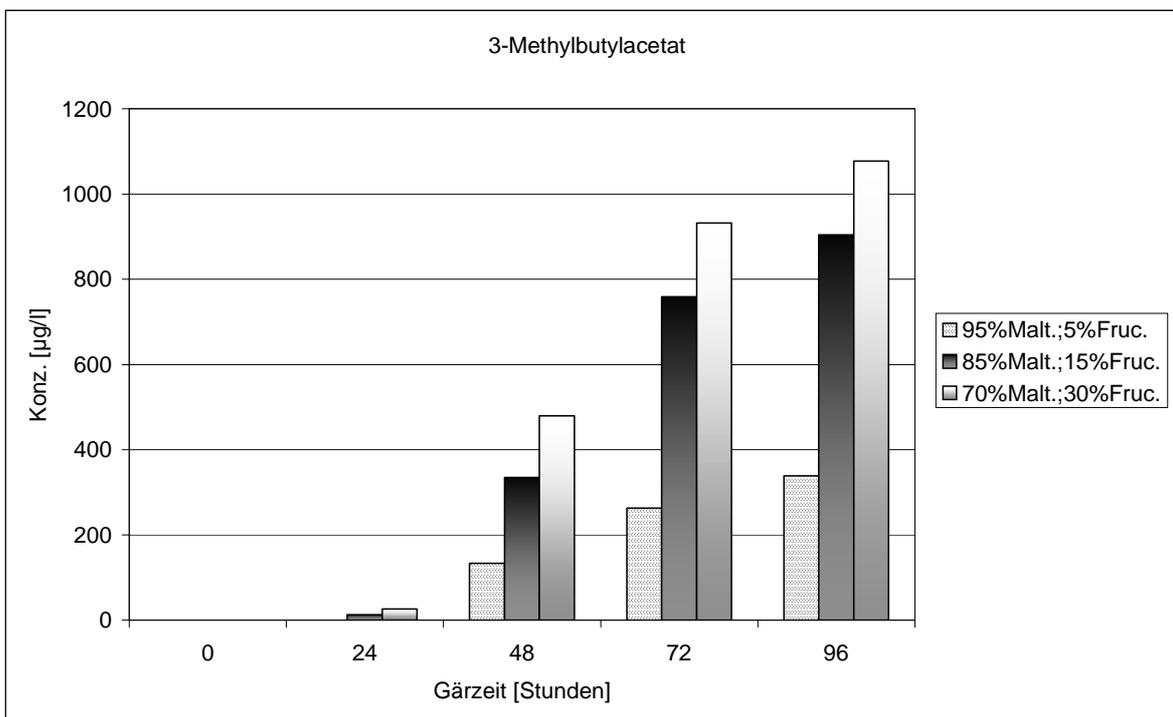


Abb. 3.53: Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Fructose-/Maltosezusammensetzung (Stamm 68)

Versuche in praxisnahen High-Gravity Modelllösungen

Die durch Zuckeraddition veränderten Würzen wurden mit Hefestamm 68 vergoren. Die Resultate dieser Vergärungen in realistischeren Modelllösungen bestätigen die Ergebnisse der obigen Versuche (siehe Abbildung 3.54)

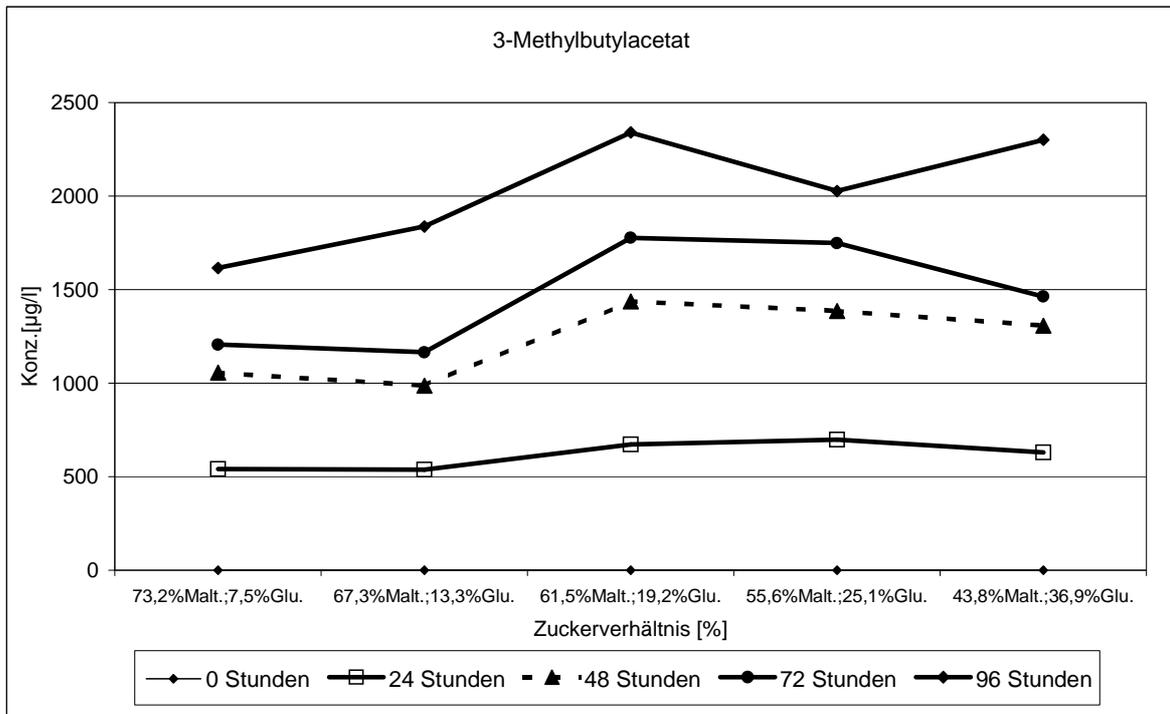


Abb. 3.54: Bildung des 3-Methylbutylacetats in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 73.2% Maltose (Stamm 68)

Versuche in 12-%igen Modelllösungen

Die Versuche wurden in Modelllösungen die einer 12 prozentigen Würze entsprechen sollten, wiederholt. Zusätzlich wurden der Hefestamm 252 und 2 Brauereihefen, beide angeblich Stamm 68, untersucht. Die beiden Brauereihefen wurden zusätzlich hinsichtlich eines Einflusses der Führung auf die Veränderungen Aromastoffbildung analysiert. Abbildungen 3.55 – 3.65 zeigen die Ergebnisse dieser Vergärungen.

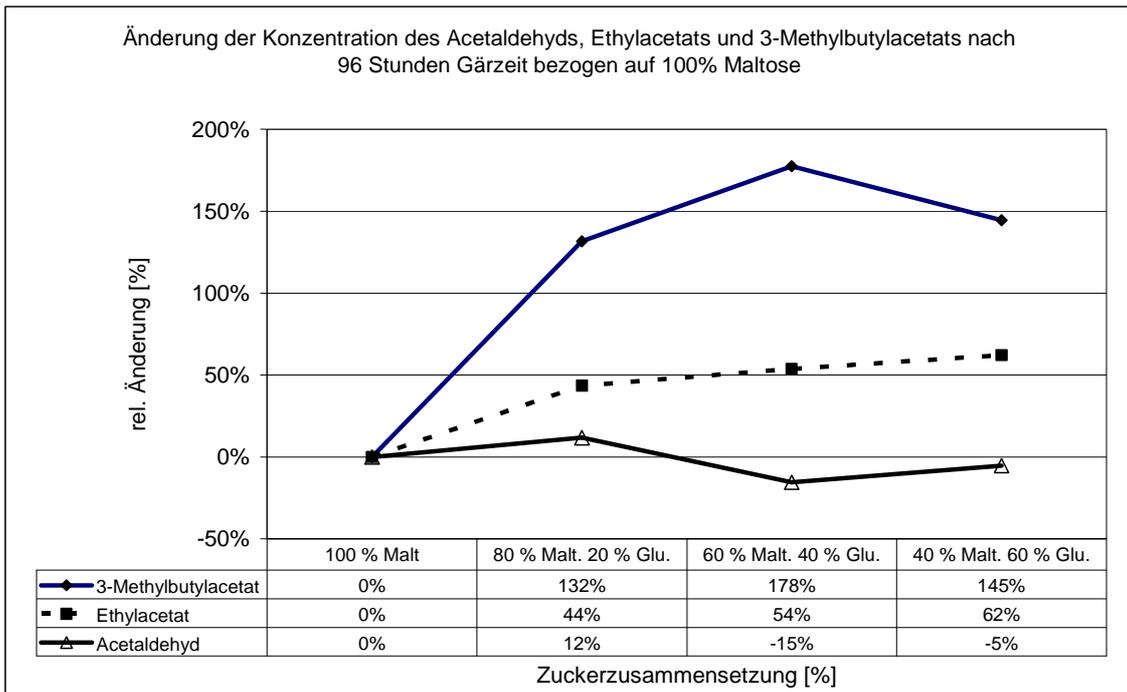


Abb. 3.55 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 68) bei 12 %-igen Modelllösungen

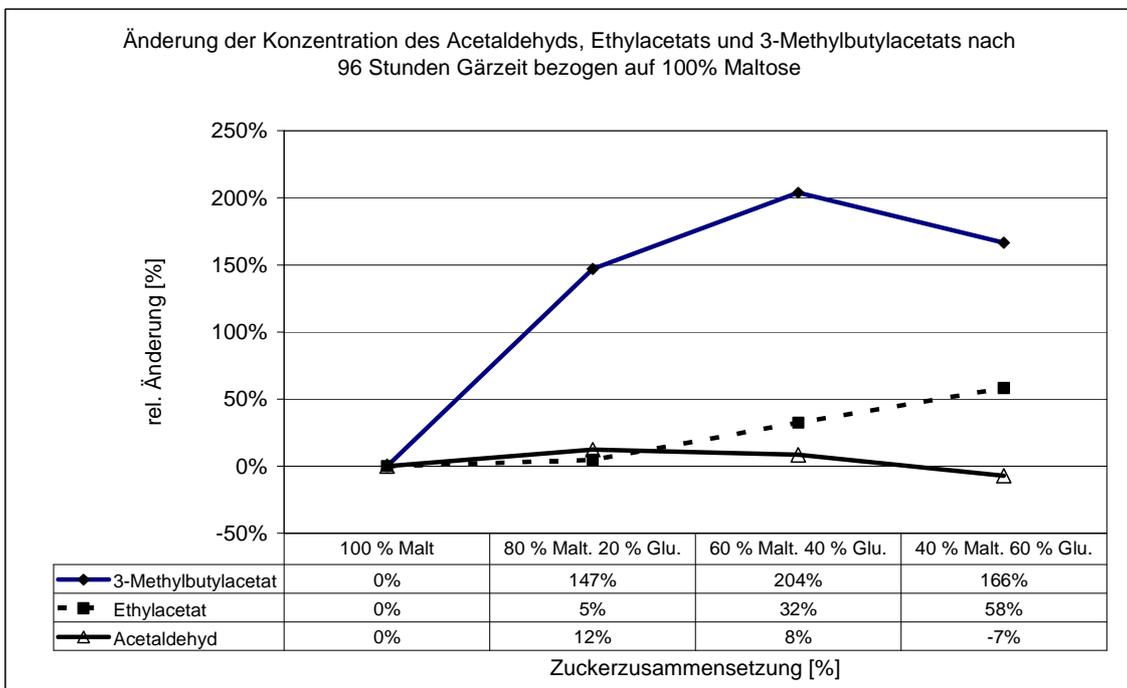


Abb. 3.56 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 34) bei 12 %-igen Modelllösungen

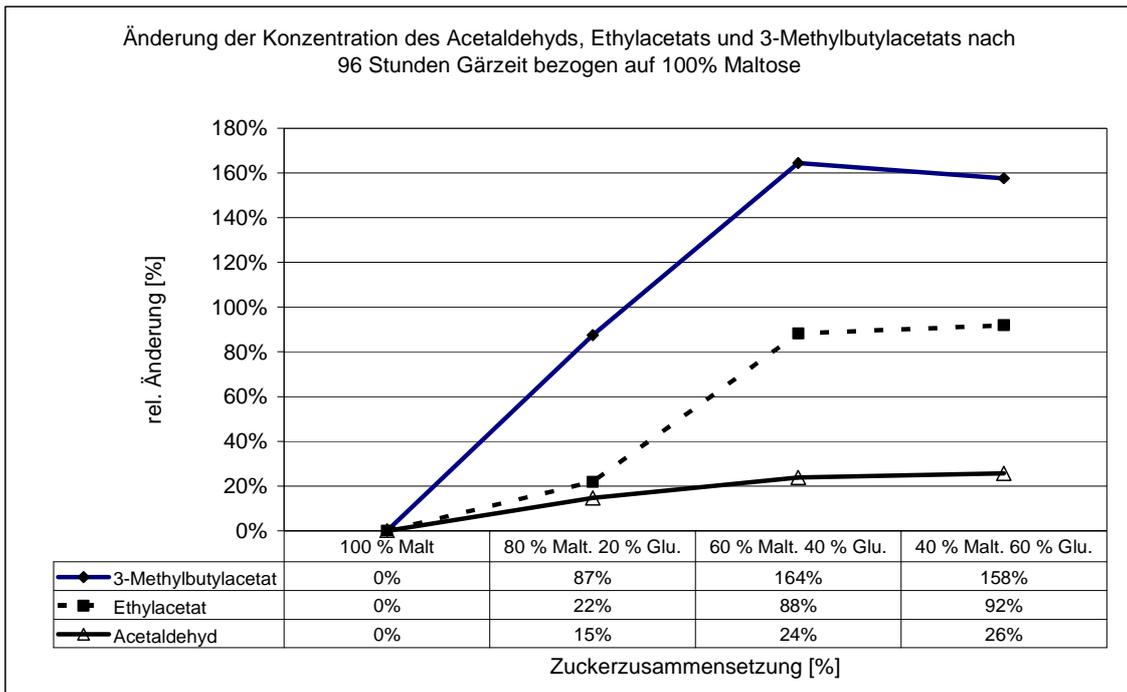


Abb. 3.57 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Stamm 252) bei 12 %-igen Modelllösungen

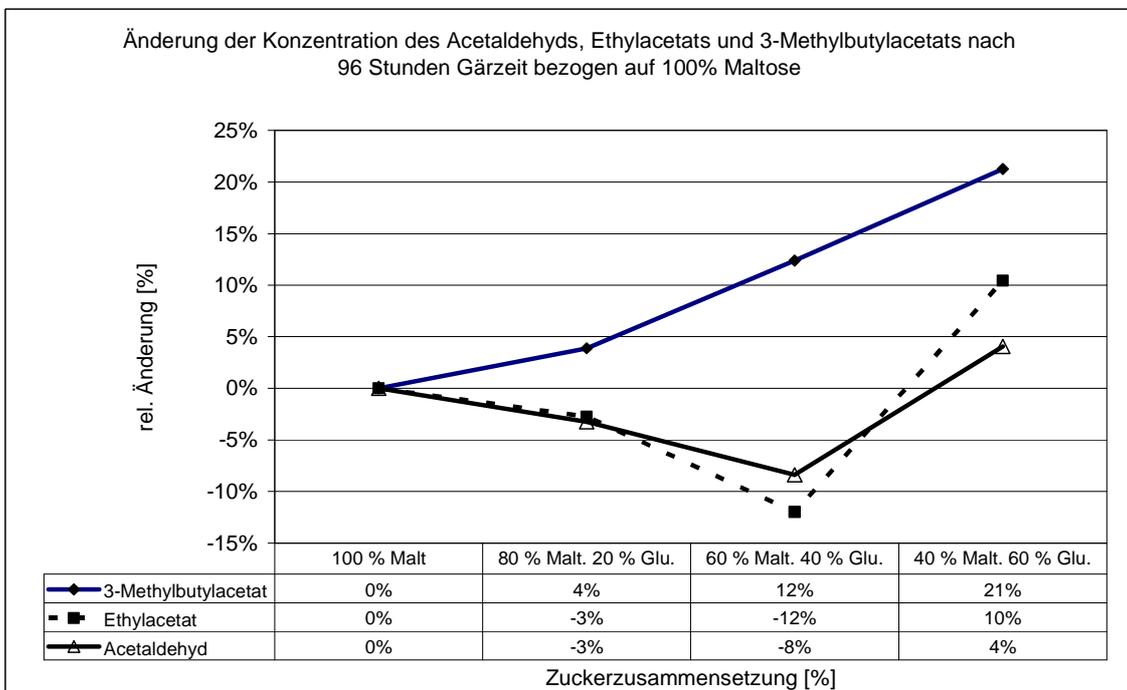


Abb. 3.58 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 1. Führung

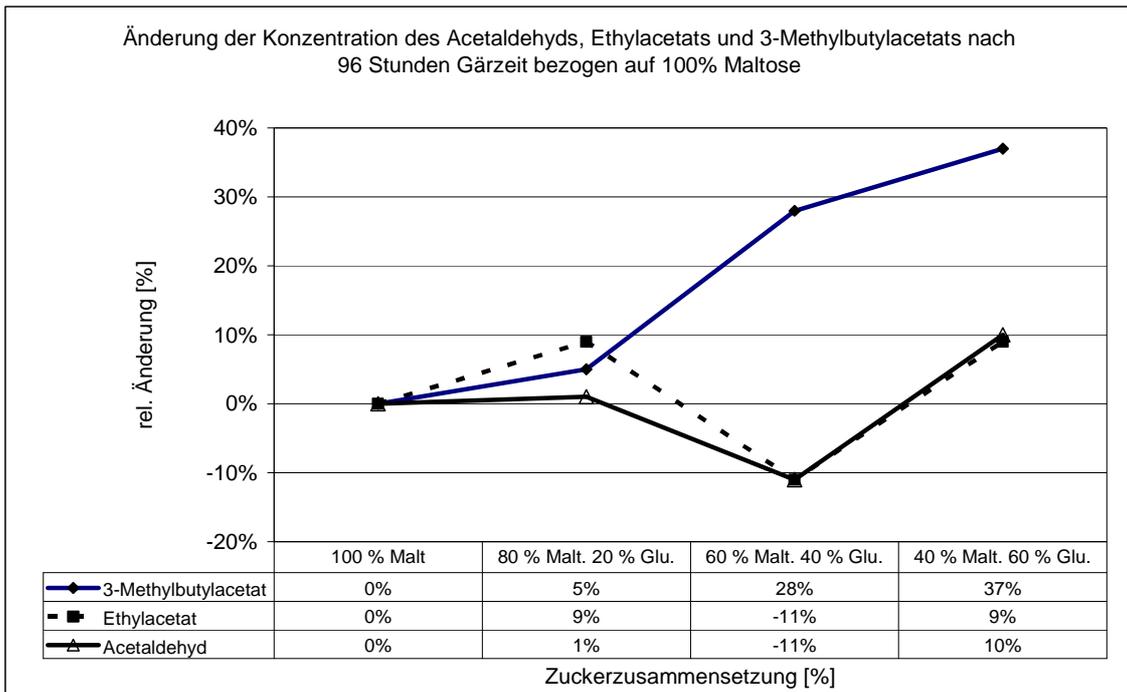


Abb. 3.59 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 2. Führung

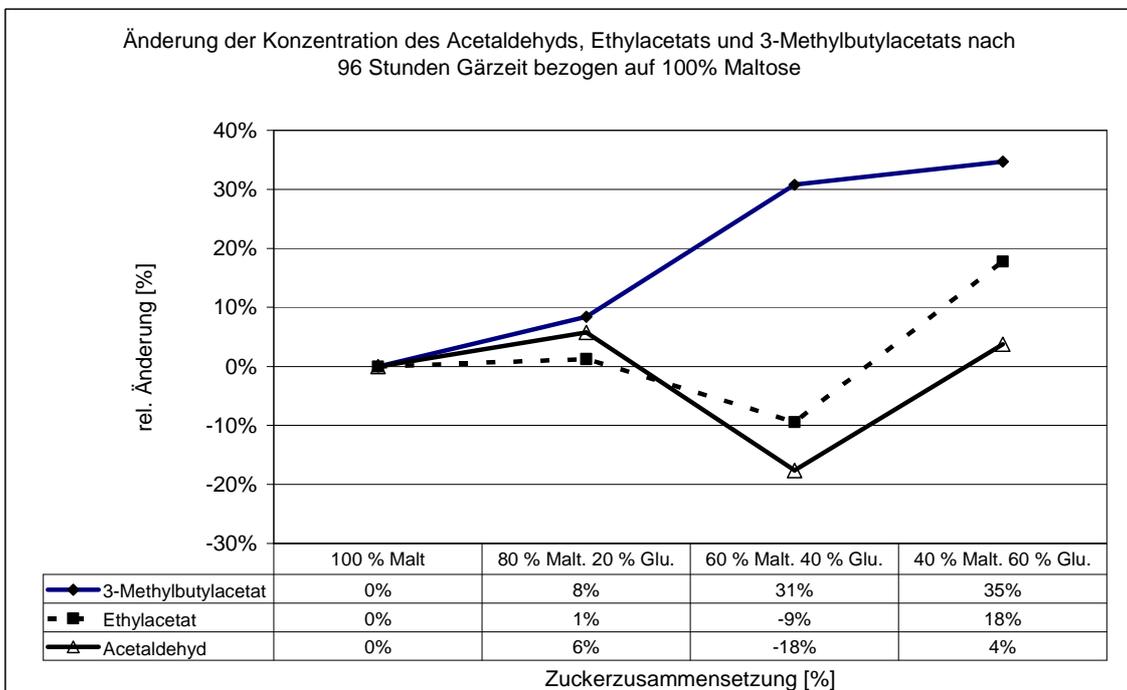


Abb. 3.60 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 3. Führung

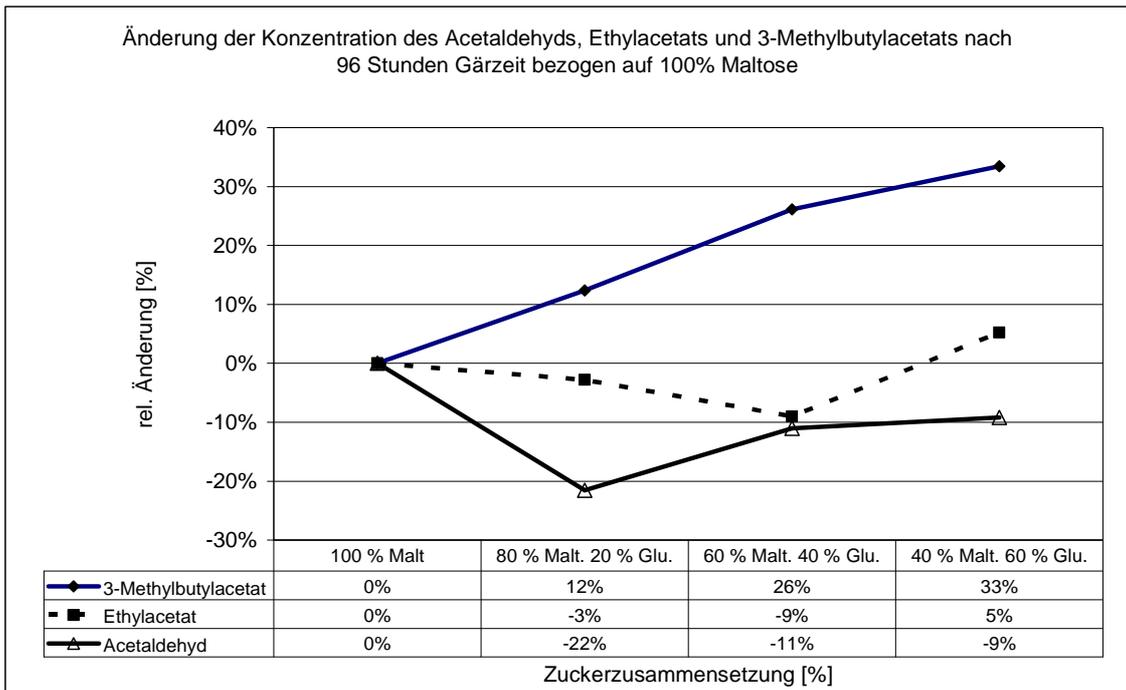


Abb. 3.61 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe A) bei 12 %-igen Modelllösungen, 4. Führung

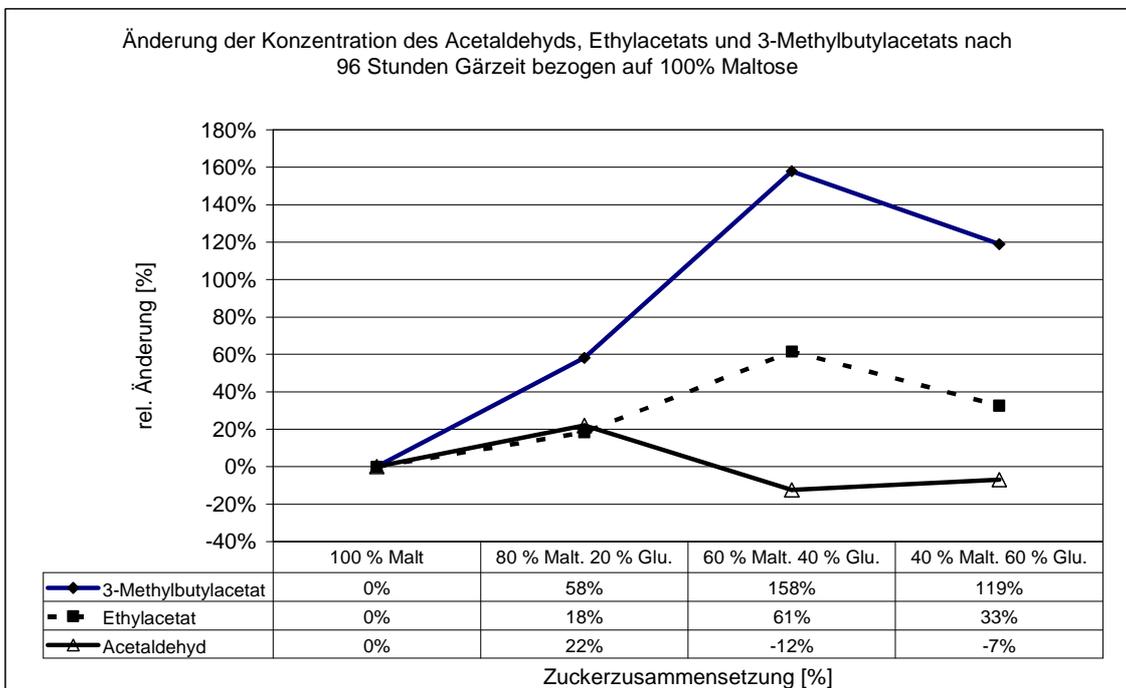


Abb. 3.62 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 1. Führung

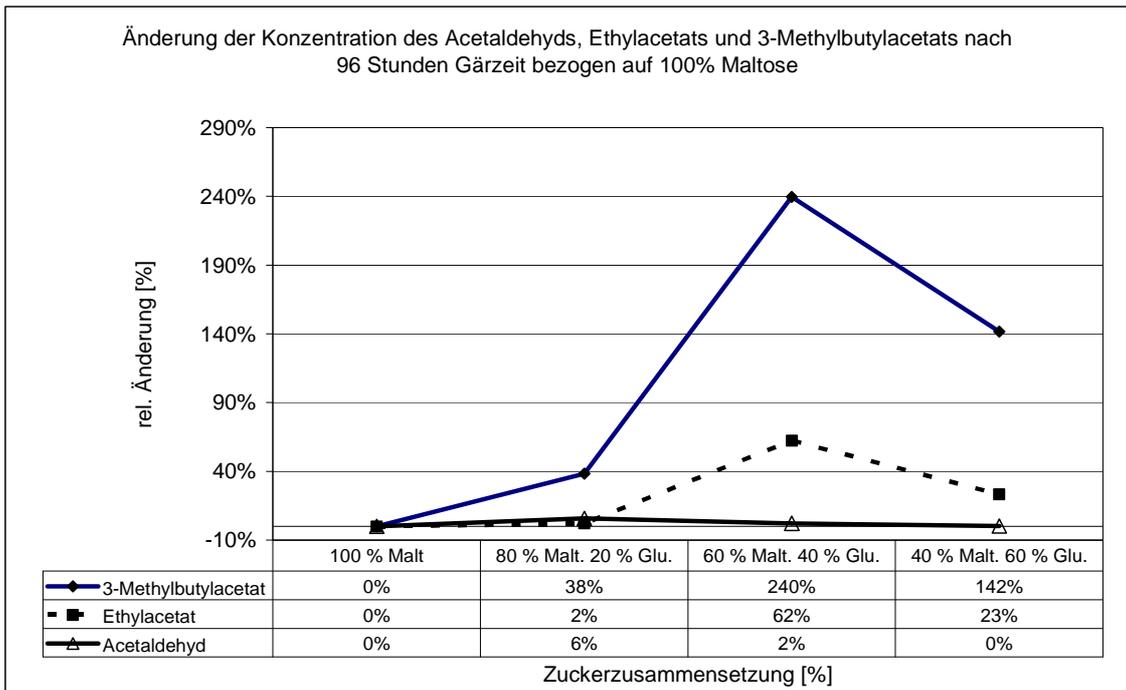


Abb. 3.63 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 2. Führung

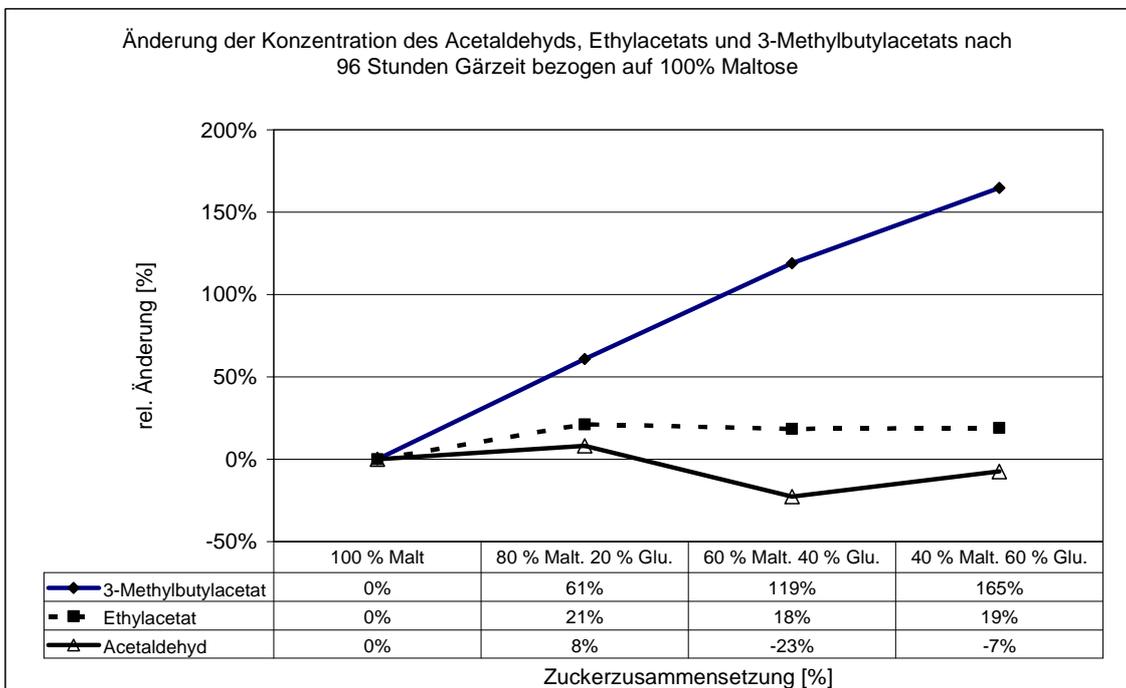


Abb. 3.64 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 3. Führung

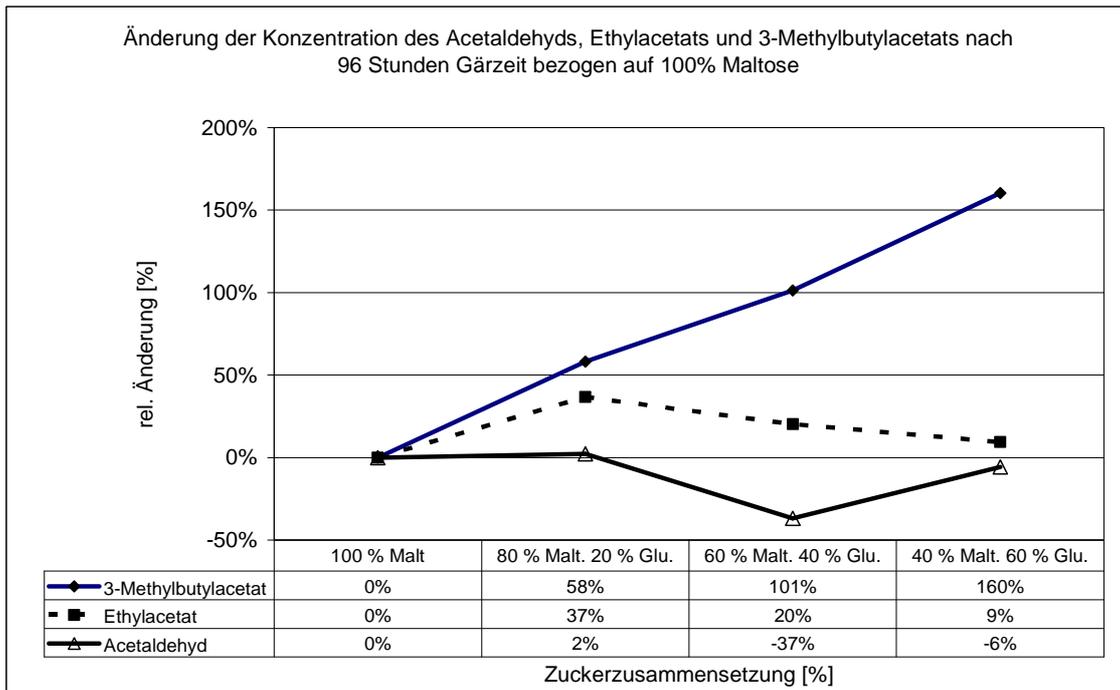


Abb. 3.65 Bildung von Gärungsnebenprodukten in Abhängigkeit von der Glucose-/Maltosezusammensetzung bezogen auf 100% Maltose (Hefe B) bei 12 %-igen Modelllösungen, 4. Führung

Es fällt auf, dass Brauereihefe B ein sehr ähnliches Bild wie Hefestamm 68 ergibt. Hefestamm A, angeblich ebenfalls Stamm 68, weicht stark von der Erwartung ab. Ob es sich hierbei um eine Adaption der Hefe an betriebsspezifische Milieubedingungen oder Einschleppung einer Fremdehefe handelt, ist ungeklärt.

Alle untersuchten Hefen zeigen also ein gleichartiges Verhalten, die 3-Methylbutylkonzentration nimmt mit steigender Glucosekonzentration zu. Ethylacetat hingegen nimmt nur im geringeren Maße zu, oder wird in Abhängigkeit vom Hefestamm teilweise sogar unterdrückt. Dies ist eine besonders vorteilhafte Eigenschaft der Variation der Zuckerzusammensetzung, da hohe Ethylacetatkonzentrationen den typisch fruchtig-bananigen Eindruck des 3-Methylbutylacetats unterdrücken können (siehe 3.1).

Im Vergleich zu den Gärungen in den High-Gravity Modelllösungen ist die relative Steigerung des 3-Methylbutylacetats sogar noch höher, die Absolutwerte an den Maxima liegen bei den 12-prozentigen Modelllösungen ebenfalls höher (siehe

Tabelle T120- T124 im Tabellenanhang). Dennoch kann eine Erhöhung des Glucosegehaltes nicht immer technologisch relevante Änderungen erbringen, wie aus den Abbildungen 3.58– 3.61 (1.-4. Führung der Brauereihefe A) hervorgeht. Eine mögliche Erklärung ist das bereits hohe Grundpotential der Esterbildung dieser Hefe, eine Steigerung des 3-Methylbutylacetats fällt dementsprechend schwächer aus.

Versuche zur Simulation eines ZKGs im Bioreaktor

In einem 30 l Bioreaktor wurde durch Rühren (30 U/min) und einen Kohlendioxidüberdruck von 0,8 bar versucht, die Konvektion und den hohen Kohlendioxidpartialdruck in einem zylindrokonischen Gärtank zu simulieren. Es wurden Würzen mit 10 % Stammwürze verwendet, die wiederum mit Maltose und Glucose versetzt wurden. Am 2. Gärtag, linear extrapoliert auf $E_S = 4 \%$, betrug der 3-Methylbutylacetatgehalt bei einem Zusatz von 40 g Maltose pro Liter ~790 µg/l, bei einem Zusatz von 30 g Glucose pro Liter und 10 g Maltose pro Liter ~1350 µg/l (siehe Abb. 10). Bei einem Zusatz von 40 g/l Glucose wurde ein Isoamylacetatgehalt von 820 µg/l gemessen. Parallel dazu erfolgten Versuche in klassischen Gärgefäßen: Es zeigt sich, dass durch die Erhöhung des Glucoseanteils auch im Bioreaktor trotz hohem Kohlendioxidpartialdruckes und Konvektion erhöhte Estergehalte erreicht werden können.

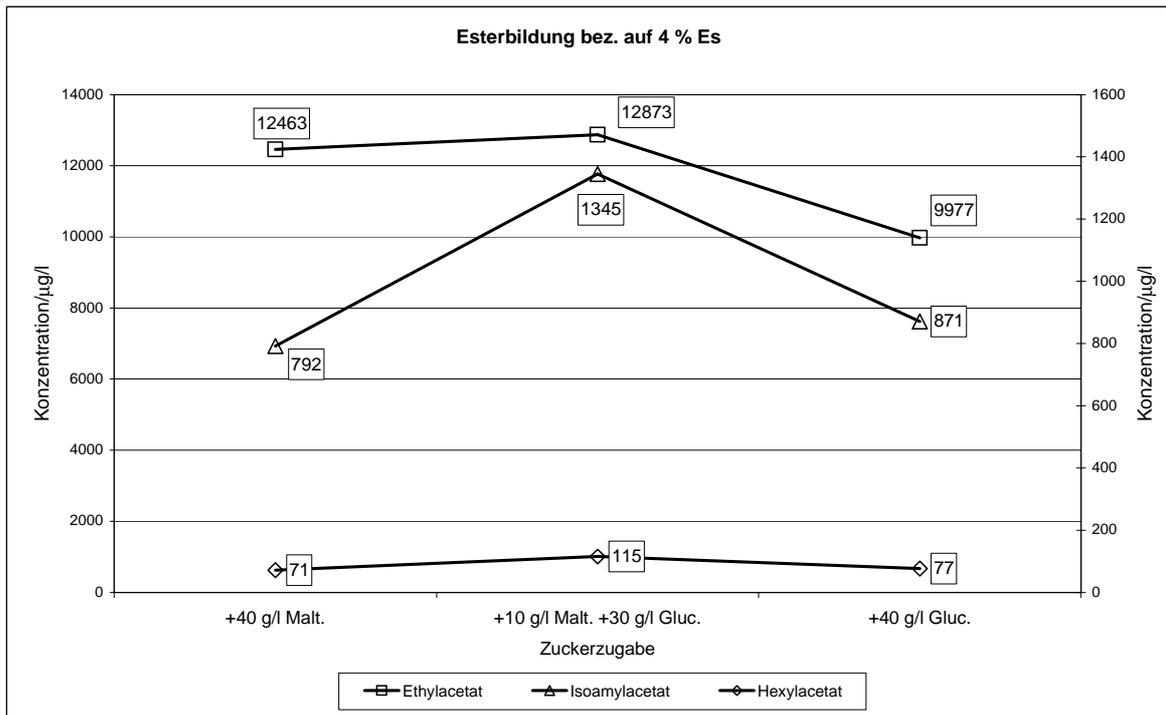


Abb. 3.66: Gärungsnebenprodukte bei $E_S = 4\%$ (Bioreaktor)

[Anmerkung: bei einem Zusatz von 40 g Maltose ergeben sich in etwa folgende Konzentrationen in der Würze: Maltose 100 g/l, Glucose 6 g/l; bei Zusatz von 30 g/L Glucose und 10 g/l Maltose ergeben sich in etwa folgende Konzentrationen in der Würze: Maltose 70 g/l, Glucose 36 g/l.]

Weitere Versuche im Bioreaktor deuten darauf hin, dass die Kombination aus dem Faktor „Konvektion“ und dem Faktor „Druck“ eine stärkere Unterdrückung hervorruft als eine Druckbeaufschlagung allein, Konvektion hingegen scheint der Esterbildung sogar zuträglich zu sein. Hierzu wurden Würzen, wie zuvor, mit Maltose und Glucose versetzt und zum einen nur unter ständigem Rühren (Konvektion) ohne Druckbeaufschlagung oder mit Druckbeaufschlagung ohne Rühren vergoren. Die 3-Methylbutylacetatgehalte des Versuches mit Druckbeaufschlagung ohne Rühren lagen um den Faktor 2 niedriger als die Versuche mit Rühren und ohne Druckbeaufschlagung. Die Versuche mit simulierter Konvektion (Rühren, ohne Druckbeaufschlagung) zeichneten sich durch eine sehr hohe Zellvermehrung aus (110 Mio. Zellen/ml in Schwebelagerung) und erreichten höhere Esterwerte als Vergleichsgärungen in klassischen Gärgefäßen.

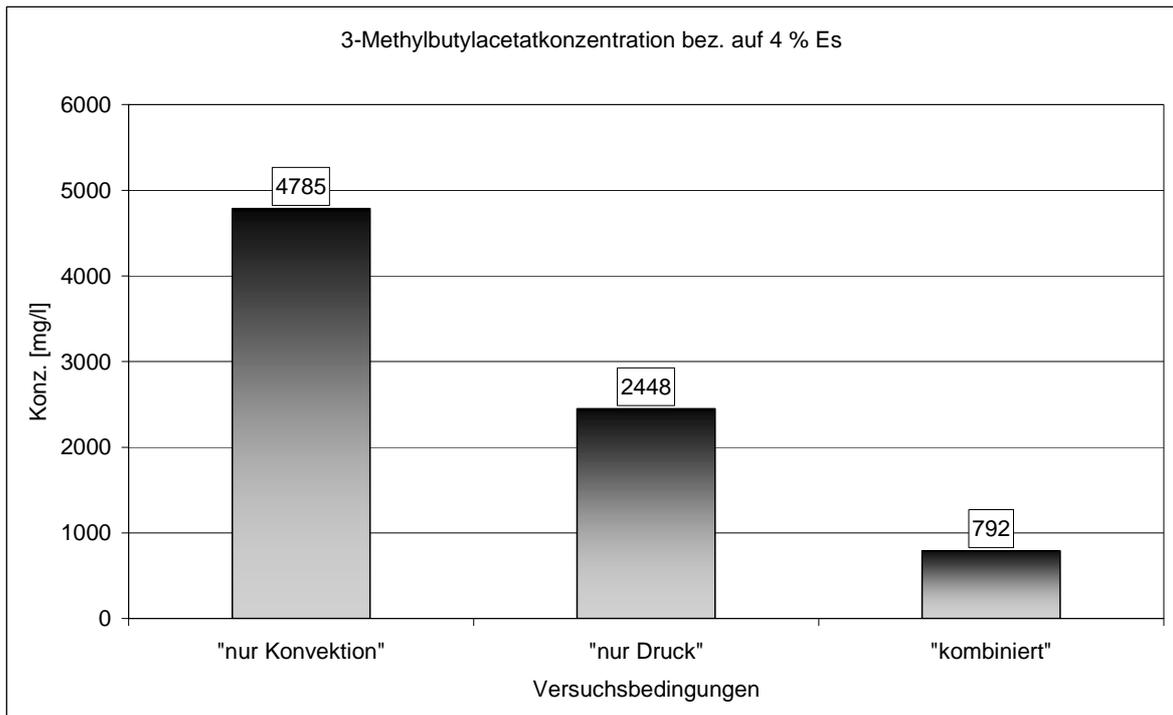


Abb. 3.67: Konzentrationen verschiedener Gärungsnebenprodukte bei $E_S = 4\%$

Diese Versuche sind jedoch lediglich Einzelversuche, ihre Aussage ist daher nicht gesichert.

Erklärungsansatz zur gesteigerten Esterbildung

Wie Eingangs erwähnt, führt Glucosemangel zur Expression der Acetyl-Alkoholtransferasen. Durch Erhöhung der Glucosekonzentration wird der Zeitpunkt des Eintretens eines Glucosemangels – der sogenannte Diauxische Punkt – verschoben. Bei gleicher oder bei beschleunigter Zellvermehrung auf Glucosebasis erfahren also mehr Hefen diese Stresssituation, ein Mehr an Acetyl-Alkoholtransferasen könnte daher gebildet werden (siehe Abbildung 3.68). Zellen, die nach Umstellung auf Maltosevergärung gebildet werden, erfahren diese Stresssituation nicht. Die Esterbildung auf reiner Maltosebasis ist, wie dargestellt, minimal.

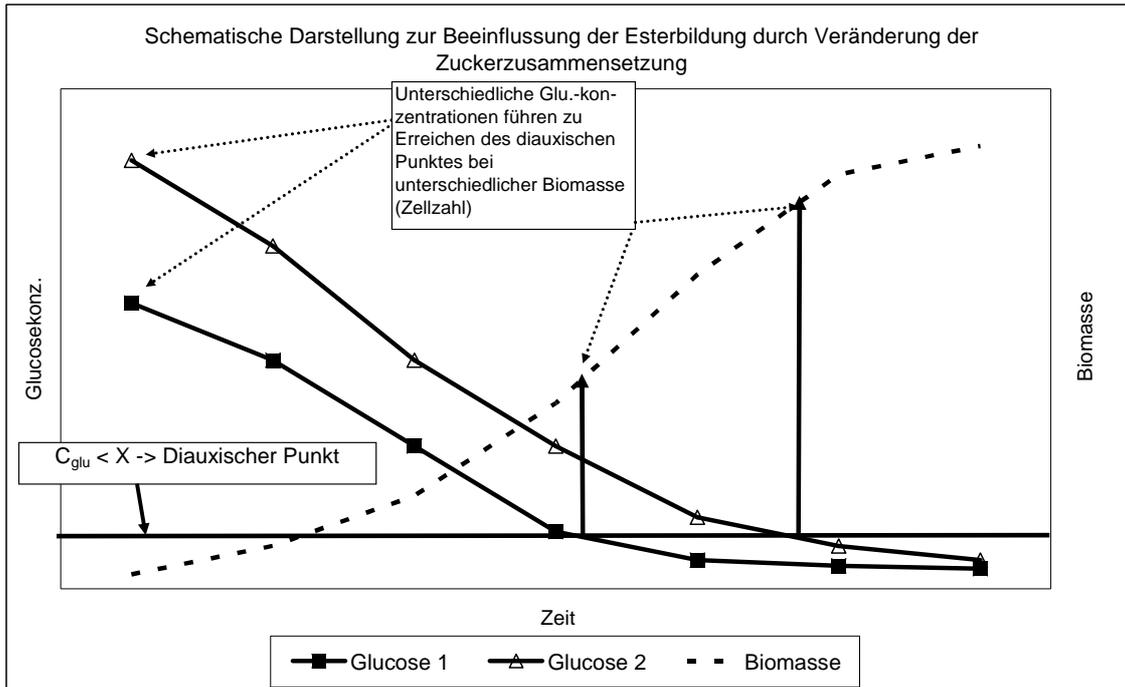


Abb. 3.68: Schematische Darstellung zur Verschiebung des Diauxischen Punktes durch Veränderung der Glucosekonzentration

3.4.3 Diskussion der Ergebnisse zur Beeinflussung der Aromastoffbildung durch unterschiedliche Zuckerszusammensetzungen der Würze während der Gärung

Eine Veränderung der Zuckerszusammensetzung zugunsten der Glucose kann also auch bei obergärigen Hefen die Esterbildung beeinflussen. Besonders erwähnenswert ist die als sehr positiv zu wertende größere Steigerung des 3-Methylbutylacetats gegenüber dem Ethylacetat. Abhängig von Hefestamm, Führung und Stammwürze wurde sogar eine Verringerung dieses Off-Flavours gemessen.

Negative Effekte konnten nicht beobachtet werden. Sowohl die höheren Alkohole als auch die vicinalen Diketone blieben durch eine Veränderung des

Zuckerspektrums weitgehend unberührt, die Gärgeschwindigkeit blieb gleich oder war bei höheren Glucosekonzentrationen tendenziell beschleunigt.

Die relativen Steigerungen der Ester durch die Glucose stehen in Abhängigkeit zu dem Grundpotential der Esterbildung. Die hierbei untersuchten Parameter sind Hefestamm und Stammwürze: Bei High-Gravity Würzen wurden grundsätzlich niedrigere Steigerungen der 3-Methylbutylacetatkonzentration gemessen, vermutlich da durch High-Gravity Verfahren die Esterbildung bereits gesteigert ist. Der Hefestamm, der in den Modelllösungen die niedrigsten Steigerungen aufwies, verfügte bereits in den reinen Maltose-Modelllösungen über relativ hohe Werte. In diesem Falle wäre ein Einsatz des im Rahmen dieser Dissertation entwickelten Maltoseverfahrens nicht sinnvoll (siehe 3.3.2).

Die Versuche im Bioreaktor deuten darauf hin, dass die Steigerung der Glucosekonzentration auch in zylindrokonischen Gärtanks industriellen Maßstabs nutzbar sein könnte.

Aus der Summe der Versuche wurde geschlossen, dass die Steigerung der Esterbildung durch die Verschiebung des diauxischen Punktes auf Grund unterschiedlicher Glucosekonzentrationen zurückzuführen sei. Der diauxische Punkt induziert die Bildung der Acetyl-Alkoholtransferasen, durch unterschiedliche Glucosekonzentrationen erfolgt die Induzierung bei unterschiedlichen Zellzahlen.

3.5 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe während der Lagerung

3.5.1 Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Die klassische Nachgärung von Hefeweizenbieren erfolgt in zwei Stufen, einer Warmphase bei 17-20 °C und einer Kaltphase bei etwa 10 °C. Neben der Temperaturführung stellt die Art, in der der Restextrakt zugeführt wird, ein weiteres Unterscheidungsmerkmal dar. Zum einen kann dieser durch vorzeitiges Abbrechen der Hauptgärung als Restextrakt zugeführt werden, zum anderen durch Speisegabe oder Aufkräusen. Als dritter Parameter ist die Wahl des zur Nachgärung eingesetzten Hefestammes zu nennen [Narziß 1995a]. Mit Beendigung der Nachgärung ist die Einstellung des Aromaprofils der Weizenbiere abgeschlossen. Back [1998, 2004] zeigte, dass auch bei der Nachgärung, entsprechend der Hauptgärung, in zylindrokonischen Lagertanks eine Verringerung des Aromaprofils eintritt. Temperatur, Hefestamm, Art und Weise der Zuführung des Restextraktes, aber auch die Behältergeometrie sind also die bestimmenden Charakteristika der Nachgärung. Die hier vorgestellten Ergebnisse, teilweise aus anderen Projekten, wie z.B. zur Alterung der Weißbiere, dienen daher zur Ergänzung und Untermauerung bestehenden Wissens.

3.5.1.1 Material und Versuchsaufbau zur Bildung qualitätsbestimmender Aromastoffe während der Flaschen- und Tankreifung

Versuchsreihe 1

Alle Nachgärungen der ersten Versuchsreihe wurden parallel durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Jungbier- und Hefequalitäten auszuschalten.

Weißbier-Jungbier einer Brauerei mit einem wahren Extrakt von etwa $E_w = 4,5 \%$ (ca. 2 % unter Endvergärungsgrad) wurde mit einem Schichtenfilter filtriert, um ein hefefreies Jungbier zu erhalten. Das filtrierte Jungbier wurde in 10 l-Tanks gefüllt und mit einer definierten Menge an obergäriger Hefe (Stamm 68) versetzt.

Die Hefezellzahl und Temperatur wurde bei den 6 Tanks folgendermaßen variiert:

- Tank 1: Lagerung 1. Woche bei 20 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 5 Mio./ml
- Tank 2: Lagerung 1. Woche bei 20 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 1 Mio./ml
- Tank 3: Lagerung 1. Woche bei 15 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 5 Mio./ml
- Tank 4: Lagerung 1. Woche bei 15 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 1 Mio./ml
- Tank 5: Lagerung 1., 2.+3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 5 Mio./ml
- Tank 6: Lagerung 1., 2.+3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 1 Mio./ml

Zur Simulation zylindrokonischer Lagertanks wurden die Tanks mit 1,2 bar Kohlendioxiddruck beaufschlagt.

Zusätzlich wurden 2 Tests mit in der Flasche nachvergorenen Bieren als Vergleich durchgeführt:

- Flasche 1: Lagerung 1. Woche bei 20 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 5 Mio./ml
- Flasche 2: Lagerung 1. Woche bei 20 °C, 2.+ 3. Woche bei 10 °C, Hefezellzahl 1 Mio./ml

Nach dem Ende der dritten Lagerwoche erfolgte eine Abfüllung der Tankbiere in Flaschen.

Versuchsreihe 2

Für die zweite Versuchsreihe wurden ebenfalls alle Nachgärungen parallel durchgeführt. In der zweiten Versuchsreihe sollte im Unterschied zur 1. Versuchsreihe der Einfluss der Speisegabe im Vergleich herausgearbeitet werden. Hierzu wurde nahezu endvergorenes Weißbier-Jungbier nach Aufspeisung auf $E_w = 5\%$ filtriert. Die weitere Vorgehensweise war identisch mit der der Versuchsreihe 1.

Im Folgenden wird die Versuchsreihe ohne Speisegabe des Öfteren als „Reihe 1“, die Versuchsreihe mit Speisegabe als „Reihe 2“ bezeichnet. Weitere Ergebnisse zu dieser Versuchsreihe finden sich in Tabelle T127- T137 des Tabellenanhangs.

Ergänzend zu diesen Versuchen konnten noch Ergebnisse aus anderen Versuchsreihen (siehe 3.6.2) für dieses Thema verwendet werden. Versuchsaufbau und verwendetes Material sind im zugehörigen Kapitel beschrieben.

3.5.1.2 Ergebnisse zur Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Vergärungsgrad

Wie zu erwarten war, erzielten die Biere mit gleicher Hefezellzahl bei einer höheren Lagertemperatur auch einen höheren Vergärungsgrad und damit natürlich auch höhere Alkohol- und niedrigere Restextraktgehalte. Dieses war bei beiden Versuchsreihen der Fall.

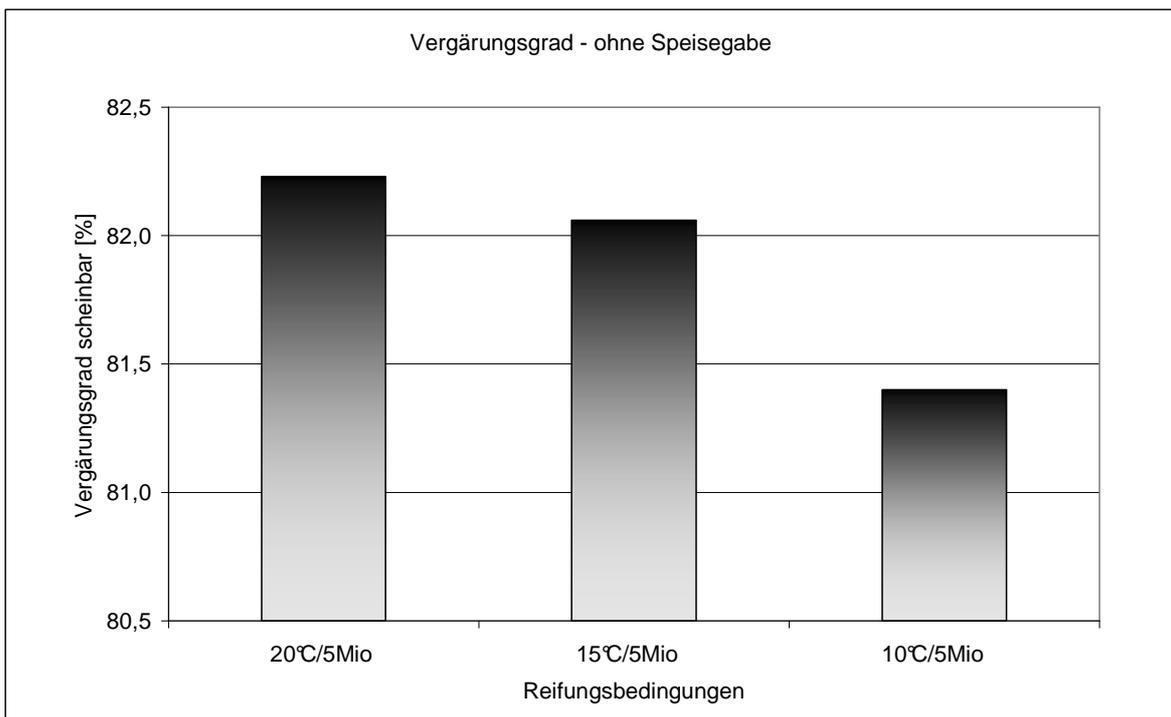


Abb. 3.69: Scheinbarer Vergärungsgrad von Bieren der Versuchsreihe ohne Speisegabe mit unterschiedlichen Lagertemperaturen am Ende der Lagerung

Des Weiteren erzielten die Biere mit geringer Hefezellzahl bei gleicher Lagertemperatur einen geringeren Vergärungsgrad als die Biere mit höherer Hefezellzahl.

Beim Vergleich der beiden Versuchsreihen ist festzustellen, dass die Biere mit Speisegabe bei ansonsten gleichen Bedingungen einen höheren Vergärungsgrad erreichten. Das beruht auf einer höheren Intensität der Nachgärung durch die Speisegabe. Da für die beiden Versuchsreihen jeweils Jungbier aus verschiedenen Chargen verwendet wurde, kann dies ebenfalls einen Einfluss auf den Vergärungsgrad haben.

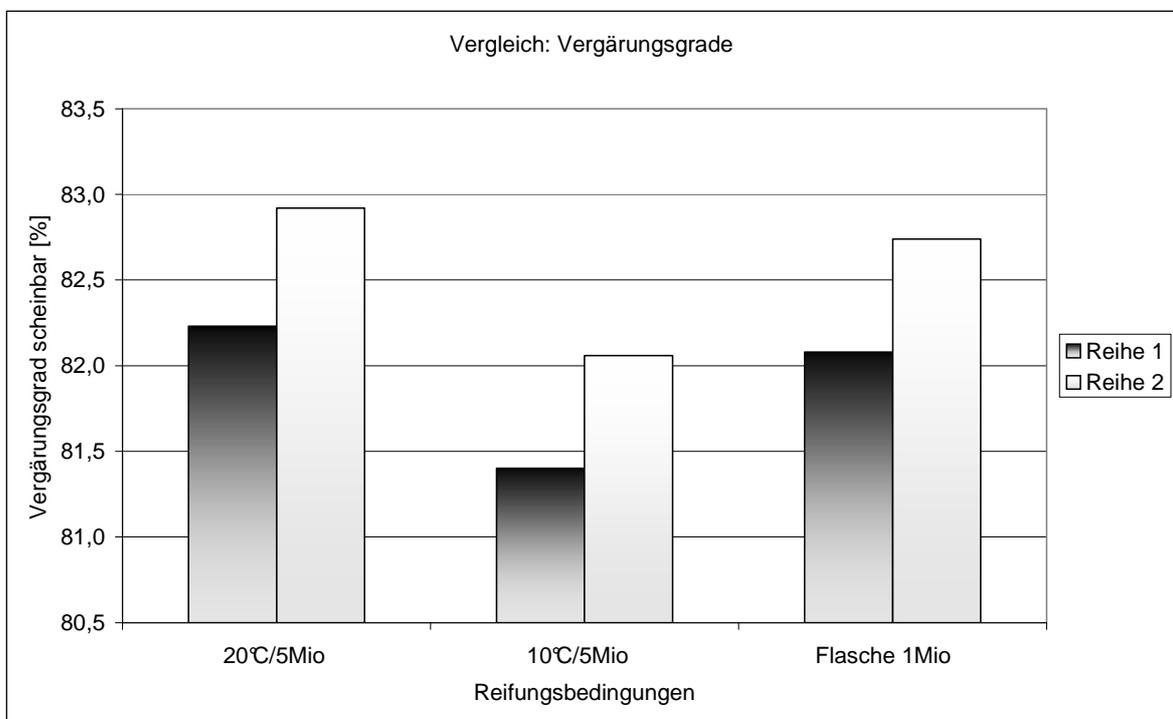


Abb. 3.70: Scheinbarer Vergärungsgrad von Bieren beider Versuchsreihen im Vergleich

Vicinale Diketone

Diacetyl

Bei dem für die Versuchsreihe ohne Speisegabe verwendeten Jungbier war der Diacetylabbau bereits weit fortgeschritten, der Wert lag am Anfang der Lagerung bei 0,36 mg/l. Er schritt dann während der Lagerung weiter voran und lag zu deren

Ende im Bereich von 0,10 mg/l – 0,15 mg/l. Die Beeinflussung durch die Lagertemperatur und die Hefezellzahl war deutlich zu erkennen. Bei den wärmer gelagerten Bieren bzw. den Bieren mit höherer Hefezellzahl sank der Diacetylgehalt schneller ab und lag zu Ende der Lagerung auf einem niedrigeren Niveau.

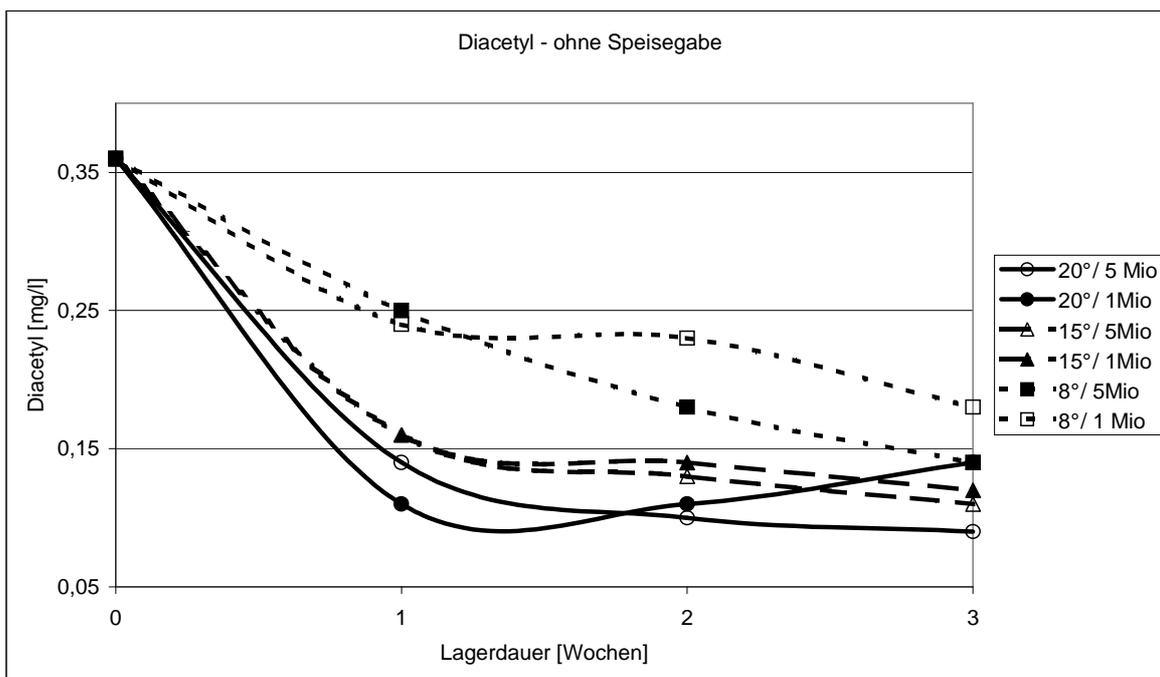


Abb. 3.71: Verlauf des Diacetylabbau während der Lagerung bei den Bieren der Versuchsreihe ohne Speisegabe

Bei der anderen Versuchsreihe dagegen lag der Diacetylgehalt wenige Stunden nach der Speisegabe bei 0,95 mg/l. Durch die Speisegabe erfuhr das Jungbier einen Diacetylanstieg, der durch eine erneute Hefevermehrung durch Speisegabe zu erklären ist. Während der Lagerung sank der Gehalt schnell ab, er lag am Ende der Lagerzeit bei Werten zwischen 0,11 mg/l und 0,27 mg/l. Die Einflussnahme durch Lagertemperatur und Hefezellzahl war hier wiederum zu erkennen und verlief entsprechend Versuchsreihe 1.

Die Biere ohne Speisegabe wiesen nach der Lagerung alle einen um etwa 0,03 mg/l geringeren Diacetylgehalt auf als die entsprechenden Proben der Versuchsreihe mit Speisegabe.

Zwischen den bei 20 °C in Tanks gereiften Bieren beider Versuchsreihen und den in Flaschen gelagerten Bieren gab es in Hinsicht auf den Diacetylabbau keine bemerkenswerten Unterschiede.

Höhere aliphatische Alkohole

Im Bereich der höheren Alkohole gibt es keine signifikanten Unterschiede bei der Versuchsreihe ohne Speisegabe. Bei Speisegabe konnte ein, wenn auch geringer Unterschied bei der Bildung des 3-Methylbutanols festgestellt werden. Höhere Hefezellzahlen bei höheren Temperaturen führen hierbei zu einer leichten Steigerung (siehe Abbildung 3.72).

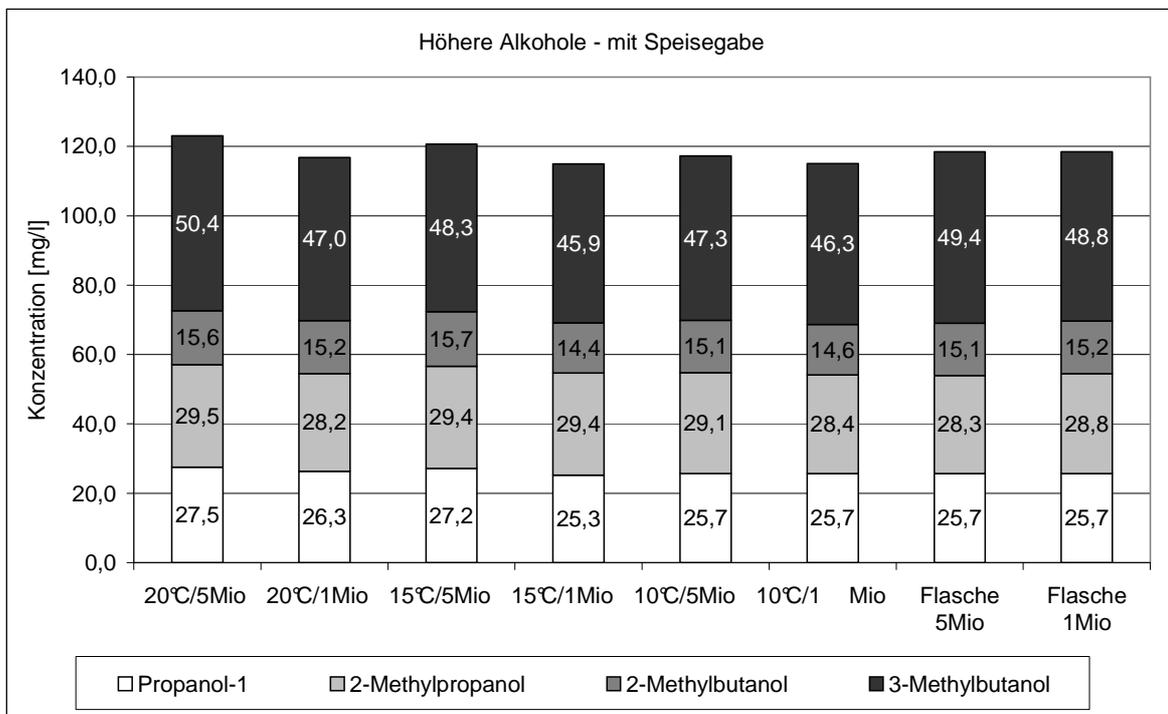


Abb. 3.72: Gesamtgehalt an höheren Alkoholen bei den Bieren der Versuchsreihe mit Speisegabe

Ester

2-Methylbutylacetat

Bei den ohne Speisegabe gelagerten Bieren stieg der Gehalt an 2-Methylbutylacetat von 0,28 mg/l vor der Lagerung auf etwa 0,30 mg/l nach der Lagerung an, dies liegt allerdings im Bereich der analytischen Schwankungsbreite.

Nur bei dem bei 20 °C mit hoher Hefezellzahl gelagerten Bier sank die Konzentration auf 0,25 mg/l ab. Das Gleiche war bei der Versuchsreihe mit Speisegabe der Fall, dort stieg die Konzentration von 0,30 mg/l vor der Lagerung auf etwa 0,35 mg/l nach der Lagerung an. Nur das bei 20 °C mit hoher Hefezellzahl gelagerte Bier wies mit 0,28 mg/l nach der Lagerung wiederum eine geringere Konzentration auf.

Durch eine Speisegabe konnten also höhere Konzentrationen von 2-Methylbutylacetat im Bier erzielt werden. Ein direkter Einfluss durch die Temperatur und die Wahl eines Tanks oder einer Flasche als Lagerbehältnis wurde nicht deutlich.

3-Methylbutylacetat

Die Konzentrationen von 3-Methylbutylacetat stiegen bei fast allen Bieren beider Versuchsreihen im Laufe der Lagerung leicht an. Eine Ausnahme stellten auch hier wieder die bei 20 °C mit hoher Hefezellzahl im Tank gereiften Biere dar, bei ihnen sank der Gehalt leicht. Der Mittelwert der Proben beider Versuchsreihen lag nach der Lagerung bei 3,1 mg/l, hier wurde keine Beeinflussung durch die Speisegabe deutlich.

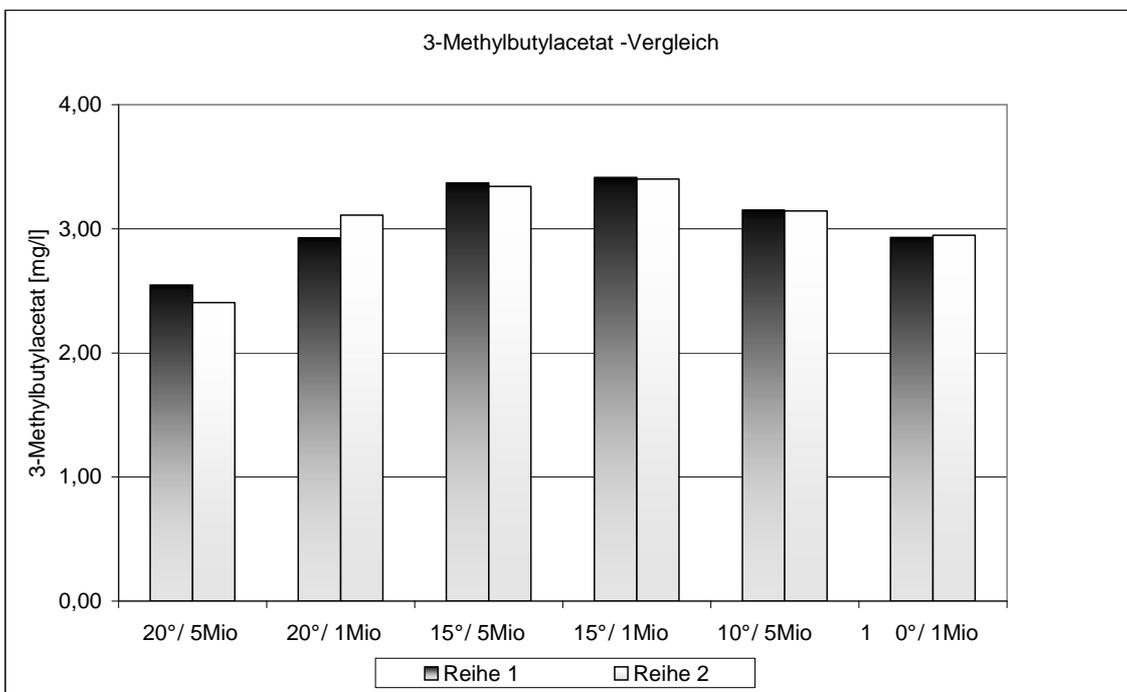


Abb. 3.73: Auswirkungen der Tankreifungsbedingungen auf die 3-Methylbutylkonzentration

Die flaschengelagerten Biere erzielten höhere Gehalte an 3-Methylbutylacetat als die mit gleicher Temperatur und identischer Hefezellzahl tankgelagerten Biere.

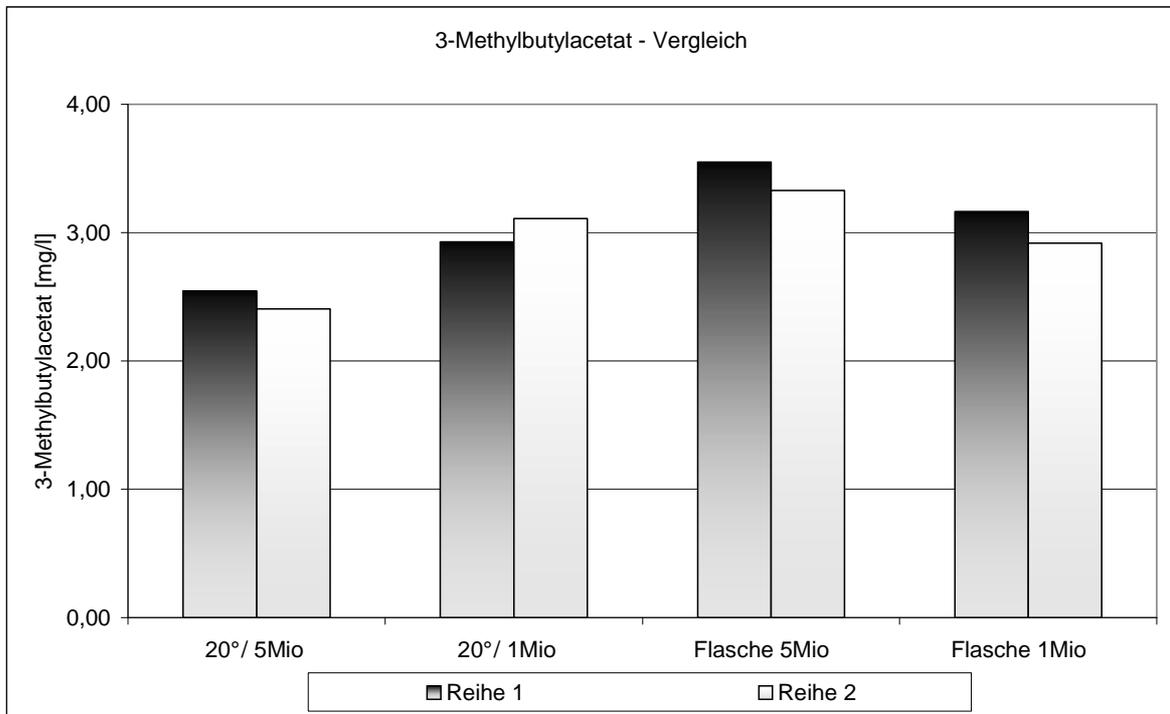


Abb. 3.74: Vergleich der tank- und flaschengereiften Biere

Ethylacetat

Alle tankgelagerten Biere wiesen am Ende der Lagerung Ethylacetatgehalte zwischen 34,4 mg/l und 39,5 mg/l auf. Von ihnen erreichten die bei 15 °C gelagerten Biere beider Versuchsreihen die höchsten Werte (siehe Abbildung 3.75). Scheinbar liegt unter diesen Tankreifungsbedingungen ein Temperaturoptimum für bestimmte Stoffwechselforgänge vor (siehe 1.1.1). Unterschiede durch Hefezellzahlen fielen nicht auf.

Die flaschengelagerten Biere wiesen höhere Konzentrationen an Ethylacetat als die Tankbiere auf. Zusätzlich zeigte sich deutlich die Einflussnahme der Hefezellzahl, die zu einer deutlichen Konzentrationszunahme des Ethylacetats führte (siehe Abbildung 3.76).

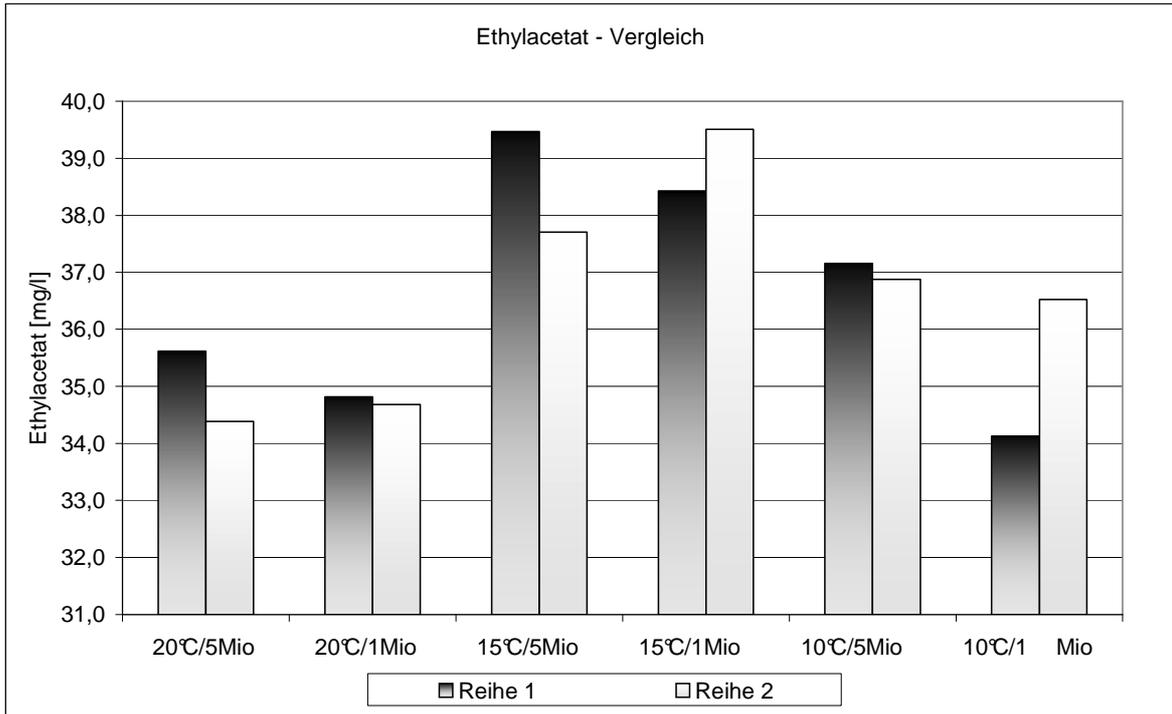


Abb. 3.75: Auswirkungen der Tankreifungsbedingungen auf die Ethylacetatkonzentration

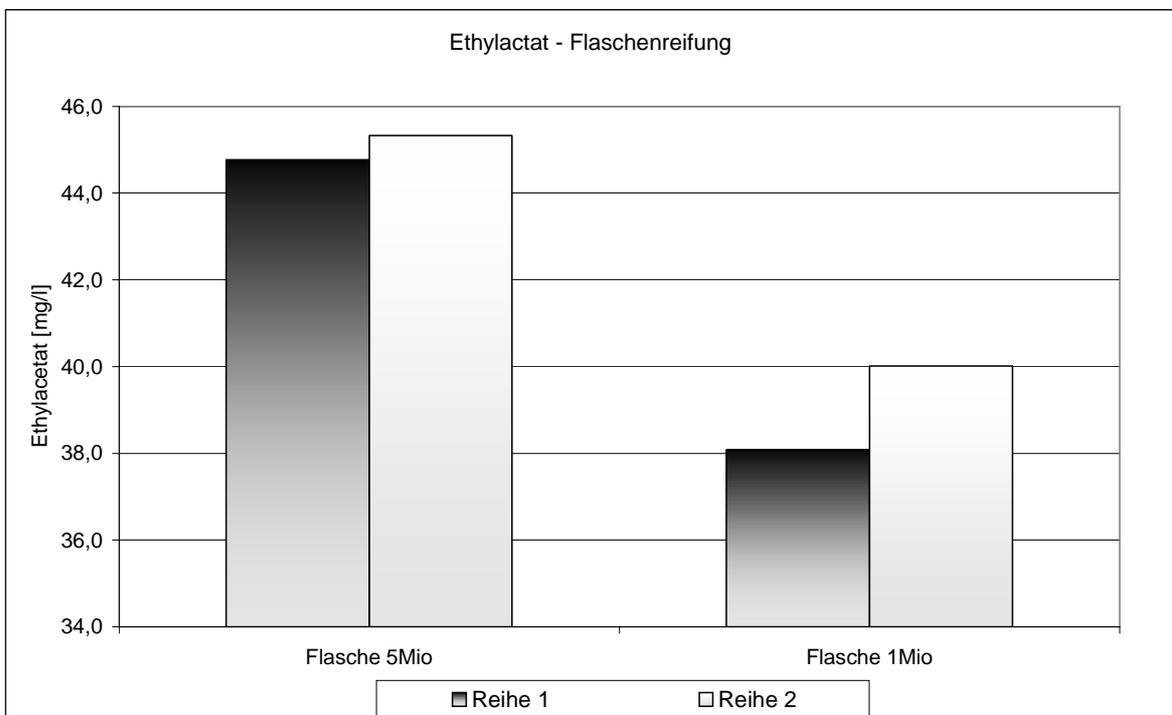


Abb. 3.76: Ethylacetatkonzentrationen bei den flaschengereiften Bieren

Entsprechend dieser Ergebnisse bilden sich natürlich auch unterschiedliche Gesamttermengen aus. Wie auch bei der Einzelbetrachtung der Ester kommt es in der Gesamtbetrachtung im Allgemeinen zu höheren Werten bei erhöhter Hefezellzahl. Flaschengereifte Biere erlangen insgesamt einen höheren Estergehalt, unter den Versuchsbedingungen der Tankreifung bildete sich für den Estergehalt ein Temperaturoptimum bei 15 °C heraus. Ein signifikanter Unterschied zwischen einer Nachreifung mit Restextrakt oder mit Speisengabe ist nicht zu erkennen.

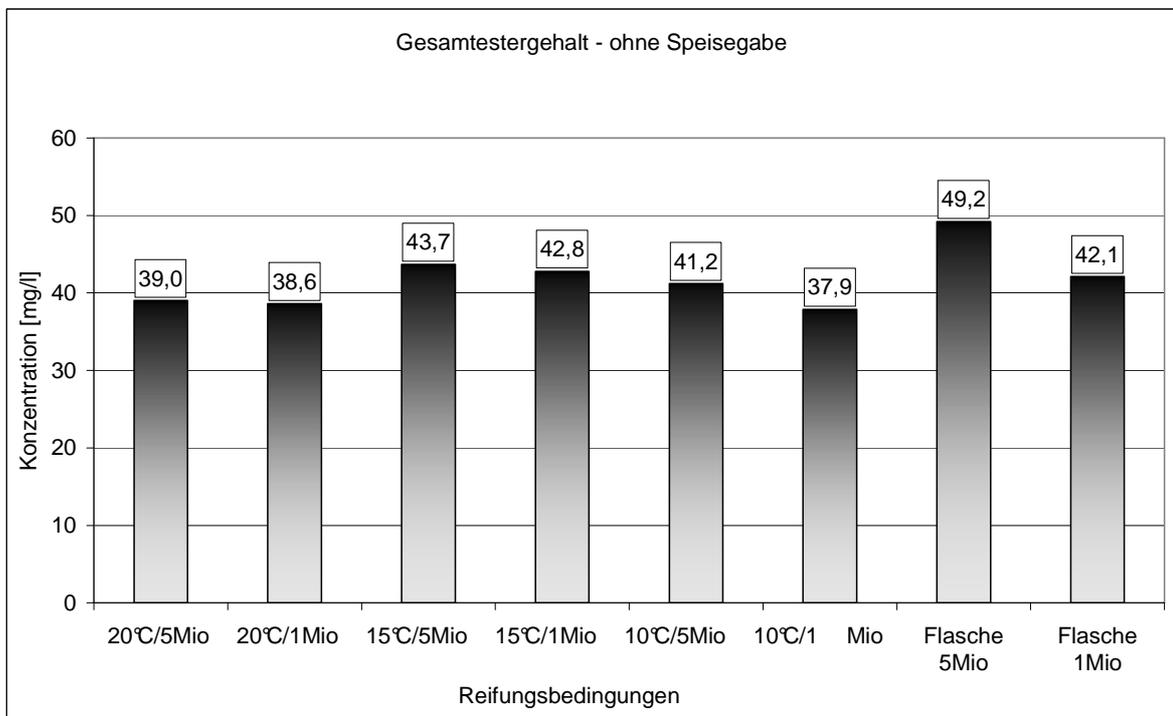


Abb. 3.77: Gesamtterestergehalt bei Versuchsreihe 1 (ohne Speisegabe)

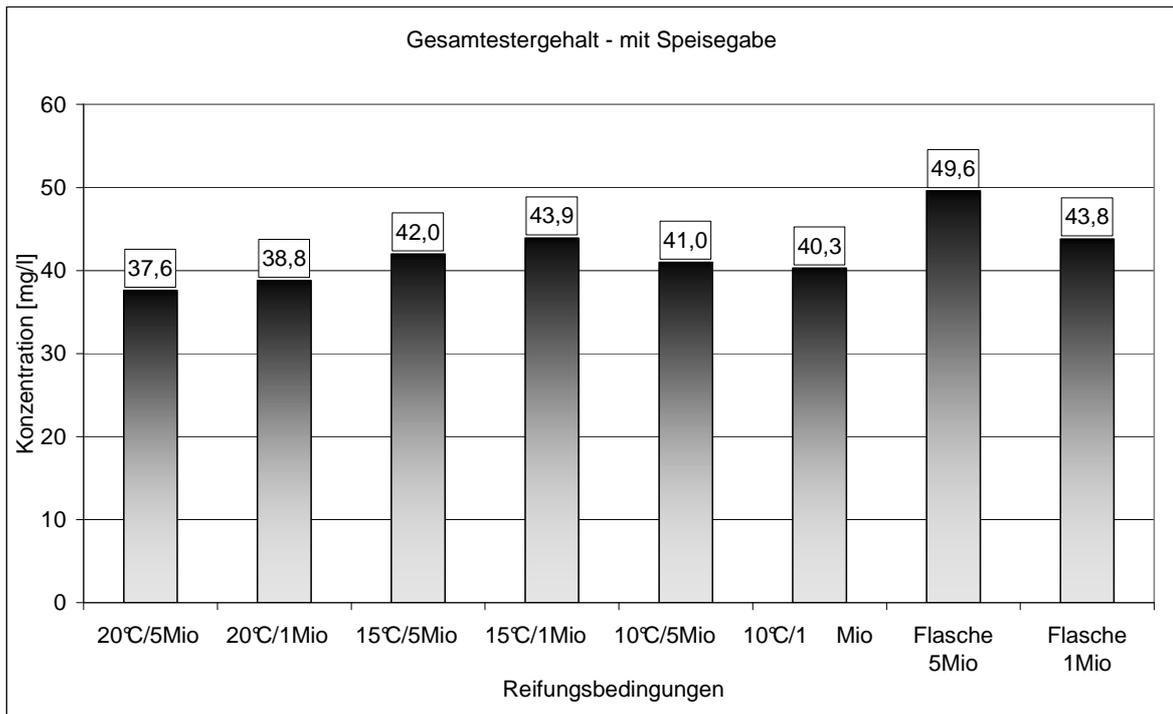


Abb. 3.78: Gesamttergergehalt bei Versuchsreihe 2 (mit Speisegabe)

4-Vinylguaiacol

Der Anfangsgehalt an 4-Vinylguaiacol betrug bei Lagerbeginn bei beiden Versuchsreihen je 1,9 mg/l. Während der Nachreifung steigt dieser Wert auf 2,2 mg/l im Mittel der Versuchsreihe 1 (ohne Speisengabe) und auf 2,34 mg/l im Mittel der Versuchsreihe 2 (mit Speisengabe). Dieser Unterschied könnte auf das Zuführen weiterer freier Ferulasäure durch die Speisengabe zurückzuführen sein, bei einer Nachgärung mit Restextrakt ist bereits ein größerer Teil umsetzbarer Ferulasäure verbraucht.

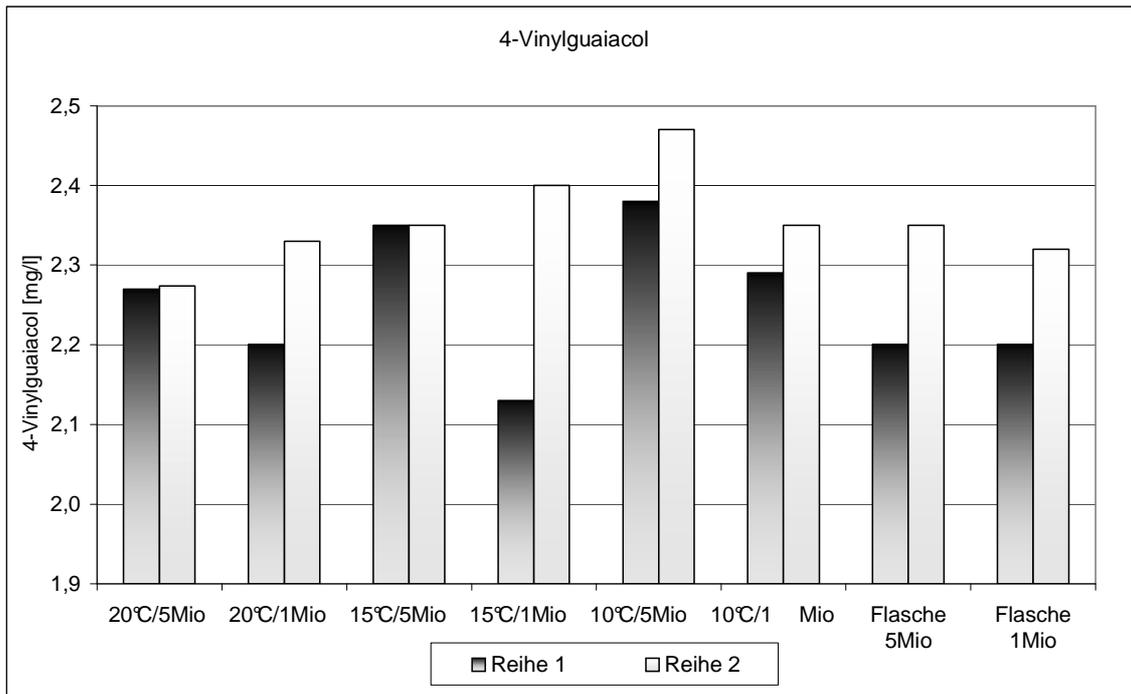


Abb. 3.79: 4-Vinylguaiacolgehalte beider Versuchsreihen

Sensorische Analyse

Bei der DLG-Verkostung erzielten alle Proben zufrieden stellende Bewertungen, es gab dabei zwischen den Bieren nur geringe Unterschiede. Obwohl alle Biere, die bei 10 °C isotherm gereift wurden, erhöhte Diacetylwerte aufwiesen, wurden sie nicht abgewertet. Die flaschengereiften Biere wurden in den Einzelkriterien estrige und phenolische Note stets als qualitativ besser und zumeist auch als intensiver benotet.

Das 10 °C/1 Mio-Bier der Versuchsreihe ohne Speisegabe stand für die Verkostung leider nicht mehr zur Verfügung

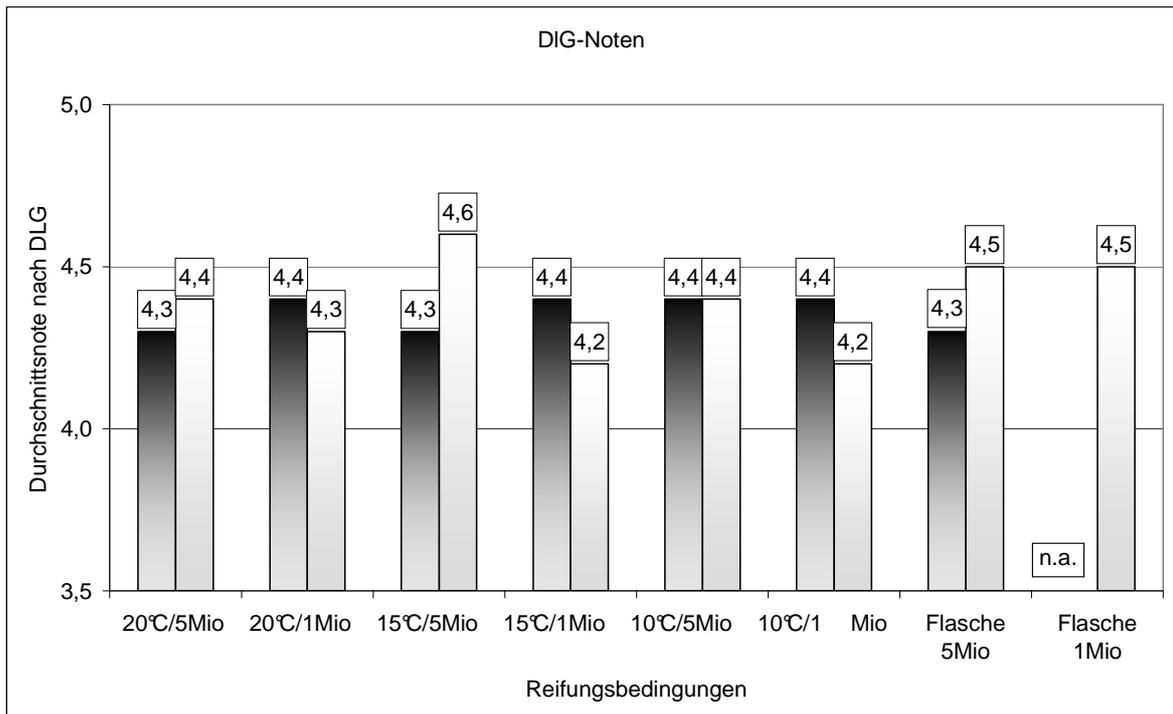


Abb. 3.80 4-Vinylguaiacolgehalte beider Versuchsreihen

Nachgärung und Hefevitalität

In Versuchen zur Alterung von Weißbieren (siehe 3.6.1) wurde unter anderem der Einfluss der Hefevitalität untersucht. Hierzu wurde die Nachgärung von Weißbierjungbieren mit Hefen unterschiedlicher Viabilität (Methylenblau: 2 %, bzw. 48 %) durchgeführt. Tabelle 3.19 beinhaltet die Analysenwerte der Biere nach Beendigung der Nachgärung.

Tab. 3.19 Einfluss der Hefevitalität auf die Nachgärung (Hefestamm 68)

Substanz	nicht geschädigte Hefe [µg/l]	geschädigte Hefe [µg/l]
Acetaldehyd	3220	3101
Propanol-1	14791	14835
Ethylacetat	51861	65779
2-Methylpropanol	14404	14477
3-Methylbutanol	48298	49059
2-Methylbutanol	11261	11405
2-Methylpropylacetat	279	332
Buttersäureethylester	164	193
3-Methylbutylacetat	5873	6347
2-Methylbutylacetat	474	513
Hexansäureethylester	277	268

Ein Unterschied hinsichtlich der Verkostung ergab sich hier aufgrund der sehr hohen Esterwerte (siehe 3.1.3) nicht. In einem weiteren Versuch zeigte sich wiederum die selbe Tendenz, in diesem Falle ergaben sich auch Unterschiede in der Sensorik.

Tab. 3.20 Einfluss der Hefevitalität auf die Nachgärung (Hefestamm 252)

	nicht geschädigte Hefe	geschädigte Hefe
Substanz	[µg/l]	[µg/l]
Acetaldehyd	6193	6017
Propanol-1	15030	16186
Ethylacetat	38520	46319
2-Methylpropanol	24211	21919
3-Methylbutanol	3906	4561
2-Methylbutanol	12366	11369
2-Methylpropylacetat	274	351
Buttersäureethylester	108	148
3-Methylbutylacetat	3906	4561
2-Methylbutylacetat	248	304
Hexansäureethylester	197	210

Die Biere wurden in der DLG-Note ähnlich bewertet. In der estrigen Note ergab sich ein Unterschied von 0,5 Notenpunkten hinsichtlich der Intensität, die Qualitätsunterschiede waren minimal.

Miedaner [1980] berichtete in seiner Habilitationsschrift von einer Zunahme der Esterbildung in den ersten Führungen, die künstlich hervorgerufene Schädigung der Hefe führte in diesen Versuchen zu ähnlichen Resultaten.

Auch wenn weniger vitale Hefen in diesem Falle zu einer Erhöhung der Esterbildung bei der Haupt- und Nachgärung führten, so ist dies auf Grund der negativen Einflüsse auf die Hefealterung nicht zu empfehlen (siehe 3.6.2). Des Weiteren waren diese Versuche nicht auf die Untersuchung der Esterbildung gerichtet, diese Tendenz sollte daher nicht überbewertet werden.

3.5.1.3 Diskussion der Ergebnisse zur Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Es ist bekannt, dass Flaschenreifung bei Weißbieren im Allgemeinen zu aromatischeren Bieren führt. Dennoch deuten die Ergebnisse dieser Versuche darauf hin, dass durch geeignete Maßnahmen die aromareduzierenden Effekte der Tankreifung ausgeglichen werden können.

Eine Nachreifung basierend auf Restextrakt oder auf Speisegabe führt nur zu geringen Unterschieden. Auffallendster Unterschied ist die starke Zunahme des Diacetyls zu Beginn der Nachreifung bei Speisegabe. Diese Zunahme konnte bis zum Ende der Nachreifung nur teilweise ausgeglichen werden, die Biere mit Speisegabe verfügen daher über tendenziell höhere Diacetylwerte. Es finden sich dort auch höhere Konzentrationen an Acetaldehyd. Des Weiteren ergibt die Speisegabe eine Erhöhung der 4-Vinylguaiacolkonzentration, vermutlich wird durch Speisegabe zusätzlich umsetzbare, freie Ferulasäure eingebracht, während bei der Nachgärung basierend auf Restextrakt die Umsetzung der Ferulasäure bereits weitgehend abgeschlossen ist.

Eine höhere Hefezellzahl bei der Nachreifung führt zu höherem Vergärungsgrad, rascherem Diacetylabbau und stärkerer Zunahme der Ester. Ein Einfluss auf phenolische Substanzen ist nicht zu erkennen. Höhere Zellzahlen sind daher empfehlenswert, wenn ein estrigeres Bier gewünscht wird, allerdings sollte die Hefezellzahl vor Abfüllung wieder reduziert werden. Höhere Hefezellzahlen können bei Weißbieren sowohl die Flockenbildung begünstigen und sich negativ auf die Trübungsstabilität auswirken, als auch die Alterungsstabilität negativ beeinflussen.

Bei den Nachreifungstemperaturen ist zu differenzieren: zwar führen warme Nachreifungstemperaturen, wie erhöhte Hefezellzahlen, zu höheren Vergärungsgraden und rascherem Diacetylabbau, jedoch wurde innerhalb dieser Versuchsreihe ein Temperaturoptimum der Esterbildung in der Tankreifung bei 15 °C festgestellt. Die qualitätsbestimmenden Ester erreichen bei dieser Temperatur ähnliche Werte wie bei den zum Vergleich bei 20 °C gereiften Flaschenbiere. Ein weiterer Vergleich mit Flaschengärung bei 15 °C Reifungstemperatur wäre wünschenswert gewesen, allerdings konnte in ähnlichen

Versuchen mit Hefestamm 252 eine stete Zunahme der Esterbildung mit erhöhter Reifungstemperatur bei Flaschengärung festgestellt werden (siehe 3.5.2). Unterschiede in der Esterbildung in Abhängigkeit von Hefestamm, Behältergeometrie und Temperaturführung sind in der Literatur bereits bekannt (siehe 1.1.1). Die Aussage, dass mit erhöhter Temperatur auch erhöhte Estergehalte eintreten, ist eine Vereinfachung, die nicht immer zutrifft. Brauereien, die estrigere Biere bei der Tankreifung wünschen, sollten daher das Optimum der Esterbildung unter den Bedingungen ihrer Behältergeometrie und ihres Hefestammes durch Versuche ermitteln.

3.5.2 Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung

Die Durchführung einer Flaschengärung stellt einen sehr großen Arbeitsaufwand, und somit Kostenaufwand dar. Logistik und Platzbedarf sind ebenfalls ausschlaggebende Faktoren für erhöhte Produktionskosten. Typische Arbeitsschritte sind:

Verbringen der abgefüllten Biere in eine „Box“ zur Einstellung der gewünschten Temperatur der Warmphase,

Umstellen in die temperierte Warmlagerungshalle,

Verbringen der warmgelagerten Biere in eine „Box“ zur Einstellung der gewünschten Temperatur der Kaltphase,

Umstellen in die temperierte Kaltlagerungshalle,

Auslieferung.

Im Gegensatz dazu sind tankgereifte Biere direkt nach Abfüllung auslieferungsfähig. Eine Vereinfachung des Flaschengärungsverfahrens bei Beibehaltung der qualitativen Vorteile wäre daher wünschenswert. Als Möglichkeit wurden isotherme Reifungen in Betracht gezogen.

3.5.2.1 Material und Versuchsaufbau zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung

Abgefüllte Weißbier-Jungbiere einer Charge (Hefestamm 252) einer Brauerei wurden parallel nachgereift, die Temperaturführung erfolgte isotherm bei 10 °C, 16 °C, 18 °C und 20 °C. Die Temperatur wurde mit Hilfe von Wasserbädern gehalten. Dauer der Nachreifungsphase war 3 Wochen. Aus der Abfüllung heraus wurde bei den Bieren eine Temperatur von 24 °C gemessen, die Einstellung auf die Solltemperatur erfolgte innerhalb weniger Stunden. Als Vergleich diente Bier der selben Charge, das nach klassischen Verfahren, d. h. 1 Woche bei 20 °C und 2 Wochen bei 10 °C, gereift wurde.

3.5.2.2 Ergebnisse zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung

Die Dreieckstests (siehe Tabelle 3.21 und 3.22) zeigen, jeweils im Vergleich zu dem klassisch gereiften Bier, dass das isotherm bei 20 °C gereifte Biere weder im frischen noch im forcierten Zustand von dem üblichen Verfahren zu unterscheiden ist. Diese Aussage ist im Falle des frischen Bieres mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$ und im Falle des forcierten Bieres mit $\alpha = 0,01$ statistisch signifikant. Das isotherm bei 10 °C gereifte Bier ist hingegen sowohl im frischen als auch im gealterten Zustand statistisch signifikant unterscheidbar (frisch: $\alpha = 0,05$, forciert: $\alpha = 0,01$).

Auffallend ist, dass die bei 16 °C, 18 °C und 20 °C isotherm gereiften Biere im forcierten Zustand tendenziell schlechter unterscheidbar waren, allerdings ist bei den Versuchen mit 16 °C und 18 °C isothermer Reifungstemperatur keine statistische Aussage zu treffen.

Eine Auswertung der Bevorzugung bei den richtig antwortenden Prüfern ergibt, außer bei dem bei 10 °C gereiften Bier keine eindeutige Tendenz. Dieses Bier wich also nicht nur deutlich von dem klassisch gereiften Bier ab, es wurde auch von den richtig antwortenden Prüfern abgelehnt.

Tab. 3.21: Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung im frischen Zustand

Frisch	Dreieckstest		Bevorzugung	
	Richtig	Falsch	klassisch	Isotherm
10 °Isotherm	7	3	6	1
16 °Isotherm	6	4	2	4
18 °Isotherm	5	5	2	3
20 °Isotherm	3	7	1	2

Tab. 3.22: Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach 4 Tagen forcierter Alterung

Forciert (4 Tage)	Dreieckstest		Bevorzugung	
	Richtig	Falsch	klassisch	Isotherm
10 °Isotherm	8	2	7	1
16 °Isotherm	4	6	2	2
18 °Isotherm	4	6	3	1
20 °Isotherm	2	8	1	1

Der Dreieckstest wurde nach 5 monatiger „natürlicher“ Lagerung (Raumtemperatur, Lichteinfluss) wiederum durchgeführt. Auf Grund der Ergebnisse der forcierter Verkostung wurde der Versuch mit 20 °C isothermer Reifung in größerer Gruppe zweifach verkostet. Dabei wurde zum einen das isotherme Bier gegen 2 identische Proben des Bieres mit klassischer Reifung (entspricht „AAB“ in Tabelle 3.24), zum anderen das Bier mit klassischer Reifung gegen 2 identische Proben mit isothermer Reifung (entspricht „BAB“ in Tabelle 3.24) verkostet.

Die Ergebnisse des Dreieckstest der forcierter Alterung bestätigten sich in jeder Hinsicht (siehe Tabelle 3.23 und 3.24). Das Bier mit 20 °C isothermer Reifung war in beiden Fällen mit $\alpha = 0,01$ von dem Bier mit klassischer Reifung nicht zu unterscheiden.

Tab. 3.23: Dreieckstest der isotherm gelagerten Biere gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach fünf monatiger Lagerung

Lagerung 5 Monate	Dreieckstest		Bevorzugung	
	Richtig	Falsch	klassisch	Isotherm
10 °Isotherm	4	2	4	0
16 °Isotherm	3	3	1	2
18 °Isotherm	2	3	1	1

Tab. 3.24: Dreieckstest des Bieres mit 20 °C isothermer Reifung gegen ein Bier mit klassischer Reifung nach fünf monatiger Lagerung

Lagerung 5 Monate	AAB		BAB	
	Richtig	Falsch	Richtig	Falsch
20 °Isotherm	4	10	4	10
Lagerung 5 Monate	AAB		BAB	
	klassisch	Isotherm	klassisch	Isotherm
Bevorzugung	2	2	3	1

Die Ergebnisse dieser Verkostungen wurden durch ein externes Panel bestätigt [Seidl 2003].

Analytisch sind diese Ergebnisse ebenfalls zu begründen. Das bei 10 °C gereifte Bier bildete kaum Ester während der Flaschengärung nach, das bei 20 °C gereifte Bier und das klassisch gereifte Bier erreichten ähnliche Werte für den Träger des bananig-fruchtigen Aromas, dem 3-Methylbutylacetat. Die Biere bei 16 °C und 18 °C liegen zwischen den Extrema, eine eindeutige Tendenz zu höheren Estergehalten mit erhöhten Temperaturen ist bei dieser Flaschengärung zu erkennen. In der Bildung höherer Alkohole ist kein nennenswerter Unterschied zu erkennen. Die Diacetylwerte verhalten sich entsprechend der Ergebnisse der Versuchsreihe zur Tank- und Flaschengärung (siehe 3.5.1), auch hier weist das kühl gereifte Bier erhöhte Werte an Diacetyl auf (siehe Tabelle T139).

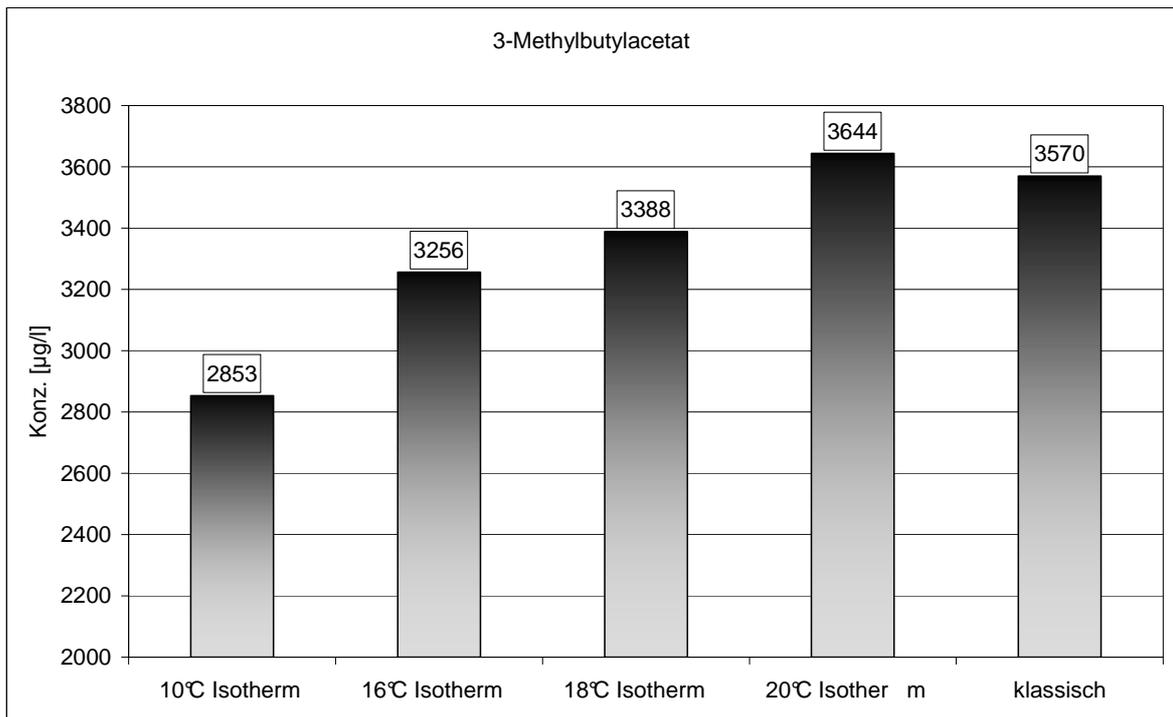


Abb. 3.81: Esterbildung bei isothermer Nachreifung

3.5.2.3 Diskussion der Ergebnisse zur Aromastoffbildung bei isothermer Temperaturführung in der Flaschengärung

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen könnten ein enormes Kosteneinsparungspotential darstellen. Eine Änderung des Aromaprofils der frischen Biere ist trotz dieser Versuchsreihe nicht auszuschließen, doch gerade im Hinblick auf die Geschmacksstabilität scheint die Kaltphase der klassischen Flaschengärung keine Vorteile zu erbringen. Haupteinflussfaktor der Alterung von Weißbieren ist die Alterung der Hefe (siehe 3.6), der Einfluss üblicher Aufbewahrungsbedingungen in den Getränkemarkten muss wohl als dominanter eingeschätzt werden als die möglichen Vorteile eine Kaltreifungsphase. Bei tankgereiften Bieren hingegen kann auf eine Kaltphase keinesfalls verzichtet werden, da sie dort der Gushingprophylaxe und der Trübungsstabilität förderlich ist. Beide Faktoren, die eine Kaltphase bei tankgereiften Bieren notwendig machen, spielen in flaschengereiften Bieren keine Rolle: zum Einen verbleibt das bei einer Kaltphase ausfallende Calciumoxalat in der Flasche und kann somit als

Kristallisationskeim für die spontane Entbindung der Kohlebsäure dienen, zum Anderen ist es bei Weißbieren nicht unüblich, dass der Kunde sich seine Trübung durch Aufschütteln der Hefe selbst einstellt.

3.6 Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Alterung von Weißbieren

Die Alterung von Hefeweißbieren ist primär durch den Abbau aromapositiver Inhaltsstoffe [Neven 1997] und die Ausbildung eines Altheffe-/Autolysegeschmacks gekennzeichnet. Die Ausbildung eines Altheffe-/Autolysegeschmacks ist laut einer Reihenuntersuchung der vorherrschende Geschmacksfehler bei obergärigen Bieren [Gerstenberg 1998]. Dritter Faktor der Alterung von Weißbieren ist die Entstehung typischer Alterungsaromen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob und in wie weit die Alterungsindikatoren nach Eichhorn [1987] und Lustig [1994] für die Analytik von Weißbieren zutreffend sind.

3.6.1 Forcierte Alterung des Weißbieres

3.6.1.1 Material und Versuchsaufbau zur forcierten Alterung des Weißbieres

Aromaextraktverdünnungsanalyse eines Hefeautolysats

Die Aromaextraktverdünnungsanalyse wurde mit einem handelsüblichen Hefeautolysat (Firma Sigma-Aldrich) durchgeführt. Es wurde 1 g des Autolysats in 800 ml 5 - prozentiger ethanolischer Lösung aufgelöst, die Aromaextraktverdünnungsanalyse erfolgte gemäß 2.3.1.

Versuche zur forcierten Alterung von Weißbieren

Reihe 1 und 2

Für Reihe 1 und 2 wurde handelsübliches Kristallweizenjungbier einer Charge verwendet, das mit einer definierten Menge Hefe (Zellzahl in der Flasche: 1 Mio. Zellen/ml) versetzt wurde. Die Flaschen wurden vor dem Wiederverschließen 30 Sekunden mit Kohlendioxid gespült, um den Sauerstoffeintrag durch die Beimpfung mit der Hefe zu minimieren. Die Biere der Reihe 1 wurden mit obergäriger Reinzuchtheffe mit einem Totanteil von 2 % (Methylenblau-Methode) versetzt. Teile derselben Hefe wurden durch Behandlung mit Mikrowellen gezielt geschädigt und den Bieren der Reihe 2 beigegeben. Nach der Behandlung wurde ein Totanteil von 48 % gemessen. Die Biere beider Reihen wurden nach der Nachgärung einen Tag auf einer Rüttelplatte geschüttelt und 4, 6, 8 respektive 10 Tage bei 40 °C forciert gealtert. Die Verkostungen und Analysen wurden umgehend nach der forcierten Alterung durchgeführt. Als Vergleich diente bei jeder Verkostung ein bei 0 °C, dunkel gelagertes Bier der jeweiligen Versuchsreihe.

Reihe 3 bis 11

Für Reihe 3-11 wurde handelsübliches Weißbier einer Brauerei verwendet. Das Unterscheidungsmerkmal dieser Biere sind die Führungen der Hefe: so wurde in Reihe 3 das Bier mit der 2. Führung einer Hefe hergestellt, während Reihe 11 mittels der 16. Führung der selben Hefe produziert wurde.

Lagerung einer Hefesuspension

Obergärige Reinzuchtheffe einer Charge wurde auf 40 Million Zellen pro ml verdünnt und bei 20 °C und 0 °C gelagert.

3.6.1.2 Aromaextraktverdünnungsanalyse eines Hefeautolysats

Die Beurteilung des Althefegeschmackes durch analytische Werte ist bisher nur schwer möglich.

Die Ergebnisse der Aromaextraktverdünnungsanalyse der aciden Fraktion eines handelsüblichen Hefeautolysats (Sigma-Aldrich) sind in Abb. 1 dargestellt. Die wichtigsten Aromastoffe des Hefeautolysats sind demzufolge vor allem kurzkettige Fettsäuren, wie Isobuttersäure, Buttersäure, Valeriansäure und vor allem 3-Methylbuttersäure. Hexansäure trägt als einzige mittelkettige Fettsäure direkt zum Aromaprofil eines Autolysats bei, allerdings vermutete Clapperton [1978a, 1978b] synergistische Effekte der mittelkettigen Fettsäuren. Weitere Untersuchungen natürlich gealterter Hefesuspensionen bestätigen [Schneeberger o.j.] die Ergebnisse der Untersuchung des Hefeautolysats weitgehend. Die Valeriansäure konnte in natürlichen Hefesuspensionen nicht diesen hohen FD Faktor erreichen.

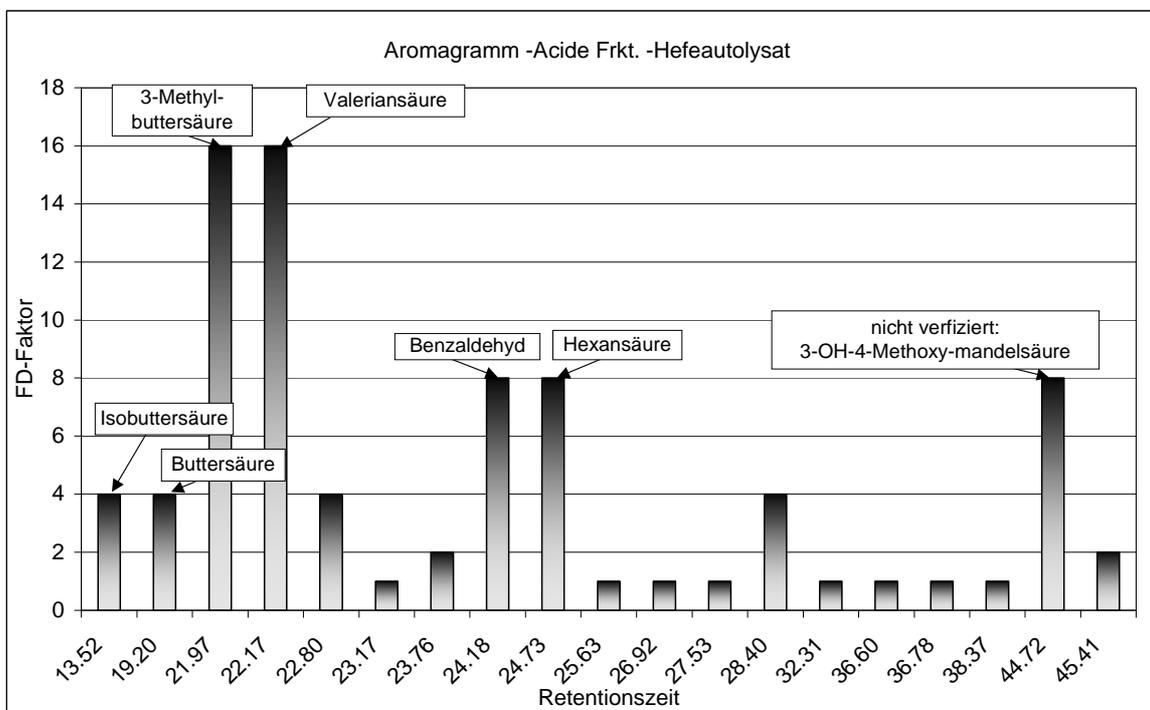


Abb. 3.82 Aromagramm der aciden Fraktion eines Hefeautolysats

Die Verifizierung der Substanzen erfolgte über die Massenspektren, durch Retentionszeitvergleich mit der vermuteten Reinsubstanz und Vergleich der Massenspektren mit der vermuteten Reinsubstanz.

3.6.1.3 Versuche zur forcierten Alterung von Weißbieren

Die Resultate der Aromextraktverdünnungsanalyse veranlassten Untersuchungen zur Eignung der 3-Methylbuttersäure und anderer kurzkettiger Fettsäuren als Indikatoren der Hefealterung in Weißbieren.

Reihe 1 und 2

Die Verkostungen erfolgten gemäß des modifizierten DLG-Verkostungsschemas.

Tab. 3.25: Verkostungsergebnisse der Reihe 1 (nicht geschädigte Hefe)

Warmtage	DLG	Estrige Note		Phenolische Note		Hefige Note	
		Intens.	Qual.	Intens.	Qual.	Intens.	Qual.
0	4,5	2,9	3,5	4,0	3,8	2,8	3,3
4	3,8	2,7	3,2	3,0	3,1	3,5	2,5
6	3,7	2,6	2,7	3,0	2,9	3,6	2,3
8	3,6	2,6	2,7	3,0	2,9	3,6	1,7
10	3,6	2,5	2,8	2,6	2,8	3,8	2,2

Tab. 3.26: Verkostungsergebnisse der Reihe 2 (geschädigte Hefe)

Warmtage	DLG	Estrige Note		Phenolische Note		Hefige Note	
		Intens.	Qual.	Intens.	Qual.	Intens.	Qual.
0/frisch	4,4	3,0	3,5	3,7	3,5	2,2	3,2
4	4,1	2,8	3,1	3,3	3,3	2,6	2,7
6	4,0	2,9	3,1	2,7	2,8	2,9	2,7
8	3,6	2,8	3,0	2,6	2,8	3,0	2,3
10	3,4	2,6	2,8	2,5	2,3	3,5	1,8

[Anm. zu Tab. 3.25 und 3.26: Die Noten ergeben sich aus dem Durchschnitt von 6 Verkostern]

Estrige Note

Der von den Verkostern wahrgenommene Verlust der estrigen Note steht im Einklang mit dem Abbau aromapositiver Ester über die Alterung. Isoamylacetat (3-Methylbutylacetat), der Träger des fruchtig-bananigen Aromas des Weißbieres, nimmt mit einer steigenden Anzahl an Warmtagen ab, die Ergebnisse der Verkostung der Intensität und Qualität der estrigen Note verlaufen ähnlich (siehe Abbildung 3.83). Die selbe Tendenz ist bei Reihe 2 zu beobachten. Bei beiden Reihen wurde eine Zunahme des Ethylacetats festgestellt. Die Zunahme dieses Stoffes kann in einen Zusammenhang mit der Abnahme der Qualität der estrigen Note gebracht werden.

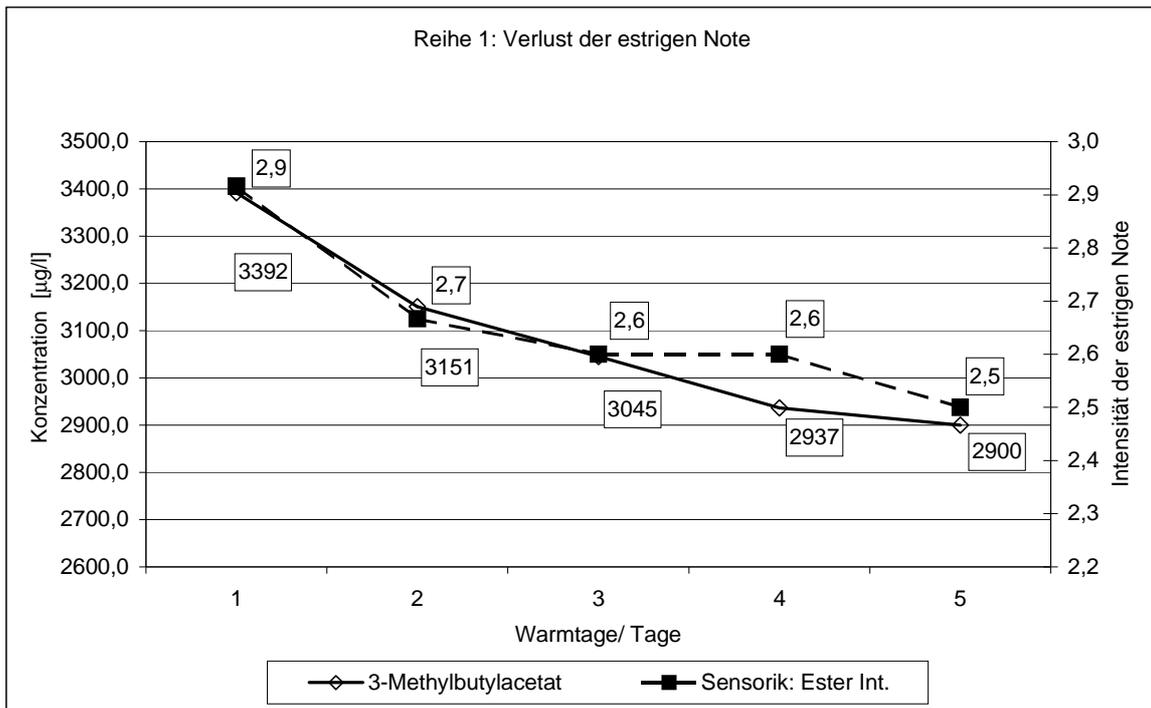


Abb. 3.83: Verlust der estrigen Note

Erwähnenswert ist die Beobachtung, dass in einem Großteil aller Versuche zur Alterung die Ethylacetatkonzentration mit fortschreitender Alterung zunimmt.

Phenolische Note

Auch in der phenolischen Note ist die Alterung des Hefeweißbieres durch den Abbau aromapositiver Komponenten gekennzeichnet. 4-Vinylguaiacol, die Leitsubstanz des phenolischen Aromas, wurde um 1,16 mg/l in Reihe 2 (geschädigte Hefe) reduziert, in Reihe 1 (nicht geschädigte Hefe) gar um 1,80 mg/l. Der Abbau des 4-Vinylguaiacols verläuft bei geschädigter Hefe deutlich langsamer (siehe Abbildung 3.84).

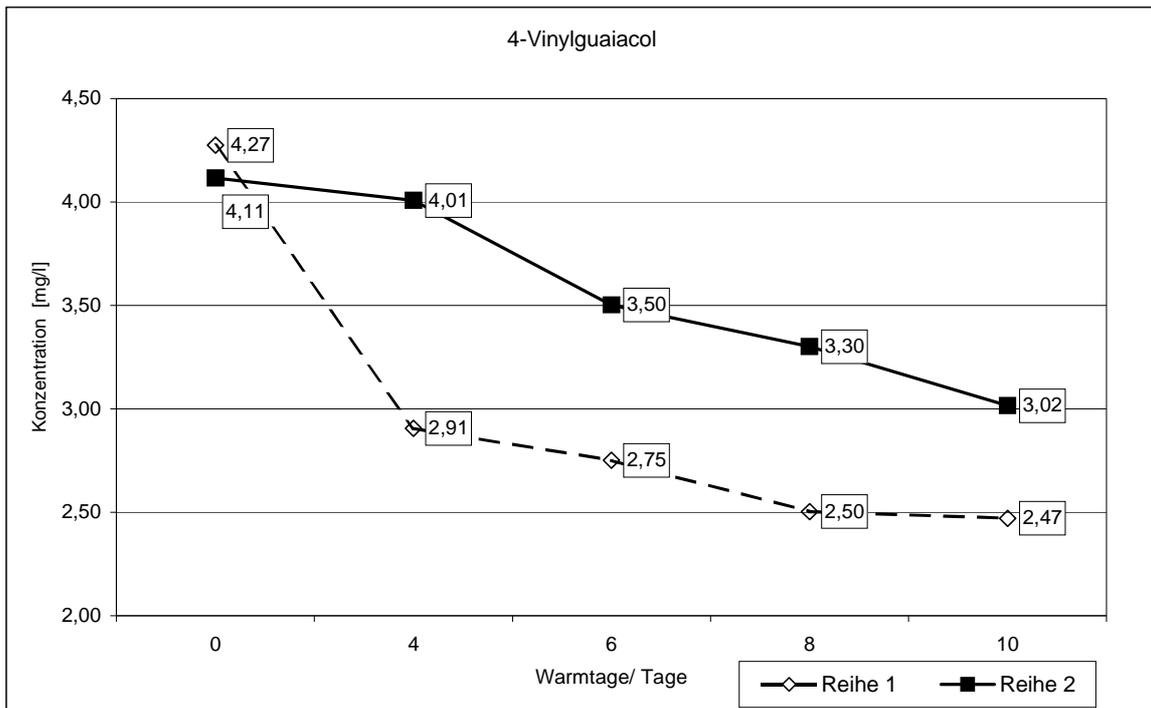


Abb. 3.84: Abbau des 4-Vinylguaiacols während der forcierten Alterung

Hefige Note

Die Zunahme des Althefegeschmackes schlägt sich bei beiden Reihen deutlich in Verkostungsergebnissen nieder, der Konzentrationsverlauf der 3-Methylbuttersäure folgt den sensorischen Analysen (siehe Abbildungen 3.85). Tabelle 3.27 zeigt die Pearson-Korrelationskoeffizienten ($n = 5$) für die Analysenwerte verschiedener mittel- und kurzkettiger Fettsäuren und den zugehörigen sensorischen Werten der Reihe 2. Sowohl die Hexansäure, die Octansäure, die Nonansäure und die Decansäure sind nicht in Einklang mit der Verkostung zu bringen: diese Säuren nehmen, mit Ausnahme der Decansäure, mit zunehmender Forcierdauer ab und sind daher scheinbar nicht als Indikatoren der Hefeautolyse bei der Alterung von Hefeweißbieren geeignet. Die 3-Methylbuttersäure scheint aufgrund der Ergebnisse der Reihe 2 (geschädigte Hefe) sehr gut geeignet zu sein.

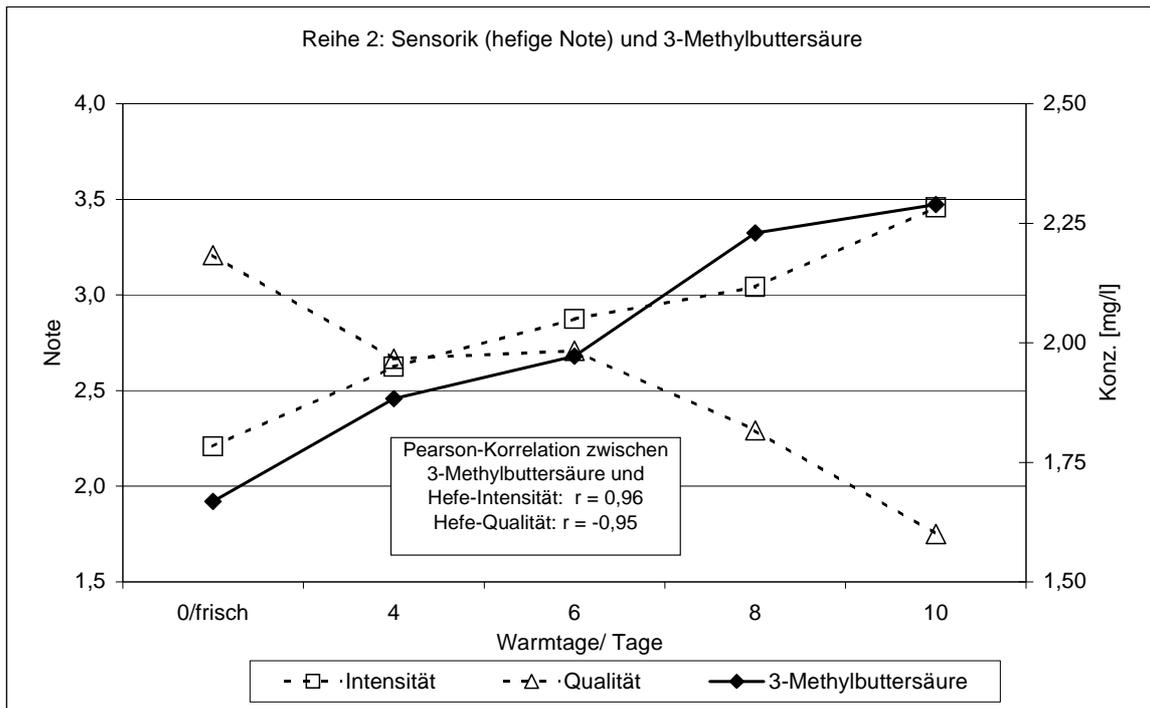


Abb. 3.85: Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 1 (geschädigte Hefe)

Tab. 3.27: Zusammenhang zwischen Sensorik und den mittel- und kurzkettigen Fettsäuren bei Reihe 2

	Korrelationskoeffizient r				
	3-Methylbuttersäure	Hexansäure	Octansäure	Nonansäure	Decansäure
Hefe-Intensität	0,96	-0,45	-0,78	-0,01	0,53
Hefe-Qualität	-0,95	0,43	0,66	0,22	-0,58

In Reihe 1 wurde jedoch von den Verkostern eine Verbesserung der Qualität des Hefegeschmackes nach 10 Warmtagen vermerkt. Dennoch weist die 3-Methylbuttersäure weiterhin einen hohen Korrelationskoeffizienten mit den sensorischen Werten auf (siehe Abbildung 3.86), da sie parallel mit der Qualität

der hefigen Note am 10. Warntag in ihrer Konzentration abnimmt. Die Konzentrationen der mittelkettigen Fettsäuren steigen bis zum 4. Warntag an und nehmen dann stetig ab.

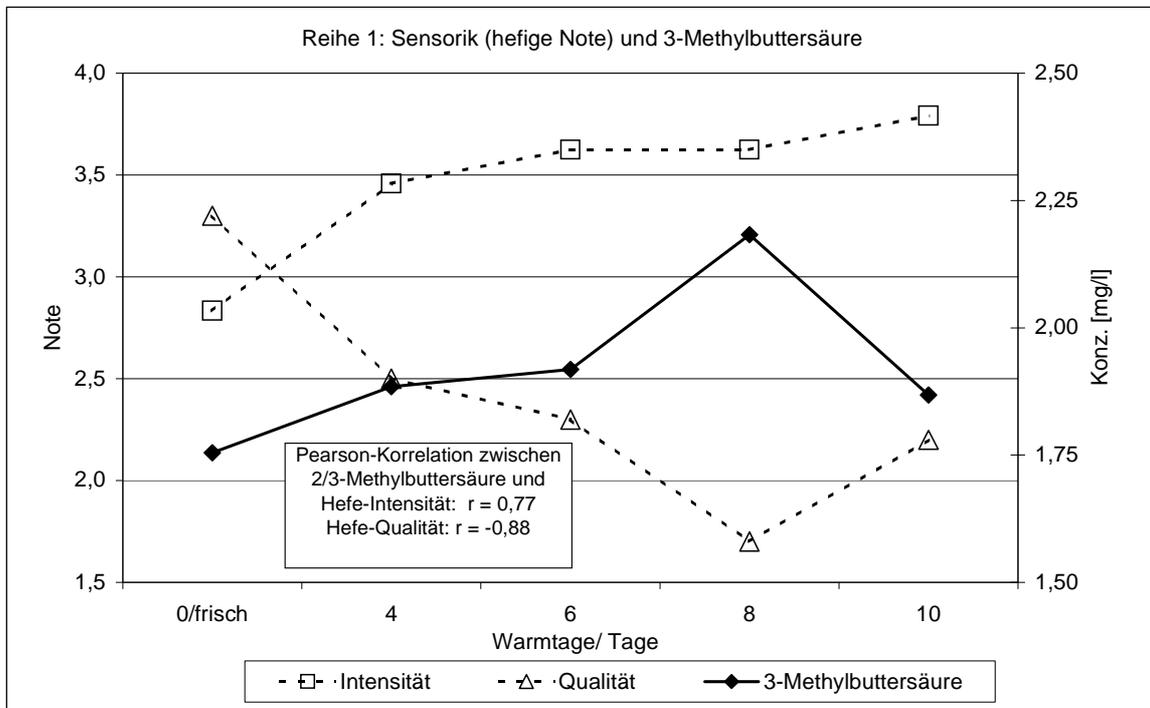


Abb. 3.86: Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 1 (nicht geschädigte Hefe)

Auffällig bei beiden Versuchen war das Verhalten der mittelkettigen Fettsäuren. Bei vitalen Hefen nahmen die mittelkettigen Fettsäuren zu Beginn der Alterung zu, während bei geschädigten Hefen eine sofortige Abnahme eintrat. Weitere Versuche zeigten, dass die mittelkettigen Fettsäuren nur zu Beginn der Alterung freigesetzt werden und später nahezu vollständig abgebaut werden (siehe 3.6.1.3, *Lagerung einer Hefesuspension*). Parallel zum Abbau der mittelkettigen Fettsäuren erfolgt die Zunahme einzelner höherer Alkohole, insbesondere dem Heptan-1-ol, und kurzkettiger Fettsäuren wie der 3-Methylbuttersäure. Da dieses Verhalten in filtrierten Bieren nicht festgestellt werden kann, liegt die Vermutung nahe, dass die mittelkettigen Fettsäuren enzymatisch abgebaut werden. Allerdings

deuten die Ergebnisse der Reihe 1 bereits darauf hin, dass auch die kurzkettigen Fettsäuren bei weiter fortschreitender Alterung ebenfalls abgebaut werden könnten.

Reihe 3-11

Dieser Zusammenhang konnte in weiteren Versuchen (Reihe 3-11) mit handelsüblichen Weißbieren statistisch nicht sicher belegt werden. Ursache hierfür ist, dass sowohl die sensorisch wahrgenommene Alterung als auch die Analytik der 3-Methylbuttersäure zwischen den Versuchen, insbesondere nach 4 Tagen forcierter Alterung, nahezu identisch ist (siehe Abbildung 3.87).

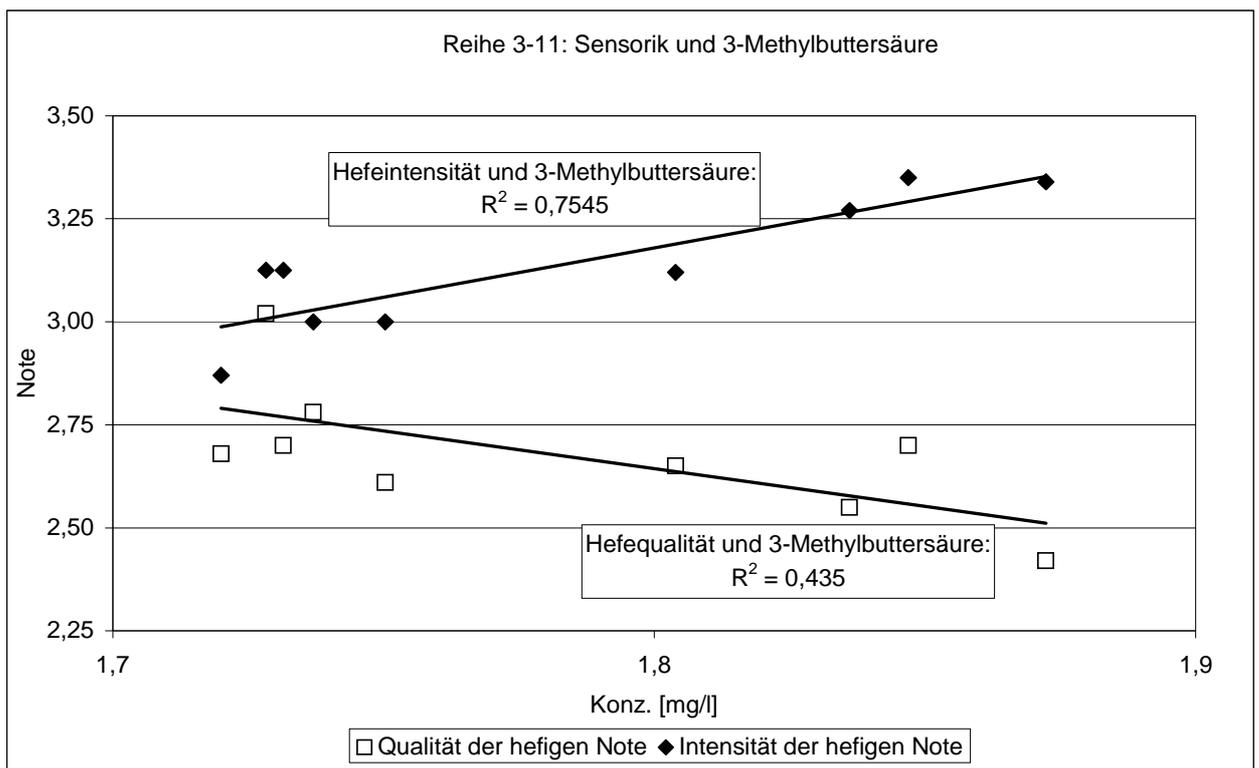


Abb. 3.87: Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 3-11 nach 4 Tagen forcierter Alterung

Nach 7 Tagen forciert er Alterung sind die Unterschiede deutlicher (siehe Abbildung 3.88), es kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$ ein Zusammenhang zwischen Qualität und 3-Methylbuttersäurekonzentration belegt werden. Der Mittelwert der sensorischen Beurteilung der Qualitäten der hefigen Note liegt jedoch bei 2,43, die Standardabweichung der Bewertung dieses Faktors durch die 6 Prüfer beträgt 0,21. Somit liegen nahezu alle Werte der sensorischen Prüfung innerhalb des Streubereichs, die Aussagekraft dieser Untersuchung ist daher vermindert.

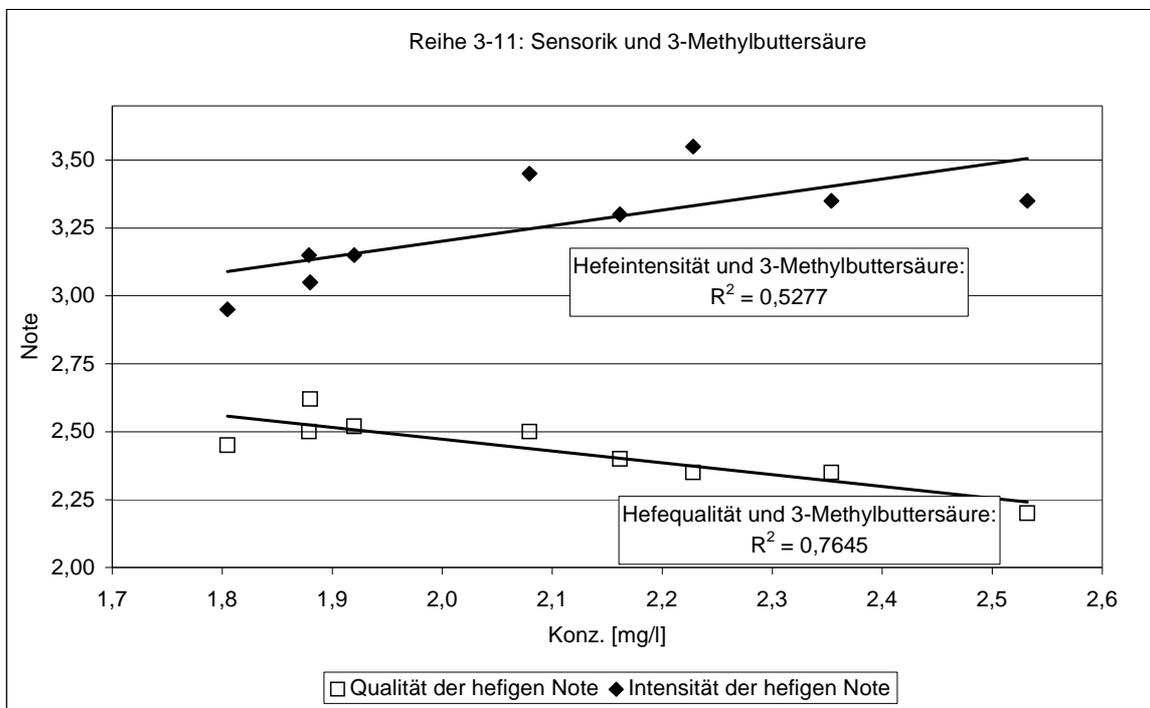


Abb. 3.88: Zusammenhang zwischen der sensorisch wahrgenommenen Hefealterung und der 3-Methylbuttersäure bei Reihe 3-11 nach 7 Tagen forciert er Alterung

Alterungsindikatoren

Alterungsindikatoren steigen sowohl in Reihe 1 und 2, als auch in Reihe 3- 11 mit der Dauer der forciert er Alterung stets an, sie korrelieren aber nicht mit der sensorisch wahrgenommenen Alterung.

Lagerung einer Hefesuspension

Um die Kenntnisse zur Änderung der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren zu vertiefen wurde ein einfacher Vergleich der Lagerung zweier Hefesuspensionen durchgeführt.

Obergärige Hefe wurde bei 20 °C gelagert, Abbildung 3.89 zeigt den Verlauf der Octan- und 3-Methylbuttersäure während der Lagerung. Abbildung 3.90 den Verlauf bei einer bei 0 °C gelagerten untergärigen Hefe.

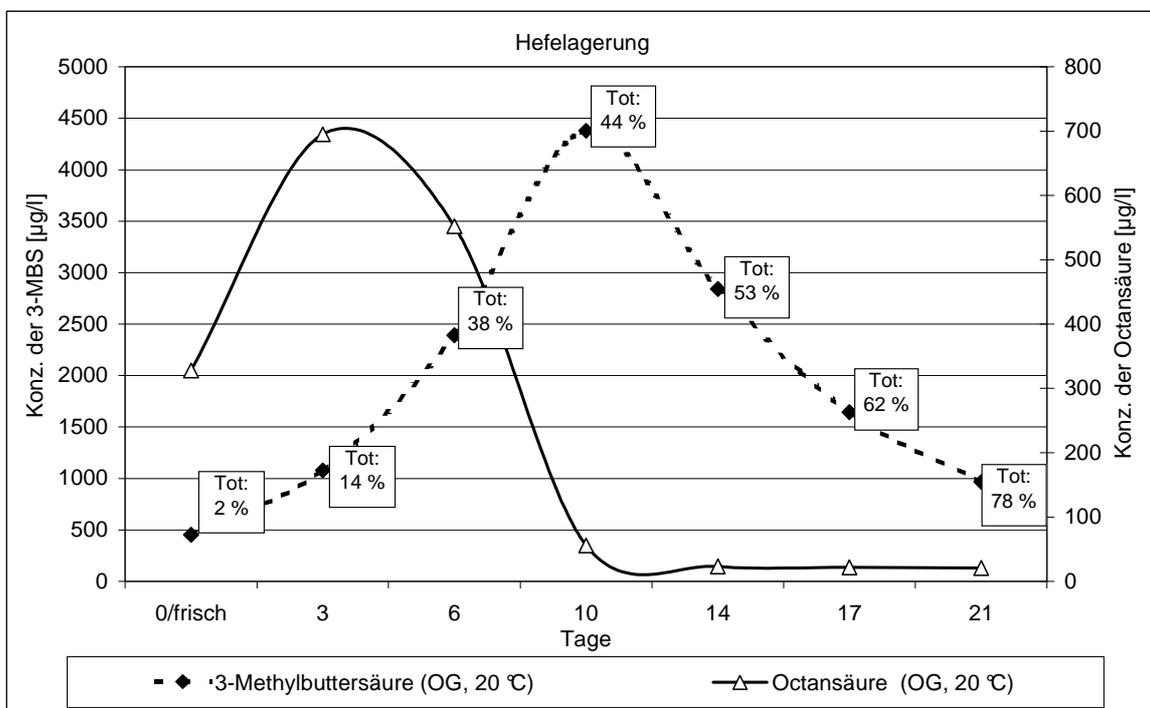


Abb. 3.89: Lagerung einer obergärigen Hefesuspension (Stamm 68) bei 20 °C

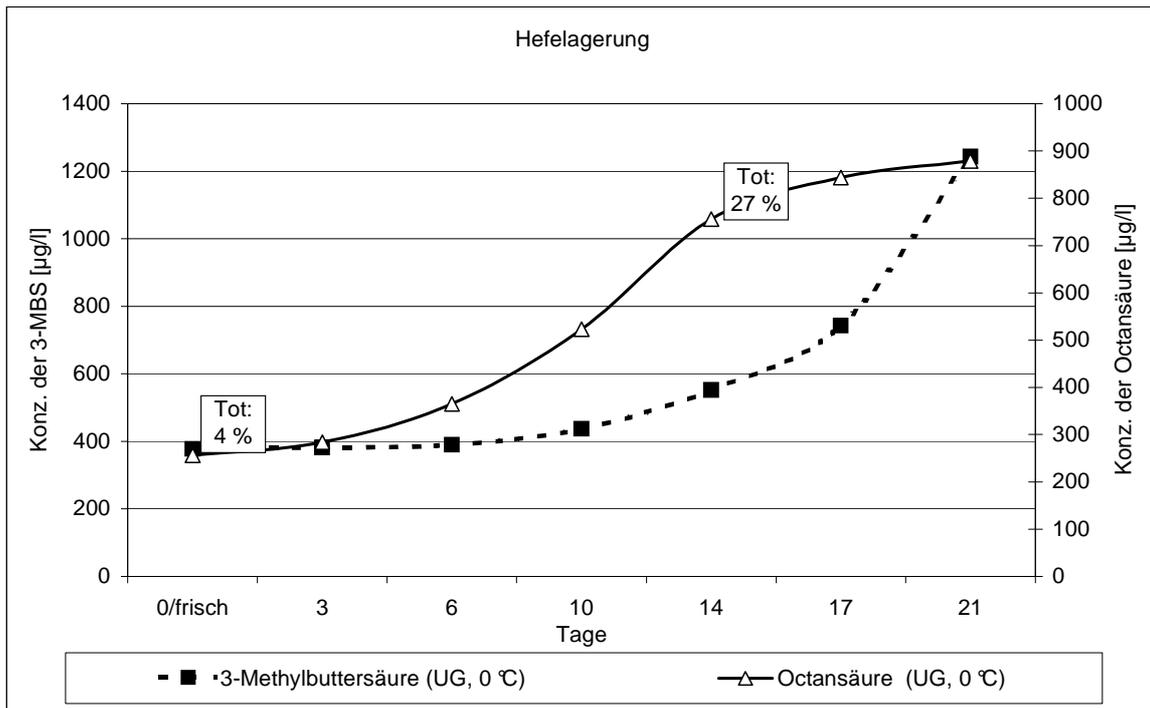


Abb. 3.90: Lagerung einer untergärigen Hefesuspension (Stamm 34) bei 0 °C

Bei beiden Hefen und Lagertemperaturen zeigt sich, dass die mittelkettigen Fettsäuren während der Lagerung zuerst zunehmen, die Bildung der kurzkettigen Fettsäuren erfolgt zeitversetzt. Wie die Versuche zur Lagerung der obergärigen Hefe zeigen, werden aber auch die kurzkettigen Fettsäuren abgebaut. Unter den Bedingungen einer Reifung untergäriger Biere ist jedoch nicht zu erwarten, dass die Alterung der Hefe bis zu einem Abbau der mittelkettigen Fettsäuren fortschreitet, die Eignung der mittelkettigen Fettsäuren als Indikator für die Hefealterung untergäriger Biere ist somit nicht in Frage zu stellen.

3.6.1.4 Diskussion der Ergebnisse zur Alterung von Weißbieren

Kurzkettige Fettsäuren, wie die 3-Methylbuttersäure, scheinen bei der Alterung von Weißbieren im Gegensatz zu den mittelkettigen relevante Indikatoren der

Hefealterung zu sein. Dabei ist zu vermerken, dass auch die 3-Methylbuttersäure bei sehr langer Forcierung (siehe auch Reihe 1) in ihrer Konzentration abnimmt. Die Konzentrationen der mittelkettigen Fettsäuren stiegen bei der nicht geschädigten Hefe kurzzeitig an, wurden dann jedoch im weiteren Verlauf der Forcierung rasch reduziert. Bei den Versuchen mit geschädigter Hefe war ein sofortiger Abbau festzustellen. Diese Abbauvorgänge konnten auch in Versuchen zur Lagerung von Hefesuspensionen gemessen werden: Hexansäure erreichte nach 8 Tagen ein Maximum von 4,8 mg/l, war aber bereits nach 10 Tagen bis auf eine Konzentration unter 0,5 mg/l abgebaut. Die Konzentrationsminderung der 3-Methylbuttersäure erfolgte zeitversetzt, ein Absinken der Konzentration wurde erst nach 14 Tagen gemessen.

Diese Erkenntnisse wurden in Versuchen zur natürlichen Alterung von Weißbieren vertieft (siehe 3.6.2)

3.6.2 Natürliche Alterung von Weißbieren

Aufbauend auf den Versuchen zur Alterung von Weißbieren wurden Versuche zur natürlichen Alterung von Weißbieren unter besonderer Berücksichtigung der zuvor gefundenen neuen Erkenntnisse zum Verhalten der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren durchgeführt.

3.6.2.1 Material und Versuchsaufbau zur natürlichen Alterung des Weißbieres

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden 5 Biere über eine Dauer von 8 Monaten monatlich verkostet und analysiert.

Die Biere unterschieden sich wie folgt:

- Bier 1: Hefeweizenbier einer Charge einer Brauerei mit KZE-Einsatz
- Bier 2: Hefeweizenjungbier einer Charge, nachgereift mit Reinzuchthefer (Stamm 68, 5 % Totanteil, 1 Mio. Zellen/ml),
- Bier 3: Hefeweizenjungbier einer Charge, nachgereift mit Reinzuchthefer (Stamm 68, 5 % Totanteil, 1 Mio. Zellen/ml), vor Abfüllung mit Hilfe einer 10 ml Vollpipette mit Luft gespült,
- Bier 4: Hefeweizenjungbier einer Charge, nachgereift mit geschädigter (siehe 3.6.1.1) Reinzuchthefer (Stamm 68, 58 % Totanteil, 1 Mio. Zellen/ml).

3.6.2.2 Ergebnisse zur natürlichen Alterung des Weißbieres

Phenolische Note

Wie auch in den Versuchen zur forcierten Alterung nimmt das 4-Vinylguaiacol mit der Alterung ab. Die Versuche mit geschädigter Hefe und Sauerstoffbelastung weisen tendenziell eine raschere Abnahme auf (siehe Abbildung 3.91).

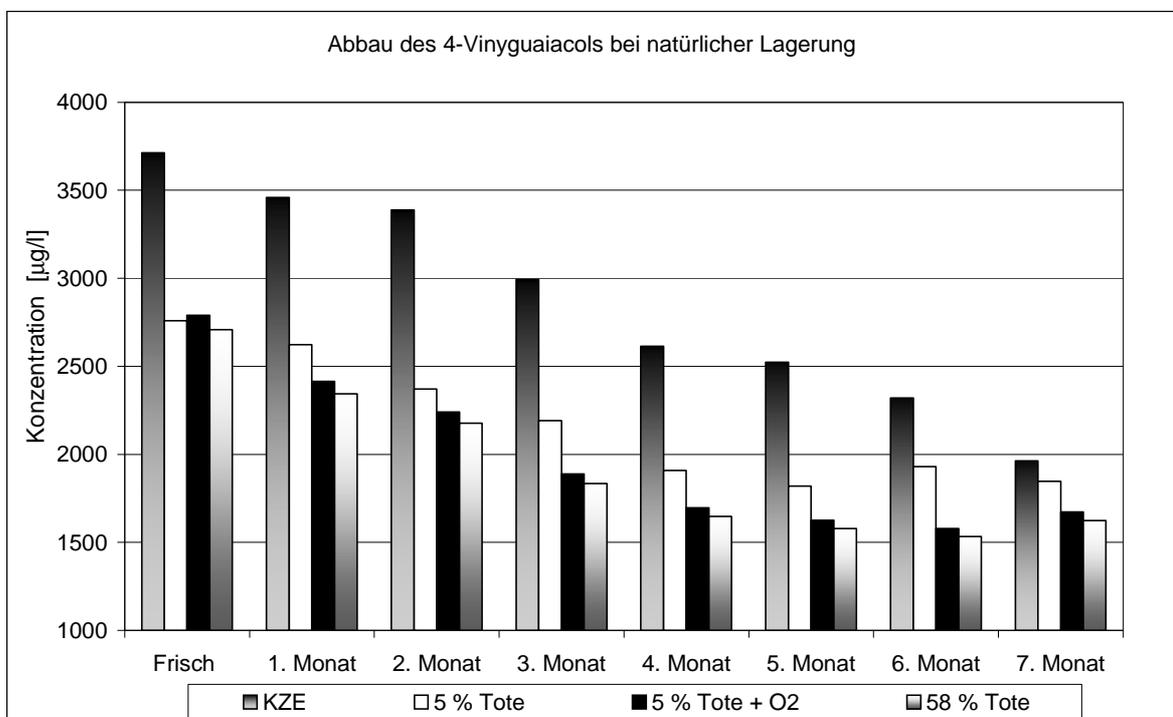


Abb. 3.91: Abbau des 4-Vinylguaiacols bei natürlicher Lagerung

Estrige Note

Ein ähnliches Bild ergibt sich für das 3-Methylbutylacetat. In den Versuchen mit geschädigter Hefe und Sauerstoffbelastung wurde dieser Ester deutlich rascher abgebaut, das Bier mit KZE-Behandlung war im Vergleich deutlich stabiler und erreichte nicht eine so niedrige Konzentration wie die übrigen Versuche (siehe Abbildung 3.92).

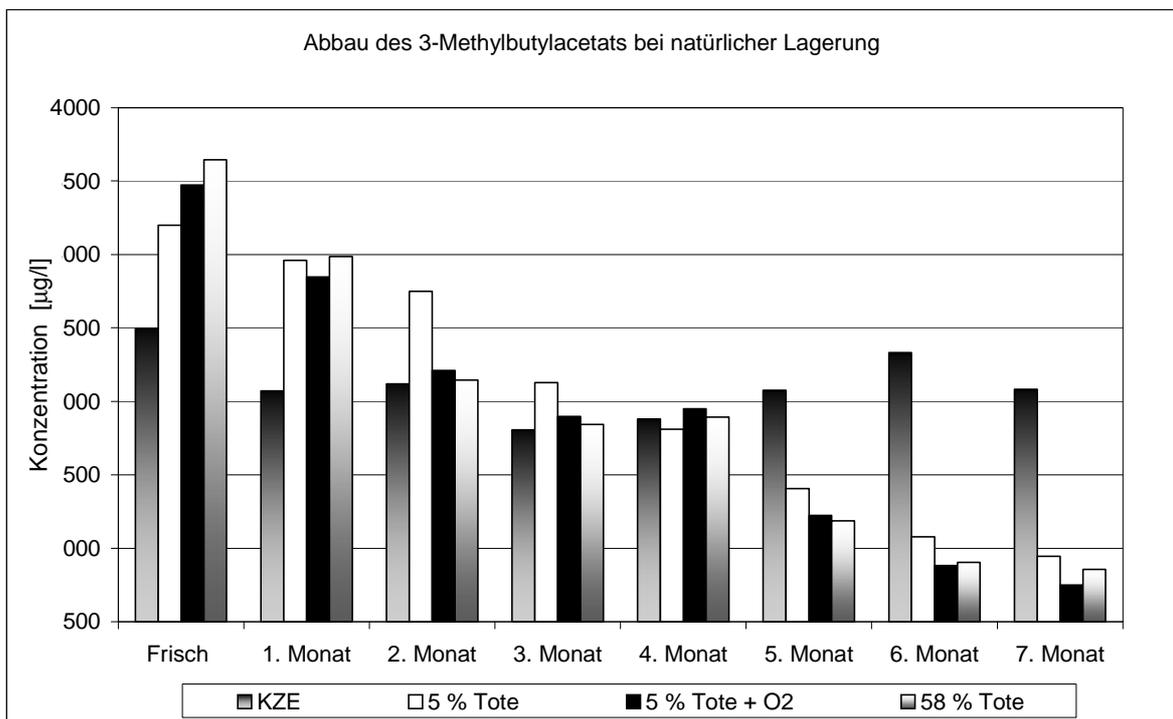


Abb. 3.92: Abbau des 3-Methylbutylacetats bei natürlicher Lagerung

Hefige Note

In der sensorischen Beurteilung der Biere hinsichtlich der hefigen Note fanden sich zwei Auffälligkeiten. Einerseits alterte die Hefe im Bier mit KZE Behandlung deutlich langsamer und bildete keinen typischen Althefegeruch aus. Der vorherrschende sensorische Eindruck ist in diesem Falle hauptsächlich durch sauren Geschmack und Hefebittere zu erklären. Andererseits bildeten sich bei den nicht KZE-behandelten Bieren zwei Maxima aus. Dabei ist in einen durch geruchliche Eindrücke hervorgerufenen „Althefegeruch“ während der ersten

4-5 Monate und einen geschmacklich hervorgerufenen „Althefegeschmack“ zu unterscheiden, der, wie bei dem KZE-behandelten Bier, zu Ende des Versuchszeitraums dominiert. Diese Unterscheidung spiegelt sich auch in den Pearson-Korrelationen in Tabelle 3.28 wieder:

Tab. 3.28: Pearson-Korrelationen zwischen der 3-Methylbuttersäurekonzentrationen und der hefigen Note

Monate 0-7	KZE	5 % Tote	5 % Tote + O ₂	58 % Tote
Hefe Intensität	-0,57	0,36	0,81	0,36
Hefe Qualität	0,70	-0,69	-0,50	-0,18
Monate 0-4	KZE	5 % Tote	5 % Tote + O ₂	58 % Tote
Hefe Intensität	-0,41	0,61	0,83	0,86
Hefe Qualität	0,68	-0,85	-0,85	-0,94

Die 3-Methylbuttersäure kann also nicht als allgemeiner Indikator für die Alterung der Hefe gelten, ihre Konzentration korreliert hauptsächlich mit den geruchlichen Fehlern der Hefealterung. Da in KZE-behandelten Bieren diese Korrelation nicht aufgestellt werden kann, ist zu vermuten, dass es sich hierbei tatsächlich um einen Indikator der Hefeautolyse handelt.

3.6.2.3 Diskussion der Ergebnisse zur natürlichen Alterung des Weißbieres

Die Erkenntnisse aus den Versuchen zur forcierten Alterung decken sich weitestgehend mit denen der natürlichen Alterung. Geschädigte Hefen führen auch hier zu einer stärkeren und rascheren Alterung. Dies beinhaltet sowohl einen stärkeren und rascheren Abbau der positiven Aromastoffe als auch die stärkere und raschere Entwicklung eines Althefegeschmacks. Sauerstoffbelastete

Weißbiere altern ebenfalls schneller, auch wenn vermutet wird, daß lebende Hefe den Sauerstoff zehre.

Die 3-Methylbuttersäure und andere kurzkettige Fettsäuren zeigten auch in den Versuchen zur natürlichen Alterung eine gute Korrelation mit der sensorisch wahrgenommenen Alterung. Die 3-Methylbuttersäure korreliert aber nur mit der geruchlichen Komponente der Hefealterung, die geschmacklichen Fehleindrücke können zwar mit dem Auftreten der 3-Methylbuttersäure einhergehen, sind aber zu einem späteren Zeitpunkt in der Alterung der Weißbiere dominant. In dem KZE-behandelten Bier dieser Versuchsreihe wurde weder eine Zunahme der 3-Methylbuttersäure, noch der sensorische Eindruck des Althefegeruches festgestellt. Dieses Resultat führt zu einer weiteren Einschränkung der Eignung der 3-Methylbuttersäure als Indikator der Hefealterung, die verschiedenen Herstellungsweisen erfordern eine gesonderte Betrachtung des Alterungsverlaufs.

3.6.3 Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Bereits 1999 zeigte Englmann [1999], dass der Sauerstoff im Flaschenhals während der Flaschengärung nicht gezehrt wird. Dies steht im Gegensatz zur weit verbreiteten Ansicht, dass die Hefe während der Reifung den Sauerstoff verbrauche. Die Versuche zur natürlichen Alterung des Weißbieres stehen ebenfalls im Widerspruch dieser Vermutung.

3.6.3.1 Material und Versuchsaufbau der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Vier Biere einer Charge wurden parallel flaschenvergoren. Zur Untersuchung des Einflusses der Luft im Flaschenhals wurden die einzelnen Ansätze folgendermaßen behandelt:

- Versuch 1: Abfüllung mit HDE („HDE“),
- Versuch 2: Abfüllung ohne HDE, kontinuierliche Bewegung der Flaschen während der Reifung auf einer Rüttelplatte („Rütteln“),
- Versuch 3: Abfüllung ohne HDE, die Flaschen wurden zu Beginn der Reifung 20 mal gewendet („Wenden“),
- Versuch 4: Abfüllung ohne HDE („o. B.“).

3.6.3.2 Ergebnisse der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Bereits in der Sensorik zeichneten sich in dieser Versuchsreihe deutliche Unterschiede ab. Die Biere der Versuche 1 und 2 wiesen die höchste Alterungsstabilität auf, während die Biere der Versuche 3 und 4 sensorisch stark abfielen (siehe Tabelle 3.29). Der größere Qualitätsverlust scheint vor allem in einer stärkeren Alterung der Hefe begründet zu sein.

Tab. 3.29: Sensorische Beurteilung der Alterung

HDE	DLG	Est.-Int.	Est-Qu.	Phe.-Int.	Phe.-Qu.	Hef.-Int.	Hef. Qu.
0/Frisch	4,2	2,5	3,2	3,0	3,2	2,5	3,0
4 Tage	4,1	2,5	2,9	2,8	2,9	3,0	2,7
7 Tage	3,9	2,7	2,8	2,9	2,8	3,3	2,6
Rütteln	DLG	Est.-Int.	Est-Qu.	Phe.-Int.	Phe.-Qu.	Hef.-Int.	Hef. Qu.
0/Frisch	4,2	3,1	3,4	3,2	3,4	3,4	2,9
4 Tage	4,0	3,0	2,9	2,6	2,7	3,0	2,7
7 Tage	4,0	2,5	2,5	3,3	2,8	3,3	2,7
Wenden	DLG	Est.-Int.	Est-Qu.	Phe.-Int.	Phe.-Qu.	Hef.-Int.	Hef. Qu.
0/Frisch	4,3	3,4	3,6	2,7	3,2	3,0	3,5
4 Tage	4,0	3,5	2,7	3,1	2,6	3,2	2,6
7 Tage	3,9	3,4	2,4	3,1	2,6	3,4	2,2
o.B.	DLG	Est.-Int.	Est-Qu.	Phe.-Int.	Phe.-Qu.	Hef.-Int.	Hef. Qu.
0/Frisch	4,2	2,9	3,2	3,0	3,1	2,7	3,1
4 Tage	3,7	2,7	2,1	2,6	2,6	3,2	2,1
7 Tage	3,3	2,6	2,0	2,4	2,2	3,7	1,7

Die Sauerstoffindikatoren nach Eichhorn [1987] und Lustig [1994] sind bei den Versuchen 1 und 2 jeweils auf einem ähnlich niedrigen Niveau. Die Sauerstoffindikatoren der Versuche 3 und 4 erreichen nach 7 Tagen forcierter Alterung die 1,7-fache Konzentration der Versuche 1 und 2 und liegen auch bereits nach 4 Tagen deutlich höher (siehe Abbildung 3.93).

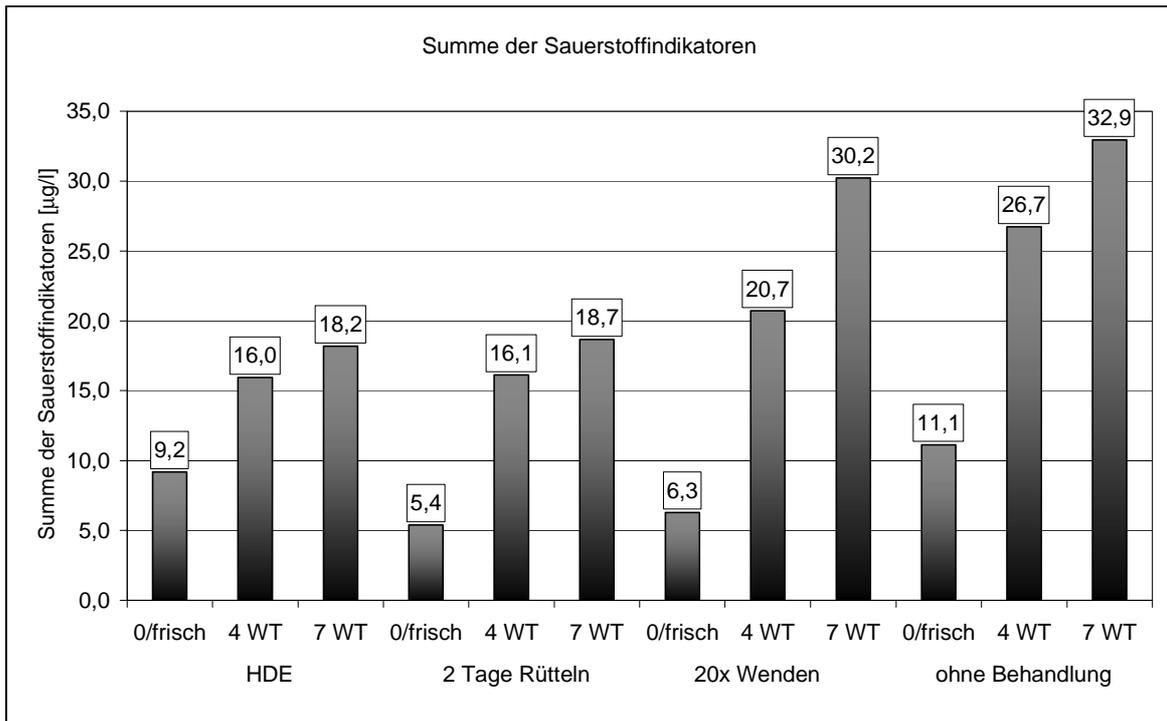


Abb. 3.93: Sauerstoffindikatoren 1-4 im frischen Bier, nach 4 und 7 Warmtagen

Diese Ergebnisse legen nahe, dass der Sauerstoff unter üblichen Bedingungen (Versuch 4) von der Hefe nicht aufgezehrt werden kann, da er sich zu langsam löst bzw. verteilt. Nach Beendigung der Gärstätigkeit wirkt die noch lebende Hefe nur noch in geringem Umfang reduzierend.

Die ständige Bewegung bei Versuch 2 beschleunigt die Lösungs-/Verteilungsvorgänge, Hefe und Sauerstoff kommen daher noch während der Nachgärung in Kontakt, der Sauerstoff kann somit verstoffwechselt werden. Das zwanzigfache Wenden bei Versuch 3 ist nicht ausreichend um die Luft im Flaschenhals an die Hefe heranzuführen.

Diese Ergebnisse und der Erklärungsansatz stehen in Einklang mit den Sauerstoffmessungen von Englmann [2004].

Der Sauerstoff der Luft im Flaschenhals kann also nicht nur nicht von der Hefe aufgezehrt werden, sondern scheint zusätzlich eine stärkere Schädigung der Hefe hervorzurufen, wie die Ergebnisse zur Verkostung und die Messung der 3-Methylbuttersäure vermuten lassen (siehe Abbildung 3.94).

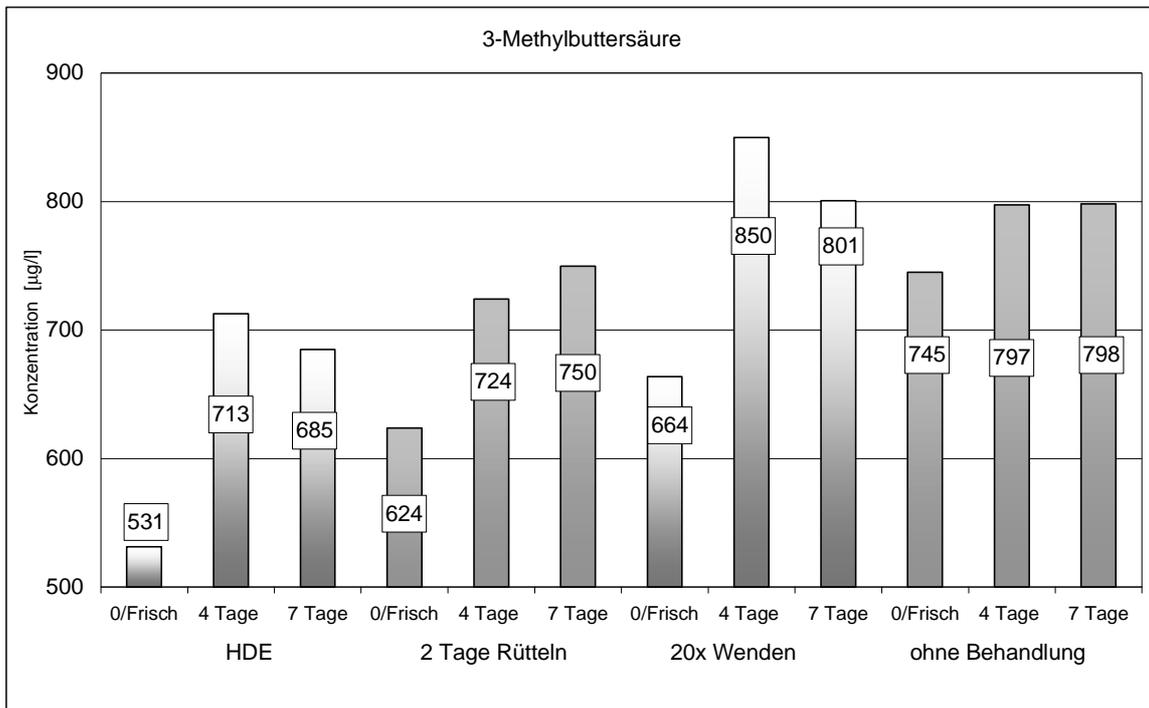


Abb. 3.94: 3-Methylbuttersäure der Versuche 1-4 im frischen Bier, nach 4 und 7 Warmtagen

Auch wenn sich hier deutlich niedrigere Konzentrationen für die 3-Methylbuttersäure als in den vorherigen Versuchen finden, so korreliert sie dennoch mit der Qualität der hefigen Note. Der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen Qualität der hefigen Note und 3-Methylbuttersäurekonzentration beträgt bei $n = 14$ $-0,72$ und ist somit auch hier statistisch signifikant.

Erfahrungen aus der Praxis

Aufgrund dieser Versuche wurde die HDE in einer Weißbierbrauerei eingefahren. Der Vergleich der Betriebsdaten vor und nach Einführung der Hochdruckeinspritzung konnte die Ergebnisse dieser Versuchsergebnisse bestätigen. Während des Beobachtungszeitraums von 9 Monaten wurden keine

weiteren Änderungen hinsichtlich der Technologie oder der Rohstoffe durchgeführt.

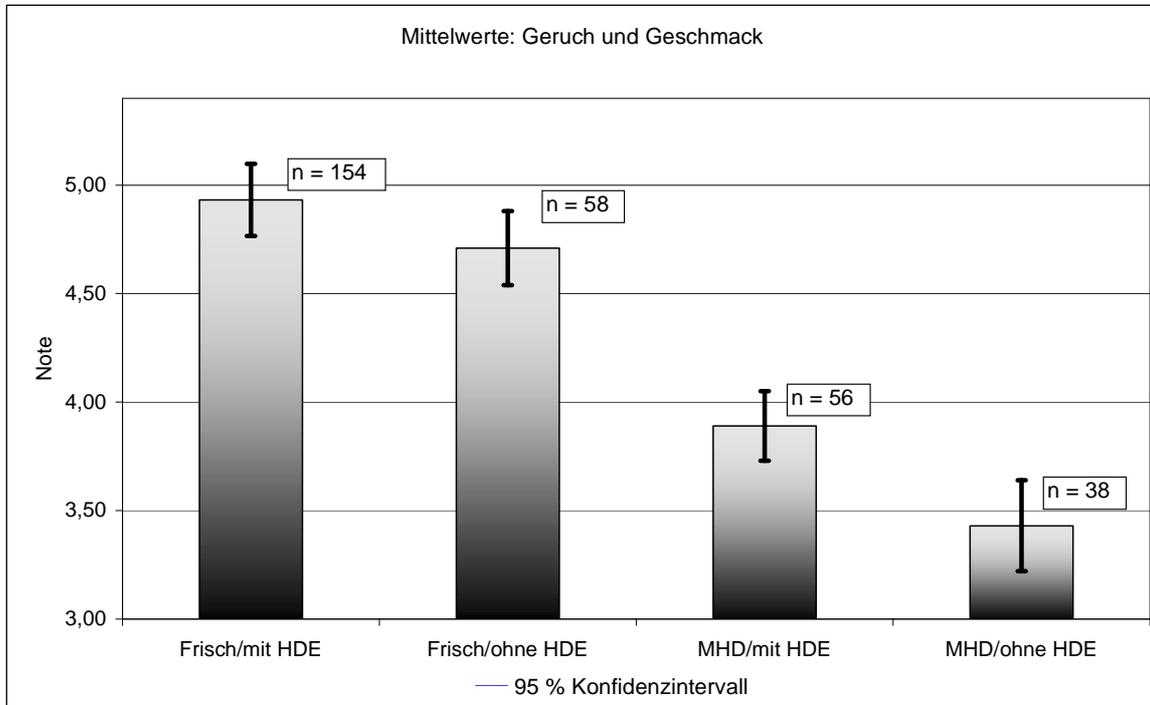


Abb. 3.95: Sensorische Beurteilung der Biere einer Brauerei vor und nach Einführung der HDE bei natürlicher Lagerung [Betriebsdaten 2003]

Die Einführung der HDE führt also auch bei Weißbieren zu einer Verbesserung der Geschmacksstabilität.

3.6.3.3 Diskussion der Ergebnisse der Versuche zum Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Die Erkenntnisse dieser Versuche belegen eindeutig, dass die Vermutung, lebende Hefe zehre den Sauerstoff der Luft im Flaschenhals und stelle somit einen Schutz vor der Alterung dar, abzulehnen ist. Es ist zwar nicht auszuschließen, dass ein geringer Teil dieses Sauerstoffes von der Hefe tatsächlich verbraucht wird, vermutlich ist die Hefe jedoch nach Beendigung der Gärstätigkeit bei Erreichen des Endvergärungsgrades nicht mehr oder nur kaum mehr dazu in der Lage.

Auch bei Flaschengärungen sind die Weißbiere daher vor einem Sauerstoffeintrag zu schützen, Hochdruckeinspritzungssysteme können diesen Schutz gewährleisten.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

4.1 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Rohstoffe

Der Einfluss der Malze auf die Aromastoffbildung ist primär durch die Mälzungstechnologie geprägt. Abhängigkeiten vom Getreide, hier vom Rohstoff Weizen, entstehen vor allem durch das Anbaugebiet und damit den entsprechenden Umwelteinflüssen und weniger durch die Sorte. So konnte für die aromarelevanten Ester 3-Methylbutylacetat bzw. 2-Methylbutylacetat ein direkter Zusammenhang mit den Anteilen an den korrespondierenden Aminosäuren, dem Leucin bzw. dem Isoleucin, an der Summe der Aminosäuren nachgewiesen werden. Die Aminosäuren wiederum sind, wie in der Literatur beschrieben, direkt von den agronomischen Bedingungen und Umwelteinflüssen abhängig.

Für die Bildung des 4-Vinylguaiacols ist die Menge an Ferulasäure in der Anstellwürze entscheidend. Auch für die resultierenden Ferulasäuregehalte war keine Sortenabhängigkeit ersichtlich. Die Ferulasäuregehalte der Weizenmalze können selbst auf lokaler Ebene deutlichen Schwankungen unterliegen.

Die gängige Meinung, dass der 4-Vinylguaiacolgehalt durch Erhöhung des Weizenmalzanteils gesenkt werden kann, muss auf Grund der Versuchsergebnisse mit gewisser Vorsicht betrachtet werden. Die hier vorgefundenen 4-Vinylguaiacolgehalte können Werte von etwa 2 mg/l bis zu 5 mg/l annehmen. Dies bedeutet bei einem Unterschiedsschwellenwert des 4-Vinylguaiacols von 0,5 mg/l eine Steigerung des Aromawerts von 4 auf 10 und ist somit sicherlich geeignet den Biercharakter signifikant zu ändern. Es ist daher durchaus angebracht zu überlegen, ob die Ferulasäurebestimmung in die Analytik der wertbestimmenden Eigenschaften von Weizenmalzen und Gerstenmalzen aufgenommen werden sollte.

4.2 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Würzebereitung

Sowohl maische- als auch würzegeäuerte Biere weisen zwar höhere Gehalte an Estern auf, werden aber in der Intensität und Qualität der estrigen Note geringer bewertet. Der Grund für die verstärkte Esterbildung ist wohl hauptsächlich in der Zuführung von Wuchsstoffen, wie beispielsweise Zink und verschiedenen Vitaminen, zu sehen. Die Reduzierung der Intensität und Qualität der estrigen Note kann mit der parallel erfolgenden Zunahme negativ bewerteter Substanzen erklärt werden. So lagen alle geäuerten Biere dieser Versuchsreihe bei der Ethylacetatkonzentration im kritischen Bereich von 40 mg/l und darüber. Auch bei der 3-Methylbutylacetatkonzentration erreichten die geäuerten Biere Werte, die an den kritischen Bereich von 4-6 mg/l heranreichen. Als dritter Punkt sind noch die höheren Alkohole zu nennen, die in ihrer Summe den kritischen Wert von 100 mg/l überschreiten. Diese negative Beeinflussung der estrigen Note konnte auch in Zumischversuchen bestätigt werden. Für eine angenehme estrige Note sind daher Gehalte des 3-Methylbutylacetats bis zu 4,5 mg/l und Ethylacetatkonzentrationen unter 45 mg/l bei gleichzeitig niederen Konzentrationen an höheren Alkoholen zu empfehlen. Die neuen Kenntnisse zur Maische- und Würzesäuerung sollten es erlauben, die Vorteile dieser Technologie auch bei der Herstellung bayerischer Weizenbiere besser zu nutzen.

Die Herstellung estriger Weißbiere erweist sich bei der Verwendung zylindrokonischer Gärtanks als schwierig, da vor allem der hohe Kohlendioxidpartialdruck die Esterbildung stark hemmt. High-Gravity-Verfahren konnten sich auf Grund von Läuterschwierigkeiten bei der Weißbierherstellung noch nicht durchsetzen. Die Entwicklung des Maltaseverfahrens, das die gezielte Einstellung der Glucosekonzentration erlaubt, stellt für den Technologen ein weiteres Werkzeug dar, um die Esterbildung zu steuern. Nachteile des Verfahrens können die erhöhte Freisetzung der Ferulasäure durch die 45 °C-Rast sein, auch eine Beeinträchtigung der Schaumwerte durch die verstärkte Proteolyse kann gegeben sein. Beiden Nachteilen kann durch eine geeignete Rohstoffauswahl bis zu einem gewissen Grade entgegengesteuert werden.

Für Brauereien die noch mit klassischen, offenen Gärbottichen arbeiten, ist eine Verwendung dieses Verfahrens nicht anzuraten, da Gärparameter wie

Hefestamm, Temperaturführung u.a. ausreichend sind um esterreiche Biere herzustellen.

Das noch vielseitig verwendete Dekoktionsverfahren ergibt keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Aromastoffbildung. Weder die Sensorik noch die Aromastoffkonzentrationen weisen Abweichungen auf. Lediglich in den Pfanne-Voll-Würzen wurden unterschiedliche Werte aufgenommen, das Kochen der Würze gleicht dies aber wiederum aus. Die Umstellung von Infusion zu Dekoktion sollte, wie es auch bereits für untergärige Biere nachgewiesen wurde, auch bei Weißbieren ohne schwerwiegende Probleme möglich sein.

Entscheidend ist der Einfluss von Dekoktionsverfahren auf die Eiweißfraktionen. Die Dekoktionsbiere erwiesen sich sowohl in der Schaumstabilität als auch in der Trübungsstabilität als stabiler. Diese Erkenntnis sollte hinsichtlich der Trübungsstabilität von Weißbieren weiter verfolgt werden und könnte einen deutlichen Vorteil des Dekoktionsverfahrens gegenüber Infusionsverfahren für die Weißbierbrauer darstellen.

4.3 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Gärung

Eine Erhöhung des Glucoseanteils führt auch bei obergärigen Hefen zu einer verstärkten Esterbildung. Als besonders positiv ist die größere Steigerung des 3-Methylbutylacetats gegenüber dem Ethylacetat zu werten. Negative Effekte konnten nicht beobachtet werden. Sowohl die höheren Alkohole als auch die vicinalen Diketone bleiben durch eine Veränderung des Zuckerspektrums weitgehend unberührt, die Gärgeschwindigkeit bleibt gleich oder ist sogar bei höheren Glucosekonzentrationen tendenziell beschleunigt.

Die relativen Steigerungen der Ester durch die Glucose stehen in Abhängigkeit zu dem Grundpotential der Esterbildung. Die hierbei untersuchten Parameter sind Hefestamm und Stammwürze: Bei High-Gravity Würzen wurden grundsätzlich niedrigere Steigerungen der 3-Methylbutylacetatkonzentration gemessen, vermutlich da durch High-Gravity Verfahren die Esterbildung bereits gesteigert ist. Die Versuche im Bioreaktor deuten darauf hin, dass die Steigerung der

Glucosekonzentration auch in zylindrokonischen Gärtanks industriellen Maßstabs nutzbar sein könnte.

Aus der Summe der Versuche wurde geschlossen, dass die Steigerung der Esterbildung durch die Verschiebung des diauxischen Punktes auf Grund unterschiedlicher Glucosekonzentrationen zurückzuführen sei. Der diauxische Punkt induziert die Bildung der Acetyl-Alkoholtransferasen, durch unterschiedliche Glucosekonzentrationen erfolgt die Induzierung bei unterschiedlichen Zellzahlen.

4.4 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Lagerung

Es ist bekannt, dass Flaschenreifung bei Weißbieren im Allgemeinen zu aromatischeren Bieren führt. Dennoch deuten die Ergebnisse dieser Versuche darauf hin, dass durch geeignete Maßnahmen die aromareduzierenden Effekte der Tankreifung ausgeglichen werden können.

Eine Nachreifung basierend auf Restextrakt oder auf Speisegabe führt nur zu geringen Unterschieden. Auffallendster Unterschied ist die starke Zunahme des Diacetyls zu Beginn der Nachreifung bei Speisegabe. Diese Zunahme konnte bis zum Ende der Nachreifung nur teilweise ausgeglichen werden, die Biere mit Speisegabe verfügen daher über tendenziell höhere Diacetylwerte. Es finden sich dort auch höhere Konzentrationen an Acetaldehyd. Des Weiteren ergibt die Speisegabe eine Erhöhung der 4-Vinylguaiacolkonzentration, vermutlich wird durch Speisegabe zusätzlich umsetzbare, freie Ferulasäure eingebracht, während bei der Nachgärung basierend auf Restextrakt die Umsetzung der Ferulasäure bereits weitgehender abgeschlossen ist.

Eine höhere Hefezellzahl bei der Nachreifung führt zu höherem Vergärungsgrad, rascherem Diacetylabbau und stärkerer Zunahme der Ester. Ein Einfluss auf phenolische Substanzen ist nicht zu erkennen. Höhere Zellzahlen sind daher empfehlenswert, wenn ein estrigeres Bier gewünscht wird, allerdings sollte die Hefezellzahl vor Abfüllung wieder reduziert werden. Höhere Hefezellzahlen können bei Weißbieren sowohl die Flockenbildung begünstigen und sich negativ

auf die Trübungsstabilität auswirken, als auch die Alterungsstabilität negativ beeinflussen.

Bei den Nachreifungstemperaturen ist zu differenzieren: zwar führen warme Nachreifungstemperaturen, wie erhöhte Hefezellzahlen, zu höheren Vergärungsgraden und rascherem Diacetylabbau, jedoch wurde innerhalb der hier vorgestellten Versuche ein Temperaturoptimum der Esterbildung in der Tankreifung bei 15 °C festgestellt. Die qualitätsbestimmenden Ester erreichen bei dieser Temperatur ähnliche Werte wie bei den zum Vergleich bei 20 °C gereiften Flaschenbieren. Unterschiede in der Esterbildung in Abhängigkeit von Hefestamm, Behältergeometrie und Temperaturführung sind in der Literatur bereits bekannt (siehe 1.1.1), die Aussage, dass mit erhöhter Temperatur auch erhöhte Estergehalte eintreten, ist eine Vereinfachung, die nicht immer zutrifft. Brauereien, die estrigere Biere bei der Tankreifung wünschen, sollten daher das Optimum der Esterbildung unter den Bedingungen ihrer Behältergeometrie und ihres Hefestammes durch Versuche ermitteln.

4.5 Die Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe durch die Alterung von Weißbier

Kurzkettige Fettsäuren, wie die 3-Methylbuttersäure, scheinen bei der Alterung von Weißbieren im Gegensatz zu den mittelkettigen relevante Indikatoren der Hefealterung zu sein. Dabei ist zu vermerken, dass auch die 3-Methylbuttersäure bei sehr langer Forcierung und längerer natürlicher Alterung in ihrer Konzentration abnimmt. Mittelkettige Fettsäuren werden hingegen bei der Alterung des Weißbieres rasch abgebaut. Bei geschädigten Hefen wurde sowohl ein rascherer Abbau der mittelkettigen Fettsäuren, als auch ein früherer und weiterer Anstieg der kurzkettigen Fettsäuren festgestellt. Des Weiteren wurde bei geschädigten Hefen auch ein verstärkter Abbau der aromapositiven Substanzen gemessen. Eine Sauerstoffbelastung wirkt sich in vielerlei Hinsicht wie die Verwendung geschädigter Hefe aus.

Die Anwendung einer Kurzzeiterhitzung führt hingegen zu einer Verringerung des Abbaus positiver Aromastoffe und zu einer geringeren Ausprägung der Autolyseerscheinungen. In diesem Falle, aber auch bei sehr hohen Zellzahlen in

der Flasche, ist die Verwendung der kurzkettigen Fettsäuren als Hinweis für die Hefealterung nicht mehr möglich.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass auch bei flaschenvergorenen Bieren ein Sauerstoffeintrag die Alterung verstärkt. Die Vermutung, lebende Hefe zehre den Sauerstoff der Luft im Flaschenhals und stelle somit einen Schutz vor der Alterung dar, ist abzulehnen. Es ist zwar nicht auszuschließen, dass ein geringer Teil dieses Sauerstoffes von der Hefe tatsächlich verbraucht wird, vermutlich ist die Hefe jedoch nach Beendigung der Gärtätigkeit bei Erreichen des Endvergärungsgrades nicht mehr oder nur kaum mehr dazu in der Lage. Auch bei Flaschengärungen sind die Weißbiere daher vor einem Sauerstoffeintrag zu schützen, Hochdruckeinspritzungssysteme können diesen Schutz gewährleisten.

Abbildungsanhang

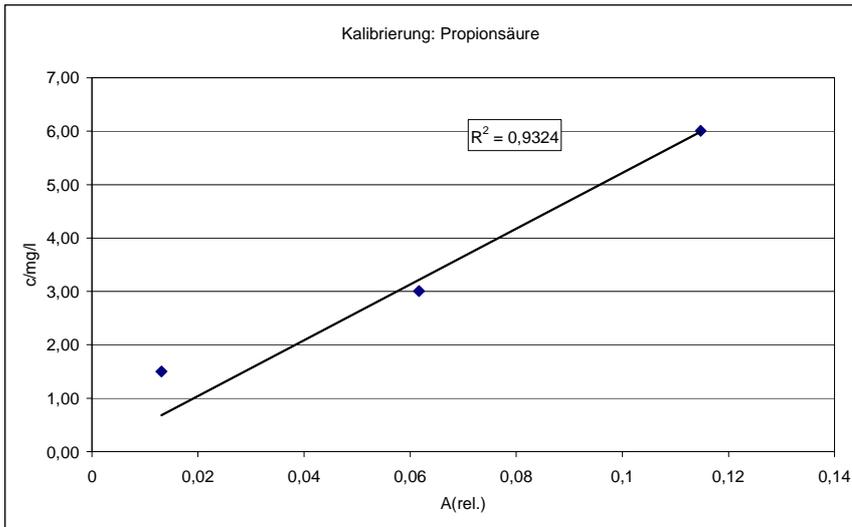


Abb. A1: Kalibrierung: Propionsäure

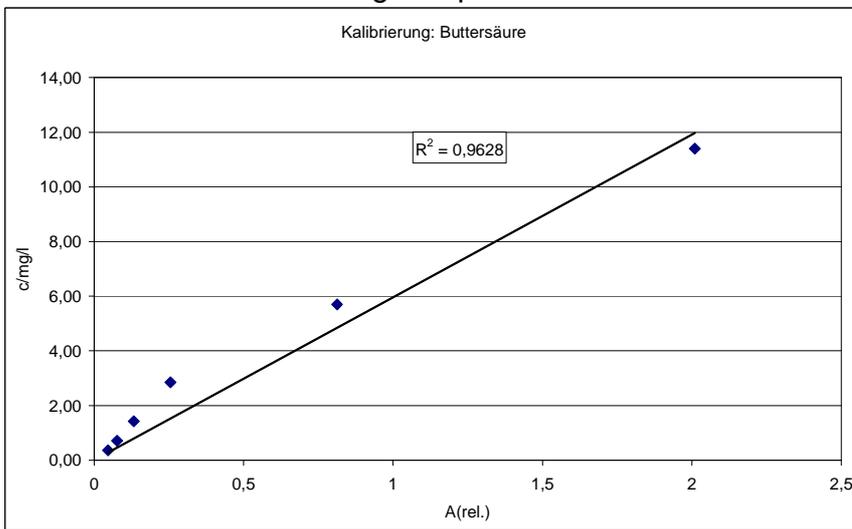


Abb. A2: Kalibrierung: Buttersäure

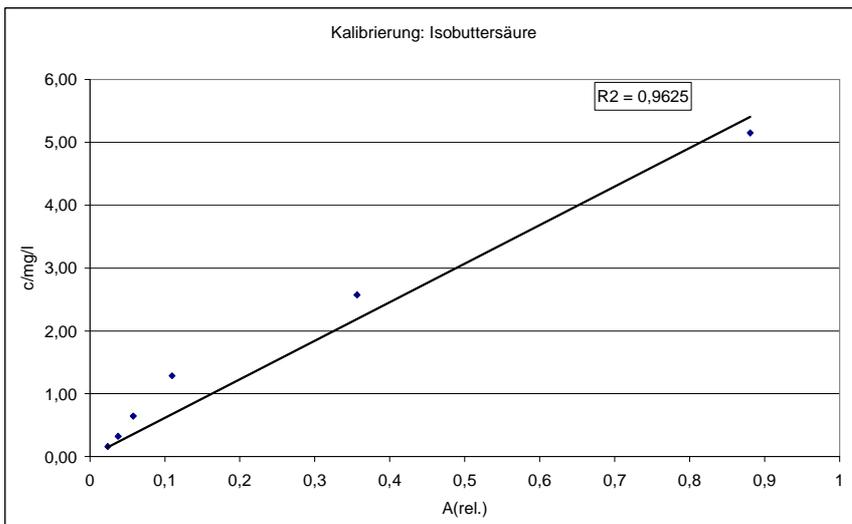


Abb. A3: Kalibrierung: Isobuttersäure

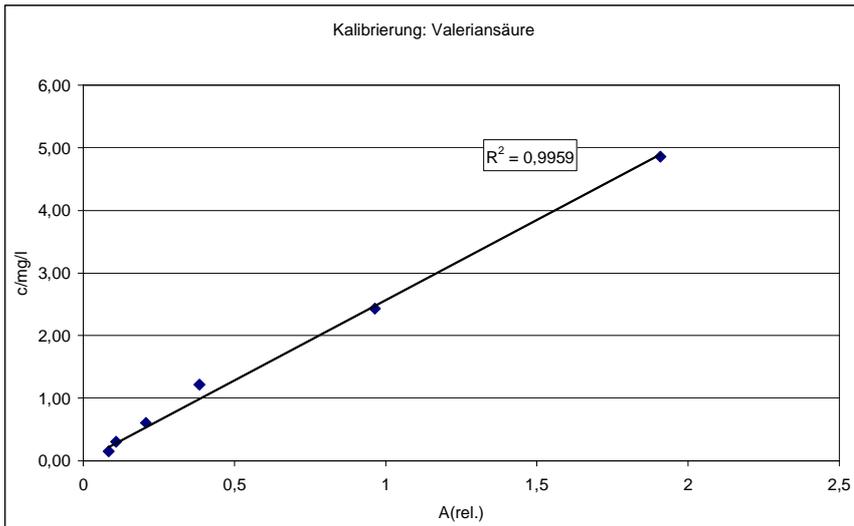


Abb. A4: Kalibrierung: Valeriansäure

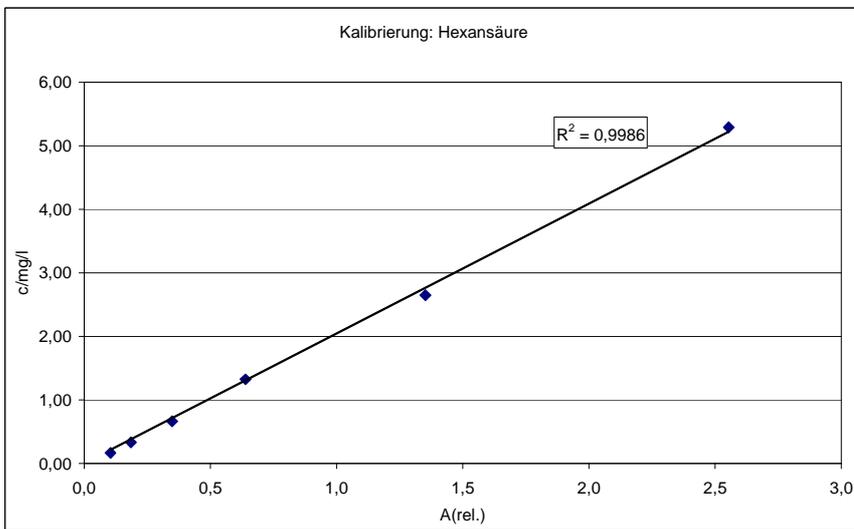


Abb. A5: Kalibrierung: Hexansäure

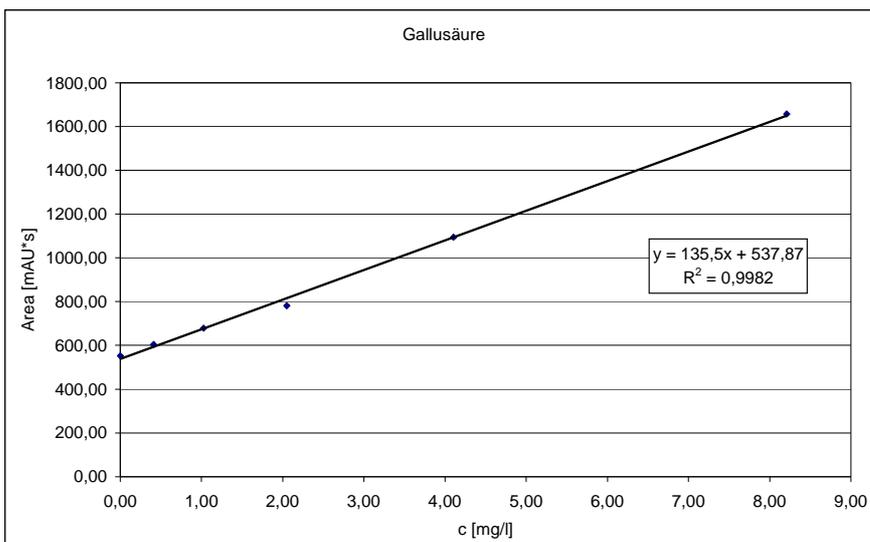


Abb. A6: Kalibrierung: Gallusäure

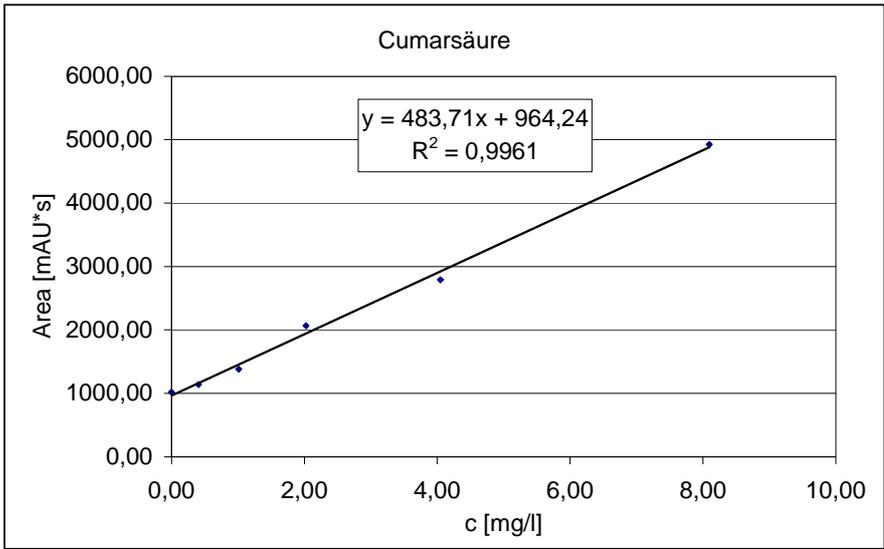


Abb. A7: Kalibrierung: Cumarsäure

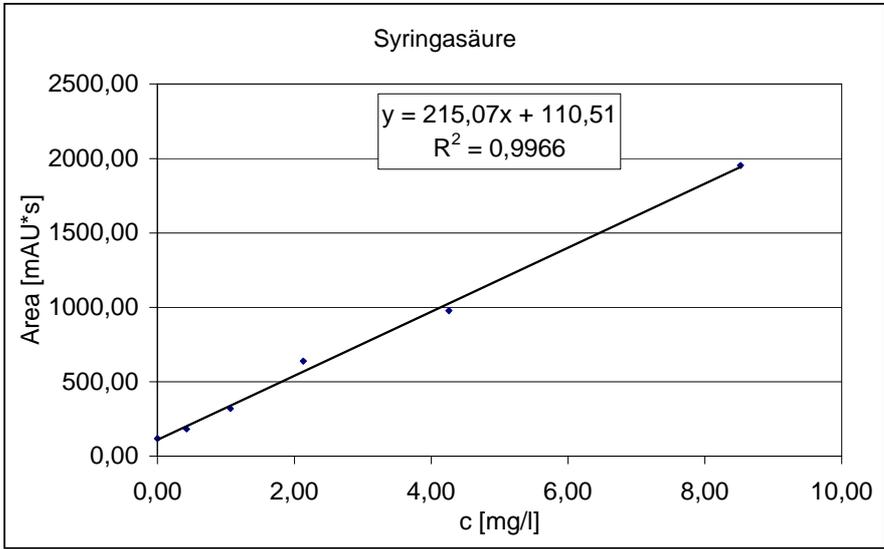


Abb. A8: Kalibrierung: Syringasäure

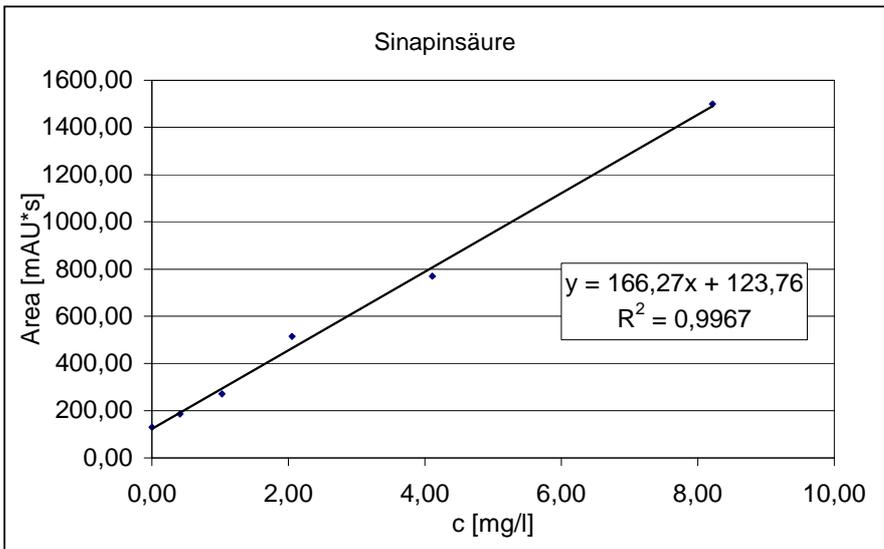


Abb. A9: Kalibrierung: Sinapinsäure

Tabellenanhang

Tab. T1: Höhere Alkohole und Ester bei den Versuchen zur Hefelagerzeit

	Lagerzeit 0 T./1	Lagerzeit 0 T./2	Lagerzeit 2 T.	Lagerzeit 4 T.
Substanz	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Ethylacetat	24882	23168	27446	29087
Buttersäureethylester	92	88	108	123
3-Methylbutylacetat	2202	2130	2786	3034
2-Methylbutylacetat	348	336	489	525
Hexansäureethylester	122	126	204	198
Propanol-1	17843	17432	16630	16021
2-Methylpropanol	42671	43568	42707	42008
3-Methylbutanol	69823	67993	68443	67982
2-Methylbutanol	17554	17208	16634	16806

Tab. T2: Höhere Alkohole und Ester bei den Versuchen zur Hefelagerzeit

	Bier 1	Bier 2	Bier 4	Bier 6	Bier 8	Bier 10	Bier 14	Bier 17
	[µg/l]							
Acetaldehyd	2388	5665	4189	4023	18585	2401	4234	4862
Propanol-1	19404	21037	23751	20564	16673	23702	19018	21328
Ethylacetat	29117	82303	29790	78823	35730	51794	32252	69634
2-Methylpropanol	34260	39990	18024	32078	23376	29014	34932	34860
3-Methylbutanol	62370	73212	43599	63937	57525	60412	49369	57085
2-Methylbutanol	17527	18683	13191	15795	14080	16793	13657	17215
2-Methylpropylacetat	248	1032	129	433	225	232	322	673
Buttersäureethylester	124	167	128	188	120	162	82	172
3-Methylbutylacetat	3870	9456	2356	6122	3663	2545	3672	7134
2-Methylbutylacetat	316	729	236	373	313	177	325	731
Hexansäureethylester	192	220	240	165	211	349	129	244
	Bier 18	Bier 19	Bier 21	Bier 23	Bier 29	Bier 33	Bier 34	
	[µg/l]							
Acetaldehyd	3861	8203	2756	5343	2460	9004	13800	
Propanol-1	17734	16361	18927	17584	21693	12734	12150	
Ethylacetat	32419	28725	32121	53780	58540	47571	48305	
2-Methylpropanol	26544	19602	35939	37957	32107	16676	21190	
3-Methylbutanol	53042	54633	50505	57556	61338	47730	33420	
2-Methylbutanol	12710	11721	13363	16365	16888	11874	11783	
2-Methylpropylacetat	232	134	196	525	468	294	306	
Buttersäureethylester	96	103	96	172	148	175	151	
3-Methylbutylacetat	2964	2722	2910	5350	5019	5290	3423	
2-Methylbutylacetat	219	206	201	498	452	438	370	
Hexansäureethylester	140	140	143	247	231	254	190	

Tab. T3: Verkostungsergebnisse der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere (Intensitäten der estrigen, phenolischen und hefigen Note gemittelt)

	Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere	DLG Gesamt	Estrige Note	Phenol. Note	Hefige Note
Bier 1	4,6	4,2	4,7	4,4	4,1	4,4	3,6	3,7	3,5
Bier 2	4,0	3,9	4,2	4,3	4,2	4,1	2,3	3,3	3,2
Bier 3	4,7	4,4	4,7	4,9	4,7	4,7	3,2	2,7	2,8
Bier 4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,5	4,4	2,4	1,8	1,8
Bier 5	4,3	4,2	4,4	4,3	4,2	4,3	3,2	2,5	2,0
Bier 6	3,8	3,7	3,8	4,0	3,7	3,8	2,3	2,9	3,6
Bier 7	4,0	3,9	4,2	4,6	4,2	4,1	2,9	3,1	3,3
Bier 8	4,6	4,3	4,7	4,9	4,7	4,6	3,0	3,4	3,4
Bier 9	3,9	4,2	4,4	4,4	4,2	4,2	2,4	2,9	2,6
Bier 10	4,2	4,1	4,0	4,2	4,4	4,2	2,7	2,7	2,3
Bier 11	4,1	4,1	4,4	4,0	4,1	4,1	2,9	3,1	2,3
Bier 12	3,6	3,9	4,2	4,2	3,9	3,9	3,2	2,9	3,1
Bier 13	4,0	4,0	4,1	4,3	4,1	4,1	2,9	3,3	3,0
Bier 14	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,4	3,7	3,7	2,8
Bier 15	3,9	4,2	3,7	4,1	4,0	4,0	3,6	2,7	2,7
Bier 16	4,3	4,1	4,1	4,5	4,4	4,3	3,1	3,0	2,2
Bier 17	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	2,6	3,3	2,8
Bier 18	3,6	3,8	4,2	4,3	4,3	4,0	2,9	2,3	2,4
Bier 19	4,0	4,3	4,6	4,9	4,4	4,4	3,1	2,8	2,3
Bier 20	3,9	3,7	4,0	4,3	4,1	4,0	2,4	2,2	2,2
Bier 21	4,3	4,3	4,6	4,5	4,3	4,4	3,1	3,6	3,1
Bier 22	4,3	3,9	4,4	4,7	4,3	4,3	3,5	2,6	2,9
Bier 23	3,9	4,1	4,0	3,9	3,9	4,0	2,5	2,1	3,2
Bier 24	4,0	4,1	4,3	4,3	4,3	4,2	2,9	3,3	2,6
Bier 25	4,2	4,0	4,4	4,5	4,2	4,2	2,9	2,2	2,4
Bier 26	3,7	4,1	4,2	4,6	4,1	4,1	3,3	3,1	2,5
Bier 27	4,0	4,0	4,1	4,3	4,0	4,1	2,8	3,0	2,4
Bier 28	4,0	4,2	4,0	4,4	4,1	4,1	2,7	2,8	2,9
Bier 29	4,3	4,2	4,3	4,4	4,2	4,3	2,6	3,0	2,9
Bier 30	3,9	3,9	4,2	4,3	4,0	4,0	3,6	3,2	2,8
Bier 31	3,9	3,6	3,7	3,8	4,1	3,8	3,1	2,6	3,1
Bier 32	3,9	3,9	4,3	4,2	4,2	4,1	3,0	3,2	3,0
Bier 33	4,3	4,4	4,5	4,6	4,4	4,4	2,7	3,3	1,6
Bier 34	4,2	4,2	4,3	4,2	3,7	4,1	2,8	2,8	2,6
Bier 35	3,9	3,9	4,0	4,2	4,2	4,0	3,3	2,6	2,1

Tab. T4: Bieraromastoffe nach Thum der Reihenuntersuchung handelsüblicher Weißbiere

	Bier 1	Bier 2	Bier 4	Bier 6	Bier 8
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
iso-Buttersäure	3964	2456	755	3398	2176
Buttersäure	1017	834	765	1245	1312
3-Methylbuttersäure	3095	2564	1347	3281	3183
2-Phenylethylacetat	228	168	179	412	106
Hexansäure	2794	754	2059	887	2579
Phenylethanol	66355	36781	37710	42558	70406
4-Vinylguajakol	4195	3266	427	2248	3380
	Bier 10	Bier 14	Bier 17	Bier 18	Bier 19
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
iso-Buttersäure	944	1450	2204	1677	1824
Buttersäure	548	408	1340	456	474
3-Methylbuttersäure	993	1246	2799	1697	1552
2-Phenylethylacetat	385	127	181	135	211
Hexansäure	1188	966	2842	1205	984
Phenylethanol	31223	26206	51584	26786	36849
4-Vinylguajakol	1629	1599	2468	710	1941
	Bier 21	Bier 23	Bier 29	Bier 33	Bier 34
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
iso-Buttersäure	964	911	1056	1201	1536
Buttersäure	789	572	788	656	570
3-Methylbuttersäure	2028	1710	1943	2255	1526
2-Phenylethylacetat	177	93	446	143	323
Hexansäure	987	1259	1608	1989	2113
Phenylethanol	34887	32707	21550	15850	16091
4-Vinylguajakol	3765	818	2873	2696	1769

Tab. T5: Ergebnisse der Wiederholung der Rangordnungsprüfung zu den additiven und synergistischen Effekten der Ester

	Ethylacetat [mg/l]		Ethylacetat [mg/l]		Ethylacetat [mg/l]	
	25		45		65	
3-Methylbutylacetat [mg/l]	Rang- ordnung	Inten- sität	Rang- ordnung	Inten- sität	Rang- ordnung	Inten- sität
2	3	3,1	2	2,7	3	2,1
4	1	3,6	1	3,3	1	2,3
6	2	3,3	3	2,5	2	2,1

Tab. T6: Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)
Ernte 2002

Sorte	Gerstenmalz Saloon	Tremie I	Tremie II	Tremie III	Shango I	Shango II
Herkunft	Weißensee	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich
Wassergehalt [%]	4,6	4,8	4,7	4,6	5,0	4,9
Extrakt FS lfr. [%]		82,4	83,2	82,7	82,2	82,1
Extrakt FS Trs. [%]		86,6	87,3	86,6	86,5	86,3
Extrakt GS lfr. [%]	79,1	81,3	80,9	81,4	81,0	80,9
Extrakt GS Trs. [%]	82,9	85,4	86,0	85,3	85,3	85,1
Mehl-Schrot-Differenz [%]		1,1	1,3	1,3	1,2	1,2
Farbe [EBC]	3,3	3,7	3,1	4,4	3,6	3,1
Kochfarbe [EBC]		5,2	4,7	5,5	5,1	5,0
pH-Wert	5,83	6,02	5,98	5,98	6,01	5,94
Verzuckerung [min]	< 10	< 17	< 15	<15	17	< 15
VZ 45 °C [%]	38,2	35,7	35,9	47,0	35,5	34,1
Eiweiß Trs. [%]	10,2	11,5	11,4	11,9	11,7	11,4
löslich N [mg/100 g]	687	768	720	727	769	720
Kolbachzahl [%]	42,1	41,8	39,5	38,1	41,1	39,5
Viskosität 8,6 % [mPas]	1,481	1,70	1,75	1,67	1,74	1,75
Aussehen Würze		klar	klar	klar	klar	klar
Sortierung > 2,5 mm [%]		97,5			96,4	
Sortierung < 2,2 mm [%]		0,4			0,5	

FS = Feinschrot
GS = Grobschrot
lfr. = lufttrocken
Trs. = Trockensubstanz

VZ 45 °C = Verhältniszahl 45 °C
löslich N = löslicher Stickstoff
Kolbachzahl = Eiweißlösungsgrad
Viskosität 8,6 % = Viskosität der Kongresswürze bei 8,6 % Extrakt

Tab. T7: Malzanalysen (2)
Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair II	Flair III
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen
Wassergehalt [%]	5,2	4,5	4,4	4,4	5,4	6,1
Extrakt FS lfr. [%]	80,8	81,4	81,3	81,3	79,2	79,7
Extrakt FS Trs. [%]	85,2	85,2	85,0	85,1	83,7	84,9
Extrakt GS lfr. [%]	78,4			77,5		
Extrakt GS Trs. [%]	82,7			81,3		
Mehl-Schrot-Differenz [%]	2,6			3,8		
Farbe [EBC]	3,5	4,4	4,6	4,5	4,2	5,3
Kochfarbe [EBC]	5,1			6,4		
pH-Wert	5,95	6,17	6,16	6,14	6,04	6,09
Verzuckerung [min]	17	< 10	< 10	<15	< 10	< 10
VZ 45 °C [%]	30,3	40,1	39,9	27,2	33,3	42
Eiweiß Trs. [%]	12,1	11,6	11,5	11,6	13,3	11,5
löslich N [mg/100 g]	770	688	744	676	776	678
Kolbachzahl [%]	39,8	37,1	40,4	36,6	36,5	36,8
Viskosität 8,6 % [mPas]	1,85	1,64	1,65	1,93	1,86	1,72
Aussehen Würze	klar	klar	klar	klar	klar	klar
Sortierung > 2,5 mm [%]	93,3					
Sortierung < 2,2 mm [%]	1,1					

FS = Feinschrot
GS = Grobschrot
lfr. = lufttrocken
Trs. = Trockensubstanz

VZ 45 °C = Verhältniszahl 45 °C
löslich N = löslicher Stickstoff
Kolbachzahl = Eiweißlösungsgrad
Viskosität 8,6 % = Viskosität der Kongresswürze bei 8,6 % Extrakt

Tab. T8: Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)
Ernte 2003

Sorte	Tremie I	Tremie II	Tremie III	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis II
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern
Wassergehalt [%]	4,8	4,9	5,0	4,6	5,4	4,6
Extrakt FS lfr. [%]	82,1	81,6	80,9	81,2	78,9	80,6
Extrakt FS Trs. [%]	86,2	85,8	85,1	85,1	83,3	84,5
Extrakt GS lfr. [%]	81,1	80,3	79,9	80,0	77,7	79,4
Extrakt GS Trs. [%]	85,2	84,5	84,1	83,9	82,1	83,3
Mehl-Schrot-Differenz [%]	1,0	1,3	1,0	1,2	1,2	1,2
Farbe [EBC]	3,1	3,8	3,6	4,0	2,7	4,1
Kochfarbe [EBC]	4,7				4,6	
pH-Wert	5,96	5,99			5,87	5,98
Verzuckerung [min]	< 15	< 15	< 15	< 15	22	< 15
VZ 45 °C [%]	34,1	34,0	38,0	35,3	35,3	38,1
Eiweiß Trs. [%]	12,3	12,8	12,9	12,7	13,6	13,2
löslich N [mg/100 g]	787	815	845	826	892	879
Kolbachzahl [%]	40,0	39,8	41,0	40,6	41,0	41,5
Viskosität 8,6 % [mPas]	1,76	1,81		1,86	1,97	1,77
Aussehen Würze	klar		schwach opal	klar	trüb	
Sortierung > 2,5 mm [%]				96,3	92,3	
Sortierung < 2,2 mm [%]				3,0	1,4	

FS = Feinschrot
GS = Grobschrot
lfr. = lufttrocken
Trs. = Trockensubstanz

VZ 45 °C = Verhältniszahl 45 °C
löslich N = löslicher Stickstoff
Kolbachzahl = Eiweißlösungsgrad
Viskosität 8,6 % = Viskosität der Kongresswürze bei 8,6 % Extrakt

Tab. T9: Malzanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)
Ernte 2003

Sorte	Ritmo I	Ritmo II	Maltop I	Maltop II	Dekan I	Dekan II
Herkunft	Skåne Schweden	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern
Wassergehalt [%]	4,9	4,7	4,1	5,2	4,7	5,0
Extrakt FS lfr. [%]	81,2	81,5	81,3	79,3	79,8	81,0
Extrakt FS Trs. [%]	85,4	85,5	84,8	84,1	83,7	85,6
Extrakt GS lfr. [%]	80,0	80,2	80,2	76,8	77,4	78,3
Extrakt GS Trs. [%]	84,2	84,2	83,7	81,6	81,3	82,9
Mehl-Schrot-Differenz [%]	1,2	1,3	1,1	2,5	2,4	2,7
Farbe [EBC]	3,1	3,5	3,6	3,4	3,5	3,7
Kochfarbe [EBC]	4,7					
pH-Wert	5,98			5,99		5,88
Verzuckerung [min]	<15	< 15	< 15	< 15	<15	< 15
VZ 45 °C [%]	33,9	33,8	27,0	31,9	32,0	33,2
Eiweiß Trs. [%]	11,9	11,5	11,8	13,4	12,3	11,9
löslich N [mg/100 g]	802	748	643	771	697	796
Kolbachzahl [%]	42,1	40,7	34,1	36,0	35,4	41,8
Viskosität 8,6 % [mPas]	1,84	1,79		1,82	1,86	1,78
Aussehen Würze	klar	klar	klar	klar	klar	klar
Sortierung > 2,5 mm [%]		93,2	92,6			
Sortierung < 2,2 mm [%]		5,9	6,5			

FS = Feinschrot

GS = Grobschrot

lfr. = lufttrocken

Trs. = Trockensubstanz

VZ 45 °C = Verhältniszahl 45 °C

löslich N = löslicher Stickstoff

Kolbachzahl = Eiweißlösungsgrad

Viskosität 8,6 % = Viskosität der Kongresswürze bei 8,6 % Extrakt

Tab. T10: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)

Ernte 2002

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich
Extrakt [GG-%]	12,08	12,11	12,15	12,31	11,94
E _s Schlauchen [GG-%]	2,81	2,93	2,82	2,99	2,70
Viskosität [mPas]	2,064	2,147	2,072	2,171	2,142
Viskosität 12 % [mPas]	2,053	2,130	2,051	2,123	2,153
Würze-pH-Wert	6,00	6,04	5,81	6,02	5,68
Farbe [EBC]	8,62	12,10	8,31	10,20	9,06
FAN [mg/l]	141,1	145,9	128,2	124,7	141,2
FAN 12 % [mg/l]	140,2	144,6	126,6	121,6	141,9
löslich N [mg/l]	967	971	874	924	1009
löslich N 12 % [mg/l]	961	962	863	901	1014
Diacetyl [mg/l]	0,13	0,06	0,08	0,08	0,16
Pentandion [mg/l]	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
Zink [mg/l]	0,26	0,22	0,17	0,18	0,21
Extrakt PfV [GG-%]	9,7	9,0	9,3	9,0	9,4
Viskosität PfV [mPas]	1,774	1,744	1,729	1,741	1,803
Läuterdauer [min]	155	130	135	135	210

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T11: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)

Ernte 2002

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich
Extrakt [GG-%]	12,23	12,39	12,12	12,19	12,21
E _s Schlauchen [GG-%]	2,86	3,37	2,95	2,99	2,93
Viskosität [mPas]	2,236	2,163	2,127	2,171	2,200
Viskosität 12 % [mPas]	2,198	2,106	2,110	2,141	2,165
Würze-pH-Wert	6,04	6,01	6,02	6,00	6,04
Farbe [EBC]	11,1	9,58	10,50	8,21	10,70
FAN [mg/l]	138	155,1	146,3	108	105,1
FAN 12 % [mg/l]	135,4	150,2	144,9	106,3	103,3
löslich N [mg/l]	1048	917	934	824	875
löslich N 12 % [mg/l]	1028	888	925	811	860
Diacetyl [mg/l]	0,17	0,08	0,19	0,07	0,06
Pentandion [mg/l]	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01
Zink [mg/l]	0,17	0,22	0,21	0,16	0,14
Extrakt PfV [GG-%]	9,2	9,6	9,1	9,5	9,0
Viskosität PfV [mPas]	1,808	1,798	1,743	1,809	1,765
Läuterdauer [min]	155	155	130	170	150

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T12: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)

Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt
Extrakt [GG-%]	11,96	12,30	12,38	12,01	12,29
E _s Schlauchen [GG-%]	2,56	2,86	2,75	2,96	3,05
Viskosität [mPas]	2,139	2,034	2,075	2,308	2,315
Viskosität 12 % [mPas]	2,148	1,993	2,022	2,307	2,262
Würze-pH-Wert	5,98	6,01	6,01	6,01	6,02
Farbe [EBC]	8,39	12,90	13,30	12,30	11,30
FAN [mg/l]	129	134,6	137,5	120,9	118,5
FAN 12 % [mg/l]	129,4	131,3	133,3	120,8	115,7
löslich N [mg/l]	852	920	899	852	877
löslich N 12 % [mg/l]	855	898	871	851	856
Diacetyl [mg/l]	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10
Pentandion [mg/l]	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Zink [mg/l]	0,18	0,12	0,10	0,16	0,20
Extrakt PfV [GG-%]	9,7	9,4	9,3	9,2	9,1
Viskosität PfV [mPas]	1,835	1,704	1,712	1,871	1,834
Läuterdauer [min]	185	90	90	255	195

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T13: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)
Ernte 2002

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Extrakt [GG-%]	11,87	12,34	12,26	11,87
E _s Schlauchen [GG-%]	2,75	3,03	2,72	2,79
Viskosität [mPas]	2,089	2,215	2,109	2,010
Viskosität 12 % [mPas]	2,112	2,16	2,071	2,027
Würze-pH-Wert	5,90	5,89	5,90	6,01
Farbe [EBC]	9,52	12,80	13,20	10,2
FAN [mg/l]	129,9	142,9	137	127,8
FAN 12 % [mg/l]	131,3	139,0	134,1	129,2
löslich N [mg/l]	983	1030	913	902
löslich N 12 % [mg/l]	994	1002	894	912
Diacetyl [mg/l]	0,14	0,13	0,15	0,13
Pentandion [mg/l]	0,03	0,02	0,03	0,03
Zink [mg/l]	0,17	0,16	0,16	0,17
Extrakt PfV [GG-%]	9,3	9,0	9,1	9,0
Viskosität PfV [mPas]	1,764	1,762	1,721	1,681
Läuterdauer [min]	195	150	140	150

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T14: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)

Ernte 2003

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich
Extrakt [GG-%]	11,69	12,10	12,26	12,03	11,86	12,46
E _s Schlauchen [GG-%]	2,61	2,89	2,67	2,68	2,83	2,91
Viskosität [mPas]	2,024	2,114	2,225	2,096	2,121	2,239
Viskosität 12 % [mPas]	2,070	2,100	2,185	2,139	2,145	2,164
Würze-pH-Wert	5,83	5,89	5,99	6,11	6,05	5,97
Farbe [EBC]	7,41	8,19	7,86	8,12	8,89	11,5
FAN [mg/l]	127,2	123,4	118,1	122,4	124,3	131
FAN 12 % [mg/l]	130,6	122,4	115,6	122,1	125,8	126,2
löslich N [mg/l]	902	939	898	951	955	1003
löslich N 12 % [mg/l]	926	931	879	949	966	966
Diacetyl [mg/l]	0,16	0,12	0,13	0,10	0,10	0,11
Pentandion [mg/l]	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Zink [mg/l]	0,16	0,13	0,16	0,16	0,10	0,15
Extrakt PfV [GG-%]	9,4	9,1	9,4	9,2	9,3	9,1
Viskosität PfV [mPas]	1,749	1,737	1,823	1,743	1,785	1,777
Läuterdauer [min]	125	150	205	145	170	135

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T15: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)
Ernte 2003

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern
Extrakt [GG-%]	11,99	11,90	12,03	11,84	11,94	11,99
E _s Schlauchen [GG-%]	2,84	3,65	3,65	2,61	2,51	2,60
Viskosität [mPas]	2,105	2,037	2,402	2,421	2,135	2,185
Viskosität 12 % [mPas]	2,106	2,051	2,402	2,456	2,147	2,186
Würze-pH-Wert	5,85	5,99	6,01	5,99	5,98	5,91
Farbe [EBC]	10,00	8,58	9,93	11,60	8,56	9,10
FAN [mg/l]	133,9	135,1	151,3	147,9	149,5	152,8
FAN 12 % [mg/l]	134,0	136,2	150,9	149,9	150,3	154,9
löslich N [mg/l]	976	915	980	1021	910	944
löslich N 12 %[mg/l]	977	923	978	1035	915	957
Diacetyl [mg/l]	0,15	0,07	0,06	0,09	0,08	0,12
Pentandion [mg/l]	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
Zink [mg/l]	0,13	0,15	0,16	0,13	0,16	0,13
Extrakt PfV [GG-%]	9,1	9,0	9,6	9,1	9,4	9,3
Viskosität PfV [mPas]	1,741	1,696	1,983	1,941	1,798	1,813
Läuterdauer [min]	145	165	270	290	145	205

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T16: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)

Ernte 2003

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skäne Schweden	Skäne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern
Extrakt [GG-%]	12,36	11,99	12,16	12,09	11,57	12,05
E _s Schlauchen [GG-%]	2,90	2,97	3,11	3,41	2,71	2,67
Viskosität [mPas]	2,371	2,310	2,156	2,13	2,068	2,084
Viskosität 12 % [mPas]	2,307	2,313	2,133	2,116	2,137	2,075
Würze-pH-Wert	5,94	6,03	6,07	6,02	5,95	6,02
Farbe [EBC]	10,70	12,30	11,20	6,67	8,71	8,78
FAN [mg/l]	126,9	125,4	134,9	131,4	122,7	125,7
FAN 12 % [mg/l]	123,2	125,5	133,1	130,4	127,3	125,2
löslich N [mg/l]	979	1024	914	892	827	878
löslich N 12 % [mg/l]	950	1025	902	885	858	874
Diacetyl [mg/l]	0,06	0,07	0,07	0,05	0,14	0,13
Pentandion [mg/l]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
Zink [mg/l]	0,16	0,13	0,15	0,14	0,16	0,20
Extrakt PfV [GG-%]	9,3	9,1	9,1	8,9	9,55	9,5
Viskosität PfV [mPas]	1,885	1,861	1,756	1,724	1,807	1,767
Läuterdauer [min]	260	185	170	195	170	215

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T17: Würzeanalysen, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)
Ernte 2003

Sorte	Maltop II	Maltop II	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Thüringen	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern
Extrakt [GG-%]	11,94	12,04	11,79	12,05	11,86	11,98
E _s Schlauchen [GG-%]	2,74	4,49	3,02	3,97	4,20	3,40
Viskosität [mPas]	2,186	2,226	2,123	2,212	2,159	2,162
Viskosität 12 % [mPas]	2,195	2,220	2,159	2,206	2,183	2,166
Würze-pH-Wert	6,01	5,99	5,97	6,05	5,98	5,97
Farbe [EBC]	8,43	9,10	8,79	8,26	7,93	7,68
FAN [mg/l]	130,3	133,4	123,8	127,5	125,0	128,9
FAN 12 % [mg/l]	131,0	133,0	126,0	127,0	126,5	129,1
löslich N [mg/l]	1073	943	803	842	857	857
löslich N 12 % [mg/l]	1078	940	817	839	867	858
Diacetyl [mg/l]	0,11	0,07	0,09	0,07	0,07	0,07
Pentandion [mg/l]	0,02	0,02	0,015	0,02	0,02	0,02
Zink [mg/l]	0,30	0,30	0,21	0,25	0,13	0,13
Extrakt PfV [GG-%]	9,3	8,8	9,0	8,7	8,7	8,8
Viskosität PfV [mPas]	1,818	1,771	1,757	1,750	1,737	1,740
Läuterdauer [min]	230	170	165	140	160	155

E_s = Scheinbarer Extrakt

Viskosität 12 % = Viskosität auf 12 % Extrakt berechnet

FAN = Freier Amino Stickstoff

FAN 12 % = Freier Amino Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

löslich N = löslicher Stickstoff

löslich N 12 % = löslicher Stickstoff auf 12 % Extrakt berechnet

PfV = Pfanne-Voll-Würze

Tab. T18: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)
Ernte 2002

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	45	42	30	31	41
2-me-Butanal	(A,W)	19	17	13	13	16
Methional	(A)	46	21	17	16	17
Benzaldehyd	(A)	0,8	1,5	1,1	1,4	1,6
2-Phenylethanal	(A,W)	73	66	60	48	57
Σ Streckeraldehyde		184	148	121	109	132
Pentanal	(A)	3,7	2,2	3,2	2,0	3,7
2-Pentanon	(A)	Sp.	0,8	0,5	0,7	1,0
Hexanal	(A)	3,3	2,8	3,2	2,6	6,8
Heptanal	(A)	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	Sp.	0,7	0,3	0,6	0,4
2-Furfural	(T)	35	38	32	22	41
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	0,8	Sp.	1,0
γ-Nonalacton	(A,W)	2,5	2,8	3,4	2,1	3,6
3-me-Butanol	(A)	38	15	3,7	3,4	4,1
2-me-Butanol	(A)	13	5,3	1,0	1,7	1,3
1-Pentanol	(A)	Sp.	0,3	Sp.	0,2	0,6
1-Hexanol	(A)	Sp.	0,3	0,1	0,2	0,2
1-Octanol	(A)	0,5	1,6	1,3	1,6	1,9
1-Octen-3-ol	(A)	Sp.	0,1	0,2	Sp.	0,2
Phenylethanol	(A)	76	132	61	49	56

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T19: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)
Ernte 2002

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	32	43	31	49	28
2-me-Butanal	(A,W)	12	17	13	20	12
Methional	(A)	14	47	8,9	19	15
Benzaldehyd	(A)	1,2	0,6	1,2	1,2	0,9
2-Phenylethanal	(A,W)	51	78	55	49	56
Σ Streckeraldehyde		111	185	109	139	111
Pentanal	(A)	2,2	3,3	2,0	6,3	1,9
2-Pentanon	(A)	0,6	Sp.	0,7	1,3	0,6
Hexanal	(A)	3,0	3,4	2,4	5,7	2,6
Heptanal	(A)	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,6	0,9	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural	(T)	34	41	31	19	23
2-ac-Furan	(T)	Sp.	n.a.	n.a.	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	2,3	3,9	2,3	3,6	3,1
3-me-Butanol	(A)	8,1	8,5	Sp.	4,5	Sp.
2-me-Butanol	(A)	2,6	2,0	Sp.	10	Sp.
1-Pentanol	(A)	0,2	Sp.	0,2	Sp.	0,3
1-Hexanol	(A)	0,1	n.n.	0,1	Sp.	0,1
1-Octanol	(A)	1,4	0,7	1,3	1,4	1,0
1-Octen-3-ol	(A)	0,1	1,1	Sp.	Sp.	0,1
Phenylethanol	(A)	65	60	54	50	55

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T20: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)
Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	36	31	33	35	36
2-me-Butanal	(A,W)	15	15	16	15	15
Methional	(A)	51	15	n.a.	17	14
Benzaldehyd	(A)	0,9	1,2	1,0	1,7	1,1
2-Phenylethanal	(A,W)	62	70	72	58	64
Σ Streckeraldehyde		167	132	122	127	130
Pentanal	(A)	3,3	1,9	1,9	3,9	2,2
2-Pentanon	(A)	Sp.	0,6	0,8	0,6	0,7
Hexanal	(A)	3,2	2,4	2,2	8,7	2,6
Heptanal	(A)	0,5	0,4	0,6	0,8	0,5
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	Sp.	0,8	0,7	0,7	0,6
2-Furfural	(T)	32	26	25	23	26
2-ac-Furan	(T)	Sp.	n.a.	n.a.	0,9	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	2,5	1,4	1,1	2,5	1,8
3-me-Butanol	(A)	1,7	1,6	2,1	12	4,9
2-me-Butanol	(A)	Sp.	Sp.	Sp.	3,6	1,7
1-Pentanol	(A)	Sp.	0,2	0,2	0,4	0,2
1-Hexanol	(A)	Sp.	0,1	0,2	0,1	0,2
1-Octanol	(A)	1,7	1,3	1,1	2,0	1,2
1-Octen-3-ol	(A)	Sp.	0,1	Sp.	0,2	0,1
Phenylethanol	(A)	77	51	49	79	78

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T21: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)
Ernte 2002

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Konzentrationen in µg/l					
3-me-Butanal	(A,W)	39	34	33	33
2-me-Butanal	(A,W)	17	14	15	15
Methional	(A)	21	15	15	16
Benzaldehyd	(A)	1,8	1,2	1,5	1,2
2-Phenylethanal	(A,W)	69	61	71	68
Σ Streckeraldehyde		148	125	135	133
Pentanal	(A)	3,4	2,1	2,1	2,0
2-Pentanon	(A)	1,5	0,8	0,6	0,9
Hexanal	(A)	4,3	2,9	2,6	2,3
Heptanal	(A)	0,5	0,5	0,6	0,6
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,9	0,7	0,8	0,7
2-Furfural	(T)	43	35	28	27
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	2,9	2,1	2,0	1,5
3-me-Butanol	(A)	12	4,3	1,3	3,2
2-me-Butanol	(A)	3,4	1,8	Sp.	1,9
1-Pentanol	(A)	0,5	0,3	0,2	0,3
1-Hexanol	(A)	0,1	0,2	0,1	0,2
1-Octanol	(A)	2,1	1,3	1,6	1,3
1-Octen-3-ol	(A)	0,2	0,0	0,1	Sp.
Phenylethanol	(A)	62	57	56	55

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T22: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)
Ernte 2003

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	27	28	32	40	41
2-me-Butanal	(A,W)	12	12	13	17	17
Methional	(A)	16	18	21	20	22
Benzaldehyd	(A)	1,2	1,0	1,2	3,0	1,7
2-Phenylethanal	(A,W)	57	52	56	56	73
Σ Streckeraldehyde		114	111	123	136	155
Pentanal	(A)	3,5	2,1	3,4	2,4	2,3
2-Pentanon	(A)	0,9	0,7	0,6	0,9	1,7
Hexanal	(A)	3,1	3,0	2,9	3,3	2,8
Heptanal	(A)	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,4	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural	(T)	31	28	31	27	43
2-ac-Furan	(T)	0,9	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	3,3	2,4	3,3	3,0	2,5
3-me-Butanol	(A)	3,9	2,5	3,6	2,8	2,3
2-me-Butanol	(A)	1,4	Sp.	6,0	Sp.	Sp.
1-Pentanol	(A)	0,5	0,4	0,8	0,4	0,3
1-Hexanol	(A)	0,1	0,2	Sp.	0,2	0,2
1-Octanol	(A)	1,4	1,1	1,4	3,2	1,9
1-Octen-3-ol	(A)	0,2	0,1	Sp.	0,1	0,1
Phenylethanol	(A)	52	53	68	78	54

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T23: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)
Ernte 2003

Sorte	Tremie III	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	28	29	31	36	38
2-me-Butanal	(A,W)	12	12	12	14	17
Methional	(A)	14	15	19	49	15
Benzaldehyd	(A)	1,1	1,2	1,3	0,6	1,4
2-Phenylethanal	(A,W)	46	55	65	67	64
Σ Streckeraldehyde		102	112	128	167	136
Pentanal	(A)	2,0	2,0	2,3	3,0	2,3
2-Pentanon	(A)	1,0	0,6	Sp.	Sp.	0,5
Hexanal	(A)	2,3	2,5	3,0	3,0	3,9
Heptanal	(A)	0,5	0,4	0,8	0,6	0,5
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,7	0,0	0,8	0,7	0,4
2-Furfural	(T)	22	30	38	59	49
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	Sp.	n.a.	0,6
γ-Nonalacton	(A,W)	1,6	2,2	3,3	3,6	3,1
3-me-Butanol	(A)	3,9	Sp.	2,6	44	1,2
2-me-Butanol	(A)	1,7	Sp.	Sp.	11	Sp.
1-Pentanol	(A)	0,3	0,2	0,3	Sp.	0,3
1-Hexanol	(A)	0,1	0,2	0,2	n.n.	0,1
1-Octanol	(A)	1,3	1,3	n.a.	0,8	1,6
1-Octen-3-ol	(A)	Sp.	0,1	0,1	n.n.	0,1
Phenylethanol	(A)	43	52	62	133	87

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T24: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)
Ernte 2003

Sorte	Atlantis II	Atlantis II	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II
Herkunft	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern	Skåne Schweden	Skåne Schweden	Lolland Dänemark

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	41	35	38	26	31
2-me-Butanal	(A,W)	18	15	14	9,1	12
Methional	(A)	21	18	20	11	13
Benzaldehyd	(A)	1,8	1,1	2,3	1,1	1,0
2-Phenylethanal	(A,W)	76	63	56	35	56
Σ Streckeraldehyde		157	133	130	83	113
Pentanal	(A)	3,6	2,1	4,1	2,0	2,0
2-Pentanon	(A)	0,6	0,8	1,0	0,7	0,6
Hexanal	(A)	3,4	2,5	7,7	2,9	2,5
Heptanal	(A)	0,6	0,4	0,7	0,6	0,4
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,4	Sp.	0,6	0,7	1,0
2-Furfural	(T)	42	41	40	23	31
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	1,2	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	2,9	1,9	3,4	2,5	2,0
3-me-Butanol	(A)	2,4	1,8	3,1	3,0	2,7
2-me-Butanol	(A)	6,5	Sp.	1,6	Sp.	Sp.
1-Pentanol	(A)	Sp.	0,3	Sp.	0,3	0,2
1-Hexanol	(A)	Sp.	0,2	Sp.	0,1	0,1
1-Octanol	(A)	2,0	1,2	2,7	1,3	1,1
1-Octen-3-ol	(A)	Sp.	0,1	0,2	Sp.	0,1
Phenylethanol	(A)	60	55	77	51	55

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T25: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)
Ernte 2003

Sorte	Ritmo II	Maltop I	Maltop I	Maltop II	Maltop II
Herkunft	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern	Thüringen	Thüringen

Konzentrationen in µg/l						
3-me-Butanal	(A,W)	35	37	41	39	37
2-me-Butanal	(A,W)	13	16	16	16	14
Methional	(A)	14	22	24	20	13
Benzaldehyd	(A)	1,4	1,2	1,9	2,2	1,6
2-Phenylethanal	(A,W)	59	69	82	67	64
Σ Streckeraldehyde		123	144	165	144	130
Pentanal	(A)	2,5	3,2	3,6	3,7	2,6
2-Pentanon	(A)	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6
Hexanal	(A)	3,2	2,9	3,3	3,4	3,3
Heptanal	(A)	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
2-Furfural	(T)	39	34	37	32	31
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	1,8	2,7	3,0	2,6	1,8
3-me-Butanol	(A)	1,7	3,9	2,3	1,7	1,7
2-me-Butanol	(A)	Sp.	5,2	6,0	6,2	Sp.
1-Pentanol	(A)	0,4	0,8	Sp.	Sp.	0,3
1-Hexanol	(A)	0,2	Sp.	Sp.	Sp.	0,1
1-Octanol	(A)	n.a.	1,5	2,2	2,5	n.a.
1-Octen-3-ol	(A)	0,2	0,3	Sp.	Sp.	0,1
Phenylethanol	(A)	62	55	63	43	49

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen
W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool
T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren
n.a. = nicht auswertbar
n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T26: Würzearomastoffe, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (9)
Ernte 2003

Sorte	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern

Konzentrationen in µg/l					
3-me-Butanal	(A,W)	22	32	26	28
2-me-Butanal	(A,W)	10	13	10	11
Methional	(A)	17	16	13	13
Benzaldehyd	(A)	1,0	1,6	1,0	1,4
2-Phenylethanal	(A,W)	42	55	51	52
Σ Streckeraldehyde		91	117	101	105
Pentanal	(A)	3,1	2,2	2,0	2,5
2-Pentanon	(A)	0,7	0,7	0,6	0,7
Hexanal	(A)	2,8	3,5	2,8	3,8
Heptanal	(A)	0,5	0,6	0,6	0,8
tr,2-cis,6-Nonadienal	(A)	0,7	0,5	0,4	0,4
2-Furfural	(T)	19	26	24	23
2-ac-Furan	(T)	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
γ-Nonalacton	(A,W)	1,8	2,8	2,3	2,4
3-me-Butanol	(A)	6,1	3,3	2,2	1,8
2-me-Butanol	(A)	1,8	1,5	1,3	Sp.
1-Pentanol	(A)	0,5	0,4	0,2	0,4
1-Hexanol	(A)	Sp.	0,2	0,1	0,2
1-Octanol	(A)	1,2	1,7	n.a.	n.a.
1-Octen-3-ol	(A)	0,2	0,3	0,1	0,1
Phenylethanol	(A)	43	55	33	32

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen

W = Indikator für therm. Belastung im Whirlpool

T = Indikator für therm. Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Sp. = Spuren

n.a. = nicht auswertbar

n. n. = nicht nachweisbar

Tab. T27: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)
Ernte 2002

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich
Konzentrationen in mg/l					
4-Vinylguaiacol	4,36	4,28	2,23	2,21	3,52
Ferulasäure	n.a.	4,58	2,98	2,94	4,02
Acetaldehyd	9,57	12,21	7,53	10,70	15,20
Propanol-1	15,82	16,69	14,00	15,03	16,70
Ethylacetat	23,25	27,97	24,57	22,23	29,50
2-Methylpropanol	40,11	25,13	28,79	29,54	40,20
3-Methylbutanol	58,49	46,71	48,19	48,02	56,50
2-Methylbutanol	18,14	14,38	15,16	15,29	18,40
2-Methylpropylacetat	0,42	0,32	0,30	0,29	0,45
Buttersäureethylester	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07
3-Methylbutylacetat	3,06	3,55	2,73	2,93	4,10
2-Methylbutylacetat	0,36	0,40	0,31	0,35	0,44
Hexansäureethylester	0,15	0,21	0,16	0,20	0,17
Summe HA	132,55	102,92	106,13	107,88	131,80

HA = Höhere Alkohole

Tab. T28: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)
Ernte 2002

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich

Konzentrationen in mg/l					
4-Vinylguaiacol	3,65	2,01	2,35	3,57	2,85
Ferulasäure	n.a.	2,77	3,19	4,87	n.a.
Acetaldehyd	15,83	9,18	15,96	6,50	4,48
Propanol-1	16,33	16,35	15,74	14,91	12,30
Ethylacetat	24,59	37,82	36,34	21,66	21,03
2-Methylpropanol	25,12	38,16	36,54	30,07	28,20
3-Methylbutanol	50,40	64,64	65,07	39,16	43,05
2-Methylbutanol	13,46	18,72	20,29	15,25	14,92
2-Methylpropylacetat	0,32	0,57	0,49	0,32	0,27
Buttersäureethylester	0,07	0,09	0,09	0,06	0,06
3-Methylbutylacetat	3,81	4,90	4,45	2,73	2,25
2-Methylbutylacetat	0,41	0,48	0,54	0,36	0,30
Hexansäureethylester	0,28	0,17	0,26	0,18	0,17
Summe HA	105,30	137,87	137,65	99,38	98,48

HA = Höhere Alkohole

Tab. T29: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)
Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt

Konzentrationen in mg/l					
4-Vinylguaiacol	1,82	3,65	2,87	2,33	2,20
Ferulasäure	2,58	4,30	3,72	3,02	2,84
Acetaldehyd	7,16	9,44	24,98	12,69	10,44
Propanol-1	18,95	14,33	14,61	14,00	14,56
Ethylacetat	19,44	37,02	40,10	24,20	29,38
2-Methylpropanol	37,06	28,15	27,15	31,80	29,56
3-Methylbutanol	55,52	45,66	47,41	60,22	49,11
2-Methylbutanol	16,68	14,66	14,69	17,37	15,54
2-Methylpropylacetat	0,34	0,44	0,46	0,32	0,37
Buttersäureethylester	0,07	0,09	0,09	0,05	0,07
3-Methylbutylacetat	2,66	3,80	3,97	3,33	3,44
2-Methylbutylacetat	0,20	0,47	0,46	0,33	0,40
Hexansäureethylester	0,14	0,20	0,19	0,13	0,20
Summe HA	128,21	102,80	103,86	123,39	108,77

HA = Höhere Alkohole

Tab. T30: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)
Ernte 2002

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Konzentrationen in mg/l				
4-Vinylguaiacol	3,94	4,18	2,35	2,23
Ferulasäure	4,69	4,86	4,45	3,39
Acetaldehyd	13,45	9,63	8,76	15,73
Propanol-1	15,12	15,04	14,40	15,35
Ethylacetat	21,12	31,90	37,90	29,31
2-Methylpropanol	30,83	29,56	32,11	33,70
3-Methylbutanol	44,37	45,80	44,36	42,76
2-Methylbutanol	15,03	15,20	16,37	16,89
2-Methylpropylacetat	0,31	0,40	0,48	0,46
Buttersäureethylester	0,06	0,08	0,09	0,08
3-Methylbutylacetat	2,75	3,34	3,60	3,27
2-Methylbutylacetat	0,34	0,42	0,49	0,51
Hexansäureethylester	0,16	0,20	0,24	0,25
Summe HA	105,35	105,60	107,24	108,69

HA = Höhere Alkohole

Tab. T31: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)
Ernte 2003

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich
Konzentrationen in mg/l						
4-Vinylguaiaicol	2,20	2,25	4,13	4,18	2,49	2,63
Ferulasäure	2,43	3,08	n.a.	4,33	3,42	n.a.
Acetaldehyd	13,08	11,10	9,88	20,44	6,54	5,85
Propanol-1	13,65	13,35	16,97	14,50	15,02	16,36
Ethylacetat	18,27	23,05	17,89	21,55	24,28	22,30
2-Methylpropanol	31,38	29,32	35,22	28,67	33,34	34,36
3-Methylbutanol	46,56	36,17	47,99	43,41	40,14	41,94
2-Methylbutanol	15,52	14,78	17,46	13,92	15,71	17,11
2-Methylpropylacetat	0,30	0,33	0,27	0,28	0,32	0,31
Buttersäureethylester	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06
3-Methylbutylacetat	2,63	2,82	2,43	2,44	2,39	2,79
2-Methylbutylacetat	0,34	0,38	0,33	0,29	0,34	0,40
Hexansäureethylester	0,20	0,22	0,17	0,15	0,17	0,21
Summe HA	107,11	93,63	117,64	100,51	104,21	109,76

HA = Höhere Alkohole

Tab. T32: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)
Ernte 2003

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern

Konzentrationen in mg/l						
4-Vinylguaiaicol	3,38	3,05	2,68	2,87	3,29	2,97
Ferulasäure	3,58	2,70	n.a.	n.a.	3,88	3,28
Acetaldehyd	18,53	9,47	3,70	4,22	10,82	8,99
Propanol-1	14,70	15,04	18,00	15,58	14,75	15,76
Ethylacetat	25,95	25,02	25,50	18,30	20,34	25,25
2-Methylpropanol	31,92	39,02	43,40	29,42	29,27	32,02
3-Methylbutanol	41,10	50,21	62,00	52,43	45,57	45,84
2-Methylbutanol	16,31	19,10	19,60	14,20	14,46	15,53
2-Methylpropylacetat	0,36	0,46	0,48	0,25	0,29	0,37
Buttersäureethylester	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06
3-Methylbutylacetat	2,70	3,02	4,00	2,98	2,77	3,45
2-Methylbutylacetat	0,38	0,45	0,41	0,30	0,33	0,45
Hexansäureethylester	0,17	0,18	0,16	0,17	0,16	0,21
Summe HA	104,03	123,37	143,00	111,63	104,05	109,15

HA = Höhere Alkohole

Tab. T33: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)
Ernte 2003

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skåne Schweden	Skåne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern
Konzentrationen in mg/l						
4-Vinylguaiacol	2,80	3,29	3,38	3,15	2,16	2,32
Ferulasäure	3,28	3,68	n.a.	2,72	2,85	3,36
Acetaldehyd	5,64	16,82	12,07	6,36	10,07	11,81
Propanol-1	13,71	13,53	13,82	14,01	17,55	15,27
Ethylacetat	26,19	25,16	27,08	24,39	20,84	22,52
2-Methylpropanol	32,88	27,96	29,30	37,24	33,55	30,14
3-Methylbutanol	60,11	53,33	43,38	61,98	48,34	43,25
2-Methylbutanol	16,74	14,75	14,90	19,71	15,21	14,68
2-Methylpropylacetat	0,34	0,31	0,33	0,41	0,40	0,34
Buttersäureethylester	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07
3-Methylbutylacetat	3,69	3,49	2,94	3,41	3,06	2,79
2-Methylbutylacetat	0,33	0,33	0,35	0,41	0,40	0,38
Hexansäureethylester	0,14	0,16	0,17	0,15	0,21	0,20
Summe HA	123,44	109,57	101,40	132,93	114,64	103,34

HA = Höhere Alkohole

Tab. T34: Phenolische Komponenten, höhere Alkohole, Ester, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)
Ernte 2003

Sorte	Maltop II	Maltop II	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Thüringen	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern
Konzentrationen in mg/l						
4-Vinylguaiacol	2,80	2,86	2,28	2,17	2,43	2,42
Ferulasäure	3,59	4,41	2,76	2,53	3,63	3,20
Acetaldehyd	14,01	6,65	3,14	16,24	12,88	7,54
Propanol-1	16,02	14,38	17,03	13,17	12,56	13,54
Ethylacetat	24,91	19,53	26,19	19,62	21,89	17,68
2-Methylpropanol	33,14	36,77	34,21	37,38	33,23	33,81
3-Methylbutanol	41,27	41,38	39,50	44,06	42,07	38,50
2-Methylbutanol	15,78	16,91	15,45	17,97	16,37	17,26
2-Methylpropylacetat	0,37	0,39	0,41	0,36	0,39	0,29
Buttersäureethylester	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06
3-Methylbutylacetat	2,82	2,59	2,52	2,00	2,54	1,76
2-Methylbutylacetat	0,40	0,40	0,39	0,32	0,39	0,31
Hexansäureethylester	0,17	0,19	0,17	0,17	0,20	0,17
Summe HA	106,20	109,44	106,19	112,58	104,23	103,11

HA = Höhere Alkohole

Tab. T35: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)

Ernte 2002

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	1,2	1,0	1,0	0,6	0,5
Glucose	8,9	6,2	7,3	7,2	6,7
Saccharose	2,1	1,7	2,1	2,4	2,1
Maltose	50,1	45,9	51,9	48,9	57,9
Maltotriose	8,5	9,4	9,1	8,6	7,4
Summe der Zucker	70,8	64,2	71,4	67,7	74,6

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	1,5	1,3	1,3	0,8	0,6
Glucose	11,1	8,3	9,5	9,8	8,5
Saccharose	2,6	2,3	2,7	3,3	2,7
Maltose	62,4	61,8	67,8	66,9	73,5
Maltotriose	10,6	12,6	11,9	11,8	9,4
Summe der Zucker	88,2	86,4	93,3	92,6	94,8

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	17,23	13,86	14,57	15,07	12,47
Anteil Maltose [%]	70,76	71,50	72,69	72,23	77,61

Tab. T36: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)

Ernte 2002

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	0,4	1,0	0,5	1,1	0,9
Glucose	6,6	7,7	7,0	7,3	6,6
Saccharose	1,9	2,3	2,0	2,5	2,1
Maltose	55,2	47,5	46,3	45,6	45,4
Maltotriose	8,7	8,4	8,0	9,1	7,4
Summe der Zucker	72,8	66,9	63,6	65,6	62,4

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	0,5	1,3	0,6	1,4	1,2
Glucose	8,8	9,9	9,3	9,4	8,9
Saccharose	2,5	3,0	2,6	3,2	2,9
Maltose	73,4	61,3	61,6	58,5	61,6
Maltotriose	11,6	10,8	10,6	11,7	10,0
Summe der Zucker	96,8	86,3	84,8	84,2	84,6

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	12,23	16,44	14,75	16,62	15,37
Anteil Maltose [%]	75,82	71,00	72,67	69,51	72,81

Tab. T37: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)

Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	1,4	0,5	0,5	0,9	1,0
Glucose	8,2	6,4	6,5	7,8	5,8
Saccharose	1,4	2,6	2,6	2,0	2,2
Maltose	46,7	50,7	49,1	50,4	50,9
Maltotriose	8,6	9,7	9,7	9,7	9,2
Summe der Zucker	66,3	69,9	68,4	70,8	69,1

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l					
Fructose	1,7	0,7	0,7	1,2	1,4
Glucose	10,1	8,4	8,7	10,2	7,8
Saccharose	1,7	3,4	3,5	2,6	3,0
Maltose	57,6	66,3	65,4	65,8	68,7
Maltotriose	10,6	12,7	12,9	12,7	12,4
Summe der Zucker	81,7	91,5	91,1	92,4	93,3

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	16,59	13,59	14,04	15,11	13,02
Anteil Maltose [%]	70,44	72,53	71,78	71,19	73,66

Tab. T38: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)

Ernte 2002

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l				
Fructose	1,0	0,5	0,5	0,7
Glucose	6,6	6,6	6,3	5,2
Saccharose	1,5	1,9	2,0	2,5
Maltose	48,7	45,9	48,0	49,2
Maltotriose	8,8	8,8	9,1	9,4
Summe der Zucker	66,6	63,7	65,9	67,0

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l				
Fructose	1,3	0,7	0,7	0,9
Glucose	8,4	9,0	8,5	6,9
Saccharose	1,9	2,6	2,7	3,3
Maltose	62,2	62,9	64,7	64,9
Maltotriose	11,2	12,1	12,3	12,4
Summe der Zucker	85,0	87,3	88,8	88,4

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	13,66	14,13	13,35	12,54
Anteil Maltose [%]	73,12	72,06	72,84	73,43

Tab. T39: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)

Ernte 2003

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,0	0,9	1,6	1,5	1,2	1,0
Glucose	6,7	7,4	6,9	6,8	7,3	7,7
Saccharose	2,3	2,2	1,8	1,7	2,4	2,9
Maltose	52,6	48,2	53,2	51,3	50,5	50,3
Maltotriose	9,1	8,3	8,7	8,3	8,5	8,7
Summe der Zucker	71,7	67,0	72,2	69,6	69,9	70,6

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,2	1,2	2,1	2,0	1,5	1,4
Glucose	8,3	9,8	9,0	8,9	9,3	10,5
Saccharose	2,9	2,9	2,3	2,2	3,1	4,0
Maltose	65,4	64,1	69,4	67,1	64,4	68,9
Maltotriose	11,3	11,0	11,3	10,9	10,8	11,9
Summe der Zucker	89,2	89,1	94,2	91,0	89,1	96,7

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	13,95	15,67	14,27	14,37	15,59	16,43
Anteil Maltose [%]	73,36	71,94	73,68	73,71	72,25	71,25

Tab. T40: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)

Ernte 2003

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,1	0,7	1,3	1,3	1,1	1,0
Glucose	8,2	6,5	8,5	7,5	7,1	8,1
Saccharose	2,4	2,2	1,9	1,6	2,5	1,6
Maltose	47,4	48,7	54,3	53,1	54,3	53,8
Maltotriose	8,1	8,3	9,3	10,0	9,1	10,5
Summe der Zucker	67,2	66,4	75,3	73,5	74,1	75,0

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,4	0,9	1,6	1,7	1,4	1,3
Glucose	10,8	8,6	10,7	9,8	9,0	10,4
Saccharose	3,2	2,9	2,4	2,1	3,2	2,1
Maltose	62,5	64,4	68,0	69,1	69,0	69,4
Maltotriose	10,7	11,0	11,7	13,0	11,6	13,5
Summe der Zucker	88,5	87,8	94,4	95,6	94,1	96,7

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	17,41	14,16	15,54	14,15	14,44	14,27
Anteil Maltose [%]	70,54	73,34	72,11	72,24	73,28	71,73

Tab. T41: Zucker, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)

Ernte 2003

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skäne Schweden	Skäne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern

Pfanne-Voll-Würze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,2	1,2	0,9	0,4	0,8	1,2
Glucose	6,4	5,9	5,6	6,2	9,2	7,2
Saccharose	1,7	1,6	1,9	1,0	2,9	2,4
Maltose	51,6	47,6	47,2	48,7	51,7	52,7
Maltotriose	8,0	9,3	9,5	8,3	8,7	9,2
Summe der Zucker	68,9	65,6	65,1	64,6	73,3	72,7

Anstellwürze

Konzentrationen in g/l						
Fructose	1,6	1,6	1,2	0,5	1,0	1,5
Glucose	8,5	7,8	7,5	8,4	11,1	9,1
Saccharose	2,3	2,1	2,5	1,4	3,5	3,0
Maltose	68,6	62,7	63,1	66,2	62,6	66,8
Maltotriose	10,6	12,3	12,7	11,3	10,5	11,7
Summe der Zucker	91,6	86,4	87,0	87,8	88,8	92,2

Anteil Fructose, Glucose, Saccharose [%]	13,50	13,26	12,90	11,76	17,60	14,86
Anteil Maltose [%]	74,89	72,56	72,50	75,39	70,53	72,49

Tab. T42: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)
Ernte 2002

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich

Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	81,3	47,0	43,9	36,2	23,0
Glutaminsäure	61,4	64,0	57,5	58,2	126,3
Asparagin	51,7	47,1	43,5	47,7	15,0
Serin	45,0	43,1	73,9	52,7	22,7
Glutamin	80,6	80,9	81,8	108,8	69,7
Histidin	17,3	17,8	18,5	17,8	20,7
Glycin	57,4	47,2	68,5	50,2	71,3
Threonin	33,9	39,9	46,9	41,8	55,8
Alanin	37,1	40,1	39,9	39,1	9,7
Arginin	137,0	140,0	142,0	126,4	179,5
γ -Aminobuttersäure	52,5	54,0	47,6	48,4	66,0
Tyrosin	47,4	47,2	46,9	44,8	26,2
Valin	59,5	60,0	60,0	56,2	69,7
Methionin	18,1	20,0	18,9	20,8	23,0
Tryptophan	49,7	52,0	48,5	52,5	87,6
Phenylalanin	70,2	72,0	70,2	68,8	79,0
Isoleucin	42,2	43,0	42,6	41,4	44,4
Leucin	79,1	86,5	78,5	76,3	93,3
Lysin	42,6	36,0	43,4	45,3	37,9
Summe Aminosäuren	1064	1038	1073	1033	1121

Tab. T43: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)
Ernte 2002

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich

Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	43,2	71,2	38,7	39,0	38,9
Glutaminsäure	64,2	44,1	58,3	66,2	60,2
Asparagin	46,8	58,7	55,1	59,2	54,8
Serin	42,5	35,2	38,8	43,6	43,4
Glutamin	82,6	82,1	28,5	26,5	25,5
Histidin	17,3	16,6	17,0	19,5	18,5
Glycin	45,1	34,5	46,4	52,2	49,3
Threonin	41,4	42,0	40,2	49,1	40,5
Alanin	40,1	39,9	36,4	41,3	41,9
Arginin	140,4	103,8	130,6	137,9	130,0
γ -Aminobuttersäure	54,9	41,9	49,5	54,6	47,4
Tyrosin	47,5	45,7	46,6	49,1	48,6
Valin	60,3	45,9	60,5	57,7	55,8
Methionin	20,5	19,3	19,7	18,7	17,9
Tryptophan	52,8	47,5	50,4	63,9	61,2
Phenylalanin	72,1	71,0	71,6	67,8	63,9
Isoleucin	43,0	43,2	42,8	37,4	33,0
Leucin	86,5	90,3	88,0	73,3	63,2
Lysin	36,8	36,2	33,6	36,6	33,6
Summe Aminosäuren	1038	969	952	994	927

Tab. T44: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)
Ernte 2002

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt

Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	77,9	42,9	40,5	65,0	49,6
Glutaminsäure	67,5	45,7	41,4	79,0	64,9
Asparagin	67,5	75,7	67,1	58,7	69,6
Serin	51,8	42,2	40,0	49,6	50,2
Glutamin	129,2	98,2	97,0	60,4	97,7
Histidin	19,1	19,1	18,3	16,7	17,5
Glycin	59,3	49,0	45,7	53,4	48,9
Threonin	39,7	46,3	43,8	44,8	42,0
Alanin	46,0	45,5	43,4	33,4	36,4
Arginin	151,3	117,7	109,2	135,3	117,6
γ -Aminobuttersäure	51,0	47,3	43,9	61,8	50,4
Tyrosin	50,4	54,5	51,3	46,8	45,4
Valin	64,3	66,1	63,1	57,5	57,8
Methionin	20,1	18,7	18,1	16,8	19,3
Tryptophan	52,7	82,5	75,7	61,3	55,6
Phenylalanin	75,7	85,4	82,4	67,7	71,8
Isoleucin	37,1	49,2	47,4	40,1	41,7
Leucin	85,2	85,0	86,0	74,5	74,2
Lysin	42,5	37,4	34,8	39,0	43,7
Summe Aminosäuren	1188	1105	1049	1062	1054

Tab. T45: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)
Ernte 2002

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Konzentrationen in mg/l				
Asparaginsäure	73,7	44,3	44,0	41,2
Glutaminsäure	37,1	60,6	50,4	48,6
Asparagin	46,2	50,4	66,4	79,7
Serin	45,0	41,8	43,2	49,3
Glutamin	85,9	80,9	102,7	124,2
Histidin	16,3	17,9	18,0	18,7
Glycin	44,3	43,2	44,2	51,4
Threonin	41,7	42,3	43,4	45,6
Alanin	37,3	38,6	41,3	42,1
Arginin	131,0	126,5	113,6	111,0
γ -Aminobuttersäure	48,4	48,2	45,7	41,9
Tyrosin	45,7	47,8	48,3	51,0
Valin	59,2	59,1	62,5	61,7
Methionin	16,7	19,3	19,5	19,6
Tryptophan	49,7	54,3	53,2	66,1
Phenylalanin	71,2	72,7	81,9	80,7
Isoleucin	40,6	41,0	45,4	46,9
Leucin	73,2	77,7	83,0	77,8
Lysin	38,0	37,5	35,3	48,3
Summe Aminosäuren	1001	1004	1042	1106

Tab. T46: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)
Ernte 2002

Anstellwürze

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich

Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	101,2	63,2	57,4	49,5	29,2
Glutaminsäure	76,5	86,1	75,1	79,6	160,4
Asparagin	64,4	63,4	56,8	65,2	19,1
Serin	56,0	58,0	96,5	72,1	28,8
Glutamin	100,4	108,9	106,9	148,8	88,6
Histidin	21,5	24,0	24,2	24,3	26,3
Glycin	71,5	63,5	89,5	68,7	90,6
Threonin	42,2	53,7	61,3	57,2	70,9
Alanin	46,2	54,0	52,1	53,5	12,3
Arginin	170,6	188,4	185,5	172,9	228,0
γ -Aminobuttersäure	65,4	72,7	62,2	66,2	83,9
Tyrosin	59,0	63,5	61,3	61,3	33,3
Valin	74,1	80,7	78,4	76,9	88,6
Methionin	22,5	26,9	24,7	28,4	29,2
Tryptophan	61,9	70,0	63,4	71,8	111,3
Phenylalanin	87,4	96,9	91,7	94,1	100,3
Isoleucin	52,6	57,9	55,7	56,6	56,4
Leucin	98,5	116,4	102,6	104,4	118,5
Lysin	53,1	48,4	56,7	62,0	48,1
Summe Aminosäuren	1325	1397	1402	1413	1424

Anteil Isoleucin [%]	3,97	4,14	3,97	4,01	3,96
Anteil Leucin [%]	7,43	8,33	7,32	7,39	8,32

Tab. T47: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)
Ernte 2002

Anstellwürze

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich
Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	57,5	91,9	51,5	50,0	52,8
Glutaminsäure	85,4	56,9	77,7	85,0	81,7
Asparagin	62,2	75,8	73,4	76,0	74,3
Serin	56,5	45,4	51,7	56,0	58,9
Glutamin	109,8	106,0	37,9	34,0	34,6
Histidin	23,0	21,4	22,6	25,0	25,1
Glycin	60,0	44,5	61,9	67,0	66,9
Threonin	55,0	54,2	53,5	63,0	54,9
Alanin	53,3	51,4	48,4	53,0	56,8
Arginin	186,6	133,9	173,9	177,0	176,4
γ -Aminobuttersäure	73,0	54,1	65,9	70,0	64,3
Tyrosin	63,2	59,0	62,1	63,0	65,9
Valin	80,1	59,2	80,6	74,0	75,7
Methionin	27,3	24,9	26,3	24,0	24,3
Tryptophan	70,1	61,3	67,1	82,0	83,0
Phenylalanin	95,9	91,6	95,4	87,0	86,7
Isoleucin	57,2	55,8	57,0	48,0	44,8
Leucin	114,9	116,5	117,2	94,0	85,7
Lysin	49,0	46,7	44,7	47,0	44,8
Summe Aminosäuren	1380	1251	1269	1275	1258
Anteil Isoleucin [%]	4,14	4,46	4,49	3,76	3,56
Anteil Leucin [%]	8,33	9,32	9,24	7,37	6,82

Tab. T48: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)

Ernte 2002

Anstellwürze

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt

Konzentrationen in mg/l					
Asparaginsäure	96,0	56,2	53,9	84,8	67,0
Glutaminsäure	83,2	59,7	55,1	103,2	87,7
Asparagin	83,2	99,0	89,3	76,7	94,0
Serin	63,9	55,2	53,2	64,8	67,8
Glutamin	159,3	128,5	129,2	78,8	131,9
Histidin	23,5	25,1	24,3	21,8	23,6
Glycin	73,1	64,2	60,8	69,7	66,0
Threonin	48,9	60,6	58,3	58,5	56,7
Alanin	56,7	59,6	57,7	43,7	49,2
Arginin	186,6	154,0	145,4	176,7	158,8
γ-Aminobuttersäure	62,9	61,9	58,5	80,6	68,1
Tyrosin	62,1	71,3	68,3	61,1	61,3
Valin	79,3	86,5	84,0	75,1	78,1
Methionin	24,8	24,5	24,0	21,9	26,1
Tryptophan	64,9	107,9	100,8	80,0	75,1
Phenylalanin	93,4	111,7	109,7	88,4	97,0
Isoleucin	45,7	64,4	63,1	52,3	56,3
Leucin	105,1	111,2	114,5	97,3	100,2
Lysin	52,4	48,9	46,3	50,9	59,0
Summe Aminosäuren	1465	1446	1396	1386	1425

Anteil Isoleucin [%]	3,12	4,45	4,52	3,78	3,95
Anteil Leucin [%]	7,17	7,69	8,20	7,02	7,03

Tab. T49: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (9)

Ernte 2002

Anstellwürze

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen

Konzentrationen in mg/l				
Asparaginsäure	94,0	60,8	59,3	54,3
Glutaminsäure	47,4	83,1	67,9	64,1
Asparagin	59,0	69,1	89,4	105,1
Serin	57,4	57,3	58,2	65,0
Glutamin	109,6	110,9	138,3	163,8
Histidin	20,7	24,5	24,3	24,7
Glycin	56,6	59,2	59,6	67,8
Threonin	53,2	57,9	58,4	60,1
Alanin	47,7	52,9	55,7	55,5
Arginin	167,2	173,4	153,1	146,4
γ -Aminobuttersäure	61,8	66,1	61,6	55,3
Tyrosin	58,3	65,5	65,1	67,3
Valin	75,6	81,1	84,2	81,4
Methionin	21,3	26,5	26,3	25,9
Tryptophan	63,5	74,4	71,6	87,2
Phenylalanin	90,9	99,7	110,4	106,4
Isoleucin	51,8	56,2	61,2	61,9
Leucin	93,4	106,5	111,8	102,6
Lysin	48,5	51,4	47,6	63,7
Summe Aminosäuren	1278	1377	1404	1459

Anteil Isoleucin [%]	4,06	4,08	4,36	4,24
Anteil Leucin [%]	7,31	7,73	7,96	7,03

Tab. T50: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (10)

Ernte 2003

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich
Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	41,4	38,1	71,1	39,5	40,4	41,1
Glutaminsäure	52,3	49,5	32,9	33,1	31,3	53,9
Asparagin	48,9	46,2	45,2	55,1	60,6	62,1
Serin	49,6	47	45,8	46,5	45,2	43,2
Glutamin	88,5	76,1	96,5	106,4	97,6	91,1
Histidin	16,9	16,6	18,3	21,3	22,0	17,7
Glycin	49,4	45,8	48,3	46,8	50,9	49,6
Threonin	43,5	41	38,8	45,1	45,6	43,7
Alanin	49,1	46,4	43,3	49,9	48,7	44,9
Arginin	129	123	133,3	139,0	136,3	133,7
γ -Aminobuttersäure	39,6	37,4	61,1	63,0	58,9	51,5
Tyrosin	47,2	44,5	42,6	44,7	49,2	48,0
Valin	59,2	55,8	57,3	57,7	59,7	57,4
Methionin	19	18,4	18,8	17,8	17,8	15,9
Tryptophan	49,1	45	47,2	18,2	18,5	48,9
Phenylalanin	71,7	66,9	67,6	68,1	73,6	58,2
Isoleucin	40,0	38,4	39,8	37,7	38,6	42,6
Leucin	77,6	72,7	75,6	74,3	74,9	76,7
Lysin	40,5	38,2	35,5	39,7	35,8	33,1
Summe Aminosäuren	1013	947	1019	1004	1006	1013

Tab. T51: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (11)

Ernte 2003

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern

Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	42,6	34,1	76,2	80,9	74,1	78,4
Glutaminsäure	54,9	81,2	35,7	35,2	46,1	37,7
Asparagin	60,4	44,3	48,4	52,0	83,5	67,6
Serin	46,4	32,8	47,9	49,2	49,6	49,9
Glutamin	81,4	71,8	102	110,3	155,2	109,7
Histidin	18,2	24,0	18,6	22,5	22,1	26,0
Glycin	48,7	55,6	45,1	51,1	54,2	49,3
Threonin	42,2	39,7	49,4	50,2	35,3	51,4
Alanin	46,3	2,4	46,4	46,3	41,0	46,8
Arginin	135,0	124,5	150	150,8	124,8	149,1
γ -Aminobuttersäure	51,8	44,9	60,3	62,5	49,9	61,2
Tyrosin	47,9	43,4	54,3	52,9	51,5	59,9
Valin	59,5	51,8	66,2	65,9	61,2	71,5
Methionin	18,4	12,8	19,4	20,9	18,9	22,1
Tryptophan	49,3	54,3	53,3	48,3	53,8	56,0
Phenylalanin	72,6	60,9	79,8	76,2	74,1	83,1
Isoleucin	41,0	49,3	48,0	45,0	46,9	51,0
Leucin	77,8	29,3	95,0	89,1	87	96,4
Lysin	44,6	14,1	42,9	39,4	53,9	46,3
Summe Aminosäuren	1039	871	1139	1149	1183	1213

Tab. T52: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (12)

Ernte 2003

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skåne Schweden	Skåne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern

Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	71,2	41,3	43,5	37,8	78,1	78,0
Glutaminsäure	31,8	59,6	55,8	78,8	33,3	33,5
Asparagin	36,3	43,7	45,0	38,4	56,6	57,2
Serin	36,8	35,0	38,4	42,7	48,7	49,4
Glutamin	48,8	47,9	67,5	56,8	114,1	111,8
Histidin	13,4	15,7	17,0	17,6	19,0	20,4
Glycin	40,0	40,1	41,3	71,5	52,2	52,5
Threonin	36,7	20,2	39,9	43,8	42,8	43,1
Alanin	33,6	36,0	38,7	2,1	42,0	43,4
Arginin	125,3	121,2	121,9	127,6	126,5	129,1
γ-Aminobuttersäure	45,2	45,4	47,2	43,6	55,1	54,6
Tyrosin	42,6	43,4	46,0	44,8	54,4	53,3
Valin	51,7	52,7	57,1	55,4	63,1	64,6
Methionin	15,7	18,4	18,1	13,5	18,0	20,2
Tryptophan	43,5	47,7	60,4	58,4	56,3	54,4
Phenylalanin	58,5	61,5	67,2	65,5	79,2	79,4
Isoleucin	34,9	34,7	37,9	48,3	44,8	44,3
Leucin	76,5	75,7	74,2	31,6	83,4	81,8
Lysin	36,5	37,4	35,4	12,1	43,4	40,8
Summe Aminosäuren	879	878	953	890	1111	1112

Tab. T53: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (13)

Ernte 2003

Pfanne-Voll-Würze

Sorte	Maltop II	Maltop II	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Thüringen	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern

Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	68,9	42,7	73,2	40,4	46,7	43,5
Glutaminsäure	32,5	53,7	32,7	52,0	53,8	50,9
Asparagin	61,8	67,5	45,4	49,0	60,4	72,6
Serin	43,9	52,2	41,1	51,0	40,3	53,5
Glutamin	94,2	90,1	88,1	84,8	81,3	81,2
Histidin	18,8	17,5	15,3	19,9	18,5	17,8
Glycin	48,5	51,0	41,7	47,6	41,0	49,5
Threonin	40,8	41,0	35,9	37,0	43,7	41,9
Alanin	39,8	38,2	32,3	31,7	40,3	41,4
Arginin	132,6	130,3	116,8	115,4	124,9	126,6
γ -Aminobuttersäure	52,9	47,7	53,2	48,5	46,5	43,6
Tyrosin	47,0	43,3	42,6	41,8	52,9	45,7
Valin	59,4	56,3	54,3	52,5	60,5	55,3
Methionin	18,5	15,2	15,3	14,0	21,0	14,9
Tryptophan	50,4	49,1	61,6	64,5	73,6	57,7
Phenylalanin	68,3	55,0	65,7	72,3	78,1	64,7
Isoleucin	41,0	50,2	38,1	49,1	44,6	49,1
Leucin	73,4	36,4	68,3	35,3	74,8	35,6
Lysin	40,0	31,3	33,9	29,1	57,0	32,8
Summe Aminosäuren	1033	969	956	936	1060	978

Tab. T54: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (14)

Ernte 2003

Anstellwürze

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich
Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	51,5	50,7	92,8	51,7	51,5	56,2
Glutaminsäure	65,0	65,8	42,9	43,3	39,9	73,8
Asparagin	60,8	61,4	59,0	72,1	77,3	85,1
Serin	61,7	62,5	59,7	60,8	57,6	59,2
Glutamin	110,1	101,2	125,8	139,1	124,5	124,8
Histidin	21,0	22,1	23,9	27,9	28,1	24,3
Glycin	61,4	60,9	63,0	61,2	65,0	67,9
Threonin	54,1	54,5	50,6	58,9	58,2	59,8
Alanin	61,1	61,7	56,5	65,2	62,2	61,4
Arginin	160,4	163,5	173,9	181,8	173,9	183,0
γ -Aminobuttersäure	49,2	49,7	79,7	82,3	75,1	70,6
Tyrosin	58,7	59,2	55,6	58,4	62,8	65,7
Valin	73,6	74,2	74,7	75,4	76,2	78,6
Methionin	23,6	24,5	24,5	23,3	22,7	21,8
Tryptophan	61,1	59,8	61,6	23,8	23,6	67,0
Phenylalanin	89,2	89,0	88,2	89,0	93,9	79,7
Isoleucin	49,7	51,1	51,9	49,3	49,2	58,3
Leucin	96,5	96,7	98,6	97,2	95,5	105,0
Lysin	50,4	50,8	46,3	51,9	45,7	45,3
Summe Aminosäuren	1260	1259	1329	1313	1283	1387
Anteil Isoleucin [%]	3,95	4,05	3,91	3,75	3,84	4,21
Anteil Leucin [%]	7,66	7,68	7,42	7,40	7,45	7,57

Tab. T55: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (15)

Ernte 2003

Anstellwürze

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern

Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	56,1	45,0	95,5	105,3	94,2	101,1
Glutaminsäure	72,3	107,4	44,7	45,8	58,6	48,6
Asparagin	79,6	58,6	60,7	67,6	106,1	87,2
Serin	61,1	43,3	60,0	64,0	62,9	64,3
Glutamin	107,3	95,0	127,8	143,5	197,1	141,4
Histidin	24,0	31,8	23,3	29,3	28,0	33,6
Glycin	64,2	73,6	56,5	66,5	68,8	63,6
Threonin	55,6	52,5	61,9	65,4	44,9	66,2
Alanin	61,0	3,2	58,1	60,3	52,0	60,3
Arginin	177,9	164,6	188,0	196,2	158,5	192,2
γ -Aminobuttersäure	68,3	59,4	75,6	81,4	63,3	78,9
Tyrosin	63,1	57,4	68,0	68,8	65,4	77,2
Valin	78,4	68,4	83,0	85,7	77,7	92,2
Methionin	24,2	16,9	24,3	27,2	24,0	28,5
Tryptophan	65,0	71,8	66,8	62,9	68,3	72,2
Phenylalanin	95,7	80,6	100,0	99,1	94,1	107,1
Isoleucin	54,0	65,2	60,2	58,5	59,6	65,8
Leucin	102,5	38,7	119,0	115,9	110,5	124,3
Lysin	58,8	18,7	53,8	51,3	68,5	59,7
Summe Aminosäuren	1369	1152	1427	1495	1501	1564

Anteil Isoleucin [%]	3,95	5,66	4,21	3,92	3,97	4,20
Anteil Leucin [%]	7,49	3,36	8,34	7,75	7,36	7,95

Tab. T56: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (16)

Ernte 2003

Anstellwürze

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skåne Schweden	Skåne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern

Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	94,6	54,4	58,1	51,4	94,6	98,9
Glutaminsäure	42,2	78,5	74,6	107,0	40,4	42,5
Asparagin	48,3	57,6	60,1	52,2	68,6	72,6
Serin	48,8	46,1	51,3	58,0	59,0	62,7
Glutamin	64,9	63,1	90,2	77,2	138,2	141,8
Histidin	17,9	20,6	22,7	24,0	23,0	25,9
Glycin	53,2	52,8	55,2	97,1	63,2	66,6
Threonin	48,8	26,7	53,3	59,5	51,8	54,7
Alanin	44,6	47,4	51,8	2,9	50,9	55,0
Arginin	166,5	159,7	162,9	173,3	153,3	163,8
γ-Aminobuttersäure	60,0	59,9	63,1	59,3	66,8	69,3
Tyrosin	56,6	57,2	61,5	60,8	66,0	67,6
Valin	68,7	69,4	76,4	75,3	76,5	81,9
Methionin	20,9	24,2	24,1	18,4	21,8	25,7
Tryptophan	57,8	62,9	80,7	79,3	68,2	69,0
Phenylalanin	77,7	81,1	89,8	88,9	96,0	100,7
Isoleucin	46,4	45,7	50,6	65,6	54,3	56,2
Leucin	101,7	99,7	99,2	43,0	101,0	103,8
Lysin	48,5	49,3	47,3	16,5	52,6	51,8
Summe Aminosäuren	1168	1132	1273	1210	1346	1410

Anteil Isoleucin [%]	3,97	4,04	3,97	5,42	4,03	3,98
Anteil Leucin [%]	8,70	8,81	7,79	3,55	7,51	7,36

Tab. T57: Aminosäuren, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (17)

Ernte 2003

Anstellwürze

Sorte	Maltop II	Maltop II	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Thüringen	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern
Konzentrationen in mg/l						
Asparaginsäure	88,4	58,4	95,9	56,0	63,7	59,2
Glutaminsäure	41,7	73,4	42,8	72,0	73,3	69,3
Asparagin	79,3	92,3	59,4	67,9	82,4	98,9
Serin	56,4	71,5	53,9	70,6	54,9	72,9
Glutamin	120,9	123,3	115,4	117,4	110,8	110,5
Histidin	24,2	23,9	20,0	27,5	25,3	24,3
Glycin	62,3	69,8	54,7	65,9	55,8	67,3
Threonin	52,4	56,1	47,0	51,3	59,5	57,0
Alanin	51,1	52,2	42,3	43,9	55,0	56,3
Arginin	170,2	178,3	153,1	159,8	170,2	172,3
γ-Aminobuttersäure	67,9	65,3	69,7	67,2	63,4	59,4
Tyrosin	60,4	59,3	55,8	57,9	72,1	62,2
Valin	76,3	77,0	71,2	72,7	82,5	75,3
Methionin	23,8	20,7	20,0	19,3	28,6	20,2
Tryptophan	64,8	67,1	80,7	89,3	100,3	78,6
Phenylalanin	87,7	75,3	86,1	100,1	106,4	88,1
Isoleucin	52,6	68,7	49,9	68,0	60,9	66,9
Leucin	94,2	49,8	89,5	48,9	102,0	48,5
Lysin	51,4	42,8	44,5	40,3	77,7	44,6
Summe Aminosäuren	1325	1325	1251	1296	1445	1332
Anteil Isoleucin [%]	3,97	5,18	3,99	5,25	4,21	5,02
Anteil Leucin [%]	7,11	3,75	7,16	3,78	7,06	3,64

Tab. T58: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (1)

Ernte 2002

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich
Geruch	4,17	4,13	4,50	4,25	3,20
Trunk	4,17	4,13	4,50	4,00	3,30
Vollmundigkeit	4,33	4,31	4,63	4,31	4,40
Rezenz	4,25	4,31	4,38	4,25	4,10
Bittere	4,17	4,25	4,38	4,13	4,20
Estrige Note					
Geruch Intensität	3,00	2,63	2,38	2,44	3,17
Geruch Qualität	3,00	2,75	3,13	2,88	2,60
Geschmack Intensität	2,67	2,50	2,25	2,06	3,17
Geschmack Qualität	2,83	2,75	3,25	2,88	2,60
Phenolische Note					
Geruch Intensität	2,92	2,75	2,50	2,71	2,70
Geruch Qualität	2,58	2,63	3,38	2,88	2,80
Geschmack Intensität	2,92	2,81	2,63	3,00	2,40
Geschmack Qualität	2,42	2,63	3,13	3,13	2,80
Hefige Note					
Geruch Intensität	1,67	1,75	1,25	1,38	2,50
Geruch Qualität	2,83	2,88	3,00	2,88	2,60
Geschmack Intensität	1,67	1,63	1,25	1,75	2,50
Geschmack Qualität	2,50	2,88	3,00	2,75	2,60
Kommentare					Diacetyl

Tab. T59: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (2)
Ernte 2002

Sorte	Tremie III	Shango I	Shango I	Shango II	Shango II
Herkunft	Champagne Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Sainte-Savine Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich	Le Châtelet sur Retourne / Frankreich
Geruch	3,94	4,33	4,63	4,50	4,38
Trunk	3,94	4,25	4,50	4,30	4,13
Vollmundigkeit	4,31	4,42	4,50	4,30	3,88
Rezenz	4,38	4,25	4,25	4,20	4,00
Bittere	4,25	4,33	4,38	4,30	4,25
Estrige Note					
Geruch Intensität	2,80	3,92	4,00	2,50	2,75
Geruch Qualität	3,13	2,75	4,00	2,80	3,25
Geschmack Intensität	2,40	4,08	4,00	2,25	2,25
Geschmack Qualität	3,13	3,17	3,75	2,80	3,25
Phenolische Note					
Geruch Intensität	2,70	2,00	2,33	3,25	2,92
Geruch Qualität	2,88	3,08	3,75	3,40	3,25
Geschmack Intensität	2,92	2,20	2,67	3,33	2,92
Geschmack Qualität	2,88	3,33	3,75	3,20	3,25
Hefige Note					
Geruch Intensität	1,50	1,92	2,75	2,30	2,75
Geruch Qualität	2,75	2,83	3,75	3,40	3,50
Geschmack Intensität	1,50	1,58	2,25	2,30	2,50
Geschmack Qualität	2,75	2,67	3,25	3,20	3,25
Kommentare	gemüseartiger Geruch Diacetyl	leicht lösungsmittelartig	leicht lösungsmittelartig		leicht säuerlich

Tab. T60: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (3)
Ernte 2002

Sorte	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis III	Flair I	Flair I
Herkunft	Schwabmünchen Bayern	Moosburg Bayern	Moosburg Bayern	Prießnitz Sachsen-Anhalt	Prießnitz Sachsen-Anhalt
Geruch	4,25	4,25	4,00	3,90	4,63
Trunk	4,17	4,38	4,25	4,00	4,75
Vollmundigkeit	4,33	4,38	4,25	4,40	4,63
Rezenz	4,17	4,38	4,38	4,10	4,38
Bittere	4,33	4,38	4,38	4,30	4,50
Estrige Note					
Geruch Intensität	2,75	2,20	2,90	2,25	2,50
Geruch Qualität	3,33	3,00	3,00	2,70	3,50
Geschmack Intensität	2,67	2,67	3,10	2,00	2,33
Geschmack Qualität	3,33	3,25	3,75	2,50	3,00
Phenolische Note					
Geruch Intensität	1,88	3,20	2,50	2,40	2,67
Geruch Qualität	2,83	3,25	3,25	2,50	3,75
Geschmack Intensität	2,40	3,40	2,90	1,80	2,67
Geschmack Qualität	2,67	3,00	3,50	2,50	4,00
Hefige Note					
Geruch Intensität	1,33	2,00	2,50	2,70	1,75
Geruch Qualität	2,92	3,25	2,75	2,30	3,00
Geschmack Intensität	1,42	2,50	2,75	2,50	1,50
Geschmack Qualität	2,92	3,25	3,00	2,30	3,00
Kommentare			leicht muffiger Geruch	Diacetyl	

Tab. T61: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (4)

Ernte 2002

Sorte	Flair II	Flair II	Flair III	Flair III
Herkunft	Vorbach Bayern	Vorbach Bayern	Oederan Sachsen	Oederan Sachsen
Geruch	4,30	4,33	4,75	4,25
Trunk	4,30	4,50	4,63	4,38
Vollmundigkeit	4,60	4,50	4,38	4,13
Rezenz	4,30	4,17	4,38	4,25
Bittere	4,40	4,17	4,38	4,25
Estrige Note				
Geruch Intensität	2,25	2,70	3,17	2,75
Geruch Qualität	2,80	4,00	4,25	3,25
Geschmack Intensität	2,40	3,50	2,75	2,50
Geschmack Qualität	2,60	3,67	4,00	3,00
Phenolische Note				
Geruch Intensität	3,25	3,33	2,60	2,75
Geruch Qualität	2,90	3,67	4,00	3,00
Geschmack Intensität	3,33	3,33	2,75	2,67
Geschmack Qualität	3,33	3,67	4,00	3,00
Hefige Note				
Geruch Intensität	2,50	2,67	2,00	1,50
Geruch Qualität	2,50	3,33	3,50	2,75
Geschmack Intensität	2,30	3,00	2,75	1,25
Geschmack Qualität	2,70	3,33	3,75	2,75
Kommentare				

Tab. T62: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (5)

Sorte	Tremie I	Tremie I	Tremie II	Tremie II	Tremie III	Tremie III
Herkunft	Arcis sur Aube Frankreich	Arcis sur Aube Frankreich	Champagne Frankreich	Champagne Frankreich	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich
Geruch	3,40	4,40	4,40	4,08	4,42	4,25
Trunk	3,80	4,20	4,50	3,92	4,50	4,13
Vollmundigkeit	4,50	4,30	4,60	4,17	4,25	4,44
Rezenz	4,20	4,40	4,50	4,17	4,33	4,31
Bittere	4,20	4,40	4,40	4,33	4,50	4,25
Estrige Note						
Geruch Intensität	2,30	2,00	2,70	2,80	2,80	2,17
Geruch Qualität	2,40	3,00	3,20	2,83	3,25	3,13
Geschmack Intensität	2,50	2,20	2,50	2,67	2,75	2,00
Geschmack Qualität	2,90	3,20	3,40	2,67	3,00	3,00
Phenolische Note						
Geruch Intensität	2,40	2,70	2,40	2,25	2,80	2,63
Geruch Qualität	2,80	3,20	3,40	2,83	3,42	3,00
Geschmack Intensität	2,30	2,25	2,60	2,25	2,83	2,63
Geschmack Qualität	2,80	3,00	3,40	2,83	3,67	2,88
Hefige Note						
Geruch Intensität	1,60	2,00	1,60	1,67	1,83	2,13
Geruch Qualität	3,00	2,80	3,00	2,83	3,00	2,75
Geschmack Intensität	1,40	1,60	1,60	1,67	2,00	1,75
Geschmack Qualität	3,00	3,00	2,80	2,67	2,67	2,63
Kommentare	Diacetyl			Diacetyl		leicht schweflig

Tab. T63: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (6)

Ernte 2003

Sorte	Tremie IV	Tremie IV	Atlantis I	Atlantis I	Atlantis II	Atlantis II
Herkunft	Juniville Frankreich	Juniville Frankreich	Schwabmünchen Bayern	Schwabmünchen Bayern	Oberpfalz Bayern	Oberpfalz Bayern
Geruch	4,60	4,25	4,33	4,42	4,40	4,50
Trunk	4,20	4,25	4,33	4,08	4,30	4,25
Vollmundigkeit	4,50	4,13	4,17	4,25	4,20	4,42
Rezenz	4,30	4,25	4,17	4,17	4,40	4,25
Bittere	4,40	4,25	4,33	4,25	4,50	4,42
Estrige Note						
Geruch Intensität	2,00	2,75	3,38	2,80	3,50	3,33
Geruch Qualität	3,00	3,00	3,00	3,33	3,50	3,50
Geschmack Intensität	2,20	2,50	3,25	2,67	3,20	3,17
Geschmack Qualität	3,20	3,00	3,17	2,83	3,50	3,42
Phenolische Note						
Geruch Intensität	3,50	3,00	2,92	2,80	2,30	2,67
Geruch Qualität	3,20	3,25	2,50	3,08	3,00	3,00
Geschmack Intensität	3,30	3,25	2,92	2,80	2,25	2,40
Geschmack Qualität	2,90	3,25	2,83	3,00	2,80	3,00
Hefige Note						
Geruch Intensität	2,00	1,25	2,25	2,42	1,60	2,50
Geruch Qualität	3,00	3,00	3,00	2,83	3,00	3,00
Geschmack Intensität	1,80	1,25	2,17	2,58	1,40	2,42
Geschmack Qualität	3,00	3,00	2,83	2,83	3,00	2,75
Kommentare						

Tab. T64: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (7)

Ernte 2003

Sorte	Ritmo I	Ritmo I	Ritmo II	Ritmo II	Maltop I	Maltop I
Herkunft	Skäne Schweden	Skäne Schweden	Lolland Dänemark	Lolland Dänemark	Bamberg Bayern	Bamberg Bayern
Geruch	4,30	3,93	4,36	4,50	4,00	4,33
Trunk	4,20	4,07	4,29	4,38	4,08	4,33
Vollmundigkeit	4,30	4,21	4,50	4,38	4,33	4,42
Rezenz	4,20	4,29	4,43	4,13	4,33	4,17
Bittere	4,30	4,21	4,43	4,38	4,33	4,33
Estrige Note						
Geruch Intensität	2,50	1,71	2,14	3,00	2,75	2,50
Geruch Qualität	2,80	3,29	3,29	3,25	2,67	3,17
Geschmack Intensität	2,50	1,29	1,86	3,00	2,70	2,58
Geschmack Qualität	2,80	3,14	3,00	3,50	2,83	2,67
Phenolische Note						
Geruch Intensität	2,88	2,14	2,71	2,67	2,30	2,33
Geruch Qualität	2,50	3,43	3,29	3,00	2,83	2,92
Geschmack Intensität	2,90	2,14	2,86	2,75	2,38	2,33
Geschmack Qualität	2,90	3,29	3,14	3,25	2,67	2,92
Hefige Note						
Geruch Intensität	2,00	1,71	1,43	1,25	1,83	2,17
Geruch Qualität	2,80	3,29	2,86	3,00	2,67	3,00
Geschmack Intensität	1,80	1,57	1,43	1,25	1,75	2,00
Geschmack Qualität	2,80	3,14	3,00	3,00	2,83	3,00
Kommentare		beerenartiger Geruch			Diacetyl	

Tab. T65: Verkostungsergebnisse, Versuchsreihe „Weizenmalz“ (8)

Ernte 2003

Sorte	Maltop II	Maltop II	Dekan I	Dekan I	Dekan II	Dekan II
Herkunft	Thüringen	Thüringen	Gahlenz Sachsen	Gahlenz Sachsen	Unterfranken Bayern	Unterfranken Bayern
Geruch	4,75	4,40	4,50	4,60	4,50	4,30
Trunk	4,50	4,40	4,33	4,40	4,10	4,30
Vollmundigkeit	4,50	4,60	4,42	4,70	4,50	4,60
Rezenz	4,17	4,50	4,42	4,40	4,30	4,30
Bittere	4,42	4,50	4,33	4,40	4,20	4,40
Estrige Note						
Geruch Intensität	2,75	2,20	2,42	2,10	2,50	1,50
Geruch Qualität	3,67	3,20	3,08	3,00	3,20	2,80
Geschmack Intensität	2,75	2,00	2,58	2,10	2,50	1,90
Geschmack Qualität	3,33	3,20	3,08	3,10	3,00	3,00
Phenolische Note						
Geruch Intensität	2,50	3,00	2,50	2,50	2,50	2,63
Geruch Qualität	3,17	3,30	3,25	3,40	3,00	3,40
Geschmack Intensität	2,50	3,00	2,67	2,63	2,70	2,63
Geschmack Qualität	3,00	3,30	3,33	3,40	3,00	3,40
Hefige Note						
Geruch Intensität	1,83	1,60	1,50	1,90	1,60	2,60
Geruch Qualität	2,67	3,00	2,83	3,00	2,80	2,40
Geschmack Intensität	1,83	1,60	1,50	1,80	1,60	1,60
Geschmack Qualität	2,67	2,80	2,83	3,00	2,60	2,80
Kommentare						

Tab. T66: Verkostungsergebnisse MS1-MS6 und WS1-WS6 (Durchschnitt aus 7 Verkostern)

SUD-Nr.	Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere	DLG-Gesamt
MS1	4,4	4,4	4,4	4,6	4,3	4,4
MS2	3,6	4,2	4,3	4,2	4,2	4,1
MS3	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3
MS4	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
MS5	4,2	4,3	4,4	4,3	4,4	4,3
MS6	4,3	4,4	4,3	4,5	4,4	4,4
WS1	4,2	3,9	4,2	4,2	4,1	4,1
WS2	4,1	3,7	3,9	4,1	4,1	4,0
WS3	3,9	3,9	3,9	4,2	4,0	4,0
WS4	4,0	4,0	3,8	4,2	4,0	4,0
WS5	3,7	3,5	3,9	4,0	4,0	3,8
WS6	3,6	3,5	4,0	4,1	4,0	3,8

Tab. T67: Verkostungsergebnisse MS1-MS6 und WS1-WS6 (Durchschnitt aus 7 Verkostern)

Phenolische Note	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Intensität	3,7	3,2	3,5	3,2	3,2	3,2	3,1	2,8	3,2	3,2	3,1	3,0
Qualität	3,8	3,1	3,8	3,1	3,6	3,0	3,1	3,2	3,2	3,2	3,0	3,0
Estrige Note	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Intensität	3,4	3,1	2,5	3,3	3,0	2,3	2,7	2,2	2,5	2,4	2,1	2,3
Qualität	3,6	3,1	3,1	3,6	3,2	2,9	3,2	3,2	2,9	3,4	2,6	2,8
Hefige Note	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Intensität	3,0	3,5	2,8	2,6	2,9	2,6	2,9	2,5	2,8	2,8	2,3	2,8
Qualität	3,3	3,3	3,1	3,2	3,2	3,1	3,4	3,2	3,3	3,2	3,0	2,5

Tab. T68: Analysenergebnisse MS1

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,9	6,03	5,77		
Extrakt, in %		10,74	13,13	12,91	
Es, in %		10,75	13,06	2,15	
Ew, in %		10,76	13,04	4,22	
Alkohol, in %		0,03	0,03	5,75	
Gesamt N, in mg/l		1005	1176		
" , auf 12% Stw.		1123	1075		
Hochmol. N, in mg/l		185	222		
" , auf 12% Stw.		207	203		
Farbe (phot.), EBC		8,1	12,3		
" , auf 12% Stw.		9,1	11,2		
Gesamt-Poly., in mg/l		139	226		
" , auf 12% Stw.		155	207		
Anthocyanogene, in mg/l		44	83		
" , auf 12% Stw.		49	84		
Tannoide, in mg/l		55	72		
" , auf 12% Stw.		61	66		
TBZ		1,46	36,7		
EVG, in %			62,0		
Zink (AAS)	0,18	0,1	0,1	0,02	0,02
" , auf 12% Stw.		0,16	0,05	0,02	0,02
FAN (Scal.)	10,4	9,2	17,1	7,9	
" , auf 12% Stw.		10,3	15,6	7,34	
beta - Glucan	632	456	514	265	231
" , auf 12% Stw.		509	470	246,32	215
Diacetyl				0,861	
" , auf 12% Stw.				0,800	

Tab. T69: Analysenergebnisse MS2

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,9	5,99	5,77		
Extrakt, in %		10,51	12,01	12,85	
Es, in %		10,48	11,95	2,33	
Ew, in %		10,48	11,98	4,35	
Alkohol, in %		0,02	0,03	5,62	
Gesamt N, in mg/l		896	1099		
" , auf 12% Stw.		1023	1099		
Hochmol. N		170	215		
" , auf 12% Stw.		194	215		
Farbe (phot.)		7,3	11,4		
" , auf 12% Stw.		8,3	11,4		
Gesamt-Poly.		123	210		
" , auf 12% Stw.		140	210		
Anthos.		32	73		
" , auf 12% Stw.		37	73		
Tannoide		38	64		
" , auf 12% Stw.		43	64		
TBZ		1,46	32,7		
EVG, in %			53		
Zink (AAS)	0,10	0,09	0,03	0,02	0,02
" , auf 12% Stw.		0,10	0,03	0,02	0,02
FAN (Scal.)	9,4	6,9	17,2	15,4	
" , auf 12% Stw.		7,9	17,2	14,4	
beta - Glucan	773	576	712	597	546
" , auf 12% Stw.		658	712	558	546
Diacetyl, in mg/l				0,771	
" , auf 12% Stw.				0,721	
" , auf 12% Stw.				185	
3-Methylbutylacetat, in µg/l				1408	
" , auf 12% Stw.				1316	

Tab. T70: Analysenergebnisse MS3

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,85	5,85	5,66		
Extrakt, in %		10,64	13,11	12,99	
Es, in %		10,59	13,15	2,1	
Ew, in%		10,6	13,18	4,19	
Alkohol, in %		0,03	0,03	5,82	
Gesamt N, in mg/l		1029	1155		
" , auf 12% Stw.		1161	1057		
Hochmol. N, in mg/l		177	207		
" , auf 12% Stw.		200	189		
Farbe (phot.), EBC		7,4	10,3		
" , auf 12% Stw.		8,4	9,4		
Gesamt-Poly., in mg/l		129	216		
" , auf 12% Stw.		145	198		
Anthocyanogene, in mg/l		37	76		
" , auf 12% Stw.		42	70		
Tannoiide, in mg/l		40	63		
" , auf 12% Stw.		45	58		
TBZ		1,5	33,5		
EVG, in %			54,0		
Zink (AAS)	0,12	0,08	0,04	0,03	0,02
" , auf 12% Stw.		0,09	0,04	0,03	0,02
FAN (Scal.)	11,60	7,00	18,90	7,70	
" , auf 12% Stw.		7,89	17,30	7,11	
beta - Glucan	770	547	690	499	231
" , auf 12% Stw.		617	632	461	213
Diacetyl, in mg/l				0,778	
" , auf 12% Stw.				0,719	

Tab. T71: Analysenergebnisse MS4

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,25	5,25	5,22		
Extrakt, in %		10,64	13,26	12,7	
Es, in %		10,66	13,18	4,11	
Ew, in %		10,68	13,2	2,07	
Alkohol, in %		0,02	0,04	5,67	
Gesamt N, in mg/l		1057	1239		
" , auf 12% Stw		1192	1121		
Hochmol. N, in mg/l		176	184		
" , auf 12% Stw		198	167		
Farbe (phot.), EBC		6,2	10,1		
" , auf 12% Stw		7,0	9,1		
Gesamt-Poly., in mg/l		127	194		
" , auf 12% Stw		143	176		
Anthocyanogene, in mg/l		42	80		
" , auf 12% Stw		47	72		
Tannoide, in mg/l		48	83		
" , auf 12% Stw		54	75		
TBZ		1,5	37,8		
EVG, in%			58,0		
Zink (AAS)	0,22	0,17	0,05	0,04	0,02
" , auf 12% Stw		0,19	0,05	0,04	0,02
FAN (Scal.)	15,00	7,40	20,80	8,10	
" , auf 12% Stw		8,35	18,82	7,65	
beta - Glucan	816	816	712	467	573
" , auf 12% Stw		920	644	441	541
Diacetyl, in mg/l				0,790	
" , auf 12% Stw				0,746	
3-Methylbutylacetat, in µg/l				4434	
" , auf 12% Stw.				4190	

Tab. T72: Analysenergebnisse MS5

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,79	5,88	5,72		
Extrakt, in %		10,3	13,17	11,57	
Es, in %		10,22	13,06	1,87	
Ew, in %		10,24	13,08	3,73	
Alkohol, in %		0,03	0,06	5,14	
Gesamt N, in mg/l		980	1099		
" , auf 12% Stw		1142	1001		
Hochmol. N, in mg/l		181	187		
" , auf 12% Stw		211	170		
Farbe (phot.), in EBC		7,3	9,4		
" , auf 12% Stw		8,4	10,9		
Gesamt-Poly., in mg/l		128	188		
" , auf 12% Stw		149	171		
Anthocyanogene, in mg/l		48	75		
" , auf 12% Stw		56	68		
Tannoide, in mg/l		n.a.	73		
" , auf 12% Stw		n.a.	67		
TBZ		1,42	32,0		
EVG, in %			62,0		
Zink (AAS)	0,16	0,12	0,04	0,07	0,02
" , auf 12% Stw		0,14	0,04	0,07	0,02
FAN (Scal.)	17,90	6,60	19,20	8,40	
" , auf 12% Stw		7,69	17,49	8,71	
beta - Glucan	556	382	493	266	383
" , auf 12% Stw		445	449	276	397
Diacetyl, in mg/l				0,876	
" , auf 12% Stw				0,909	

Tab. T73: Analysenergebnisse MS6

Analyse	Abmai.	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,33	5,38	5,24		
Extrakt, in %		10,74	13,27	12,71	
Es, in %		10,61	13,16	1,67	
Ew, in %		10,64	13,19	3,79	
Alkohol, in %		0,05	0,06	5,88	
Gesamt N, in mg/l		1285	1624		
" , auf 12% Stw		1436	1469		
Hochmol. N, in mg/l		187	203		
" , auf 12% Stw		209	184		
Farbe (phot.), EBC		6,75	9,91		
" , auf 12% Stw		7,5	9,0		
Gesamt-Poly., in mg/l		140	235		
" , auf 12% Stw		156	213		
Anthocyanogene, in mg/l		61	96		
" , auf 12% Stw		68	87		
Tannoide		n.a.	n.a.		
" , auf 12% Stw		n.a.	n.a.		
TBZ		1,54	41,10		
EVG, in %			59,00		
Zink (AAS)	0,12	0,13	0,14	0,06	0,03
" , auf 12% Stw		0,15	0,13	0,06	0,03
FAN (Scal.)	28,60	7,60	27,90	12,50	
" , auf 12% Stw		8,49	25,23	11,80	
beta - Glucan	537	367		241	342
" , auf 12% Stw		410		228	323
Diacetyl, in mg/l				1,081	
" , auf 12% Stw				1,021	

Tab. T74: Analysenergebnisse WS1

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	6,07	5,8		
Extrakt, in %		12,23	12,81	
Es, in %		12,25	3,33	
Ew, in %		12,24	5,06	
Alkohol, in %		0,01	4,78	
Gesamt N, in mg/l	943	1036		
" , auf 12% Stw.	1099	1017		
Hochmol. N, in mg/l	168	189		
" , auf 12% Stw.	196	185		
Farbe (phot.), in EBC	7,2	9,9		
" , auf 12% Stw.	8,3	9,7		
Gesamt-Poly., in mg/l	134	210		
" , auf 12% Stw.	156	206		
Anthocyanogene, in mg/l	54	82		
" , auf 12% Stw.	63	80		
Tannide., in mg/l	50	80		
" , auf 12% Stw.	59	78		
TBZ	1,34	3,30		
EVG, in %		0,67		
Zink (AAS)		0,10	0,06	0,07
" , auf 12% Stw.		0,10	0,06	0,07
FAN (Scal.)		16,30	6,40	
" , auf 12% Stw.		15,99	6,00	
beta-Glucan		599	405	518
" , auf 12% Stw.		588	379	485
Diacetyl, in mg/l			1,183	
" , auf 12% Stw.			1,108	
" , auf 12% Stw.			2196	

Tab. T75: Analysenergebnisse WS2

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,6	5,33		
Extrakt, in %		12,18	12,64	
Es, in%		12,16	4,37	
Ew, in%		12,17	5,88	
Alkohol, in %		0,01	4,17	
Gesamt N, in mg/l	901	1043		
" , auf 12% Stw.	1070	1028		
Hochmol. N, in mg/l	144	179		
" , auf 12% Stw.	170	176		
Farbe (phot.), EBC	5,3	7,8		
" , auf 12% Stw.	6,2	7,7		
Gesamt-Poly., in mg/l	130	193		
" , auf 12% Stw.	154	190		
Anthos., in mg/l	48	83		
" , auf 12% Stw.	57	82		
Tannoide, in mg/l	n.a.	74		
" , auf 12% Stw.	n.a.	73		
TBZ	1,34	3,68		
EVG, in %		69,00		
Zink (AAS)		0,02	0,04	0,05
" , auf 12% Stw.		0,02	0,04	0,05
FAN (Scal.)		17,00	9,90	
" , auf 12% Stw.		16,75	9,40	
beta - Glucan		607	438	577
" , auf 12% Stw.		598	416	548
Diacetyl, in mg/l			0,694	
" , auf 12% Stw.			0,659	
" , auf 12% Stw.			1875	

Tab. T76: Analysenergebnisse WS3

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,9	5,3		
Extrakt, in %		12,75	12,94	
Es, in %		12,73	2,69	
Ew, in %		12,74	4,78	
Alkohol, in %		0,01	5,04	
Gesamt N, in mg/l	954	1076		
" , auf 12% Stw.	1070	1013		
Hochmol. N, in mg/l	179	168		
" , auf 12% Stw.	200	158		
Farbe (phot.), EBC	7,3	7,3		
" , auf 12% Stw.	8,2	6,8		
Gesamt-Poly., in mg/l	135	205		
" , auf 12% Stw.	151	193		
Anthocyanogene, in mg/l	54	79		
" , auf 12% Stw.	61	74		
Tannoide, in mg/l	n.a.	89		
" , auf 12% Stw.	n.a.	84		
TBZ	1,56	4,24		
" , auf 12% Stw.	1,75	3,99		
EVG, in %		69		
Zink (AAS)	0,1	0,8		0,3
" , auf 12% Stw.	0,1	0,8		0,2
FAN (Scal.)	15,3	17,9		
" , auf 12% Stw.	17,2	16,8		
beta - Glucan	503	613		566
" , auf 12% Stw.	564	577		525
Diacetyl, in mg/l			0,920	
" , auf 12% Stw.			0,853	

Tab. T77: Analysenergebnisse WS4

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	6,03	5,38		
Extrakt, in %		1,99	12,99	
Es, in %		12	2,78	
Ew, in %		12	4,64	
Alkohol, in %		0,01	5,15	
Gesamt N, in mg/l	1017	1008		
" , auf 12% Stw.	1173	1008		
Hochmol. N, in mg/l	172	182		
" , auf 12% Stw.	198	182		
Farbe (phot.), EBC	7,7	8,4		
" , auf 12% Stw.	8,9	8,4		
Gesamt-Poly., in mg/l	134	203		
" , auf 12% Stw.	155	203		
Anthocyanogene, in mg/l	62	74		
" , auf 12% Stw.	72	74		
Tannoide, in mg/l	n.a.	57		
" , auf 12% Stw.	n.a.	57		
TBZ	1,47	3,82		
EVG, in %		69		
Zink (AAS)	0,14	0,07		0,03
" , auf 12% Stw.	0,16	0,07		0,03
FAN (Scal.)	15,40	16,70		
" , auf 12% Stw.	17,77	16,70		
beta - Glucan	536	639		527
" , auf 12% Stw.	618	639		487
Diacetyl, in mg/l			0,677	
" , auf 12% Stw.			0,625	

Tab. T78: Analysenergebnisse WS5

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,8	5,3		
Extrakt, in %		12,5	12,86	
Es, in %		12,5	3,32	
Ew, in %		12,5	5,06	
Alkohol, in %		0	4,81	
Gesamt N, in mg/l	919	1043		
" , auf 12% Stw.	1050	1001		
Hochmol. N, in mg/l	168	189		
" , auf 12% Stw.	192	181		
Farbe (phot.), EBC	7,5	9,8		
" , auf 12% Stw.	8,5	9,4		
Gesamt-Poly., in mg/l	114	210		
" , auf 12% Stw.	130	202		
Anthocyanogene, in mg/l	47	76		
" , auf 12% Stw.	54	73		
Tannoide	n.a.	n.a.		
" , auf 12% Stw.	n.a.	n.a.		
TBZ	1,48	3,56		
EVG, in %		68		
Zink (AAS)	0,11	0,23	0,18	0,09
" , auf 12% Stw.	0,13	0,22	0,17	0,08
FAN (Scal.)	14,80	16,80	5,00	
" , auf 12% Stw.	16,91	16,13	4,67	
beta - Glucan	495	601	424	510
" , auf 12% Stw.	566	577	395,65	476
Diacetyl, in mg/l			1,389	
" , auf 12% Stw.			1,296	

Tab. T79: Analysenergebnisse WS6

Analyse	PfV	KM	n. HG	Bier
pH	5,83	5,45	12,69	
Extrakt, in %		12,54		
Es, in %		12,5	3,42	
Ew, in %		12,54	5,12	
Alkohol, in %		0,02	4,67	
Gesamt N, in mg/l	894	1031		
" , auf 12% Stw.	1052	987		
Hochmol. N, in mg/l	154	165		
" , auf 12% Stw.	181	157		
Farbe (phot.), EBC	7,2	8,8		
" , auf 12% Stw.	8,5	8,4		
Gesamt-Poly., in mg/l	129	203		
" , auf 12% Stw.	152	194		
Anthocyanogene, in mg/l	53	63		
" , auf 12% Stw.	62	60		
Tannoide	n.a.	n.a.		
" , auf 12% Stw.	n.a.	n.a.		
TBZ	1,5	3,5		
EVG, in %		66,0		
Zink (AAS)	0,1	0,7	0,6	0,1
" , auf 12% Stw.	0,1	0,7	0,5	0,1
FAN (Scal.)	14,3	17,3	5,5	
" , auf 12% Stw.	16,8	16,6	5,2	
beta - Glucan	515	640	444	496
" , auf 12% Stw.	606	612	420	469
Diacetyl, in mg/l			1,255	
" , auf 12% Stw.			1,187	

Tab. T80: Höhere aliphatische Alkohole und leichtflüchtige Ester der Versuche MS1- MS6 am Ende der Hauptgärung

Konzentrationen in µg/l	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6
Acetaldehyd	11718	7795	26161	20158	21149	24510
Propanol-1	20895	14687	25672	21885	21367	23689
Ethylacetat	23019	20235	44290	44373	46148	50731
2-Methylpropanol	22590	32169	24932	43029	38483	47459
3-Methylbutanol	51688	33519	55809	59698	52261	65241
2-Methylbutanol	18692	13827	17683	17107	17848	20280
2-Methylpropylacetat	263	201	553	519	527	739
Buttersäureethylester	80	65	101	107	133	118
3-Methylbutylacetat	1210	1408	n.a.	4434	4143	5864
2-Methylbutylacetat	292	198	276	465	545	670
Hexansäureethylester	260	171	375	351	564	439

Tab. T81: Höhere aliphatische Alkohole und leichtflüchtige Ester der Versuche WS1- WS6 am Ende der Hauptgärung

Konzentrationen in µg/l	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Acetaldehyd	11072	9803	11489	12387	7933	7730
Propanol-1	16478	15452	20749	20412	17738	18217
Ethylacetat	22562	26498	37873	38398	48715	72775
2-Methylpropanol	35589	33066	53424	41739	49667	51861
3-Methylbutanol	46803	38866	71767	57572	71093	76385
2-Methylbutanol	15137	12917	20696	17121	20511	21675
2-Methylpropylacetat	305	265	684	494	778	1238
Buttersäureethylester	75	72	88	99	125	205
3-Methylbutylacetat	2344	1975	4539	3609	5356	8467
2-Methylbutylacetat	312	235	552	447	630	1015
Hexansäureethylester	301	209	272	301	363	597

Tab. T82: Bieraromastoffe der Versuche MS1- MS6 am Ende der Hauptgärung

Konzentrationen in µg/l	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6
Hexanol-1	n.a.	24	18	6,7	15	16
Heptanol-1	n.a.	88	356	132	155	363
Octanol-1	n.a.	8,2	4,8	2,4	5,8	6,8
Decanol-1	n.a.	6,4	1,4	0,9	2,2	1,6
2-Phenylethanol	n.a.	21573	19988	10344	16896	14290
Furfurylalkohol	n.a.	861	688	320	494	1041
Essigsäure-Isobutylester	n.a.	192	295	123	269	460
Essigsäure-Hexylester	n.a.	4,9	6,7	3,1	6,8	8,2
Essigsäure-Heptylester	n.a.	18	71	34	44	107
Essigsäure-Octylester	n.a.	2,8	2,2	1,3	2,8	2,5
Essigsäure-Furfurylester	n.a.	1,2	3,2	2,4	2,5	8,8
Essigsre-2-Phenylethylester	n.a.	675	1055	470	702	931
Buttersäure-Ethylester	n.a.	68	55	26	69	74
Hexansäure-Ethylester	n.a.	147	208	97	315	298
Octansäure-Ethylester	n.a.	253	266	136	356	278
Decansäure-Ethylester	n.a.	351	36	14	75	42
Isovaleriansäure	n.a.	1331	1011	341	962	977
Hexansäure	n.a.	1432	1084	345	1289	1233
Octansäure	n.a.	3258	2507	960	3218	2726
Nonansäure	n.a.	15	10	4,0	14	9
Decansäure	n.a.	763	497	174	776	498
Dodecansäure	n.a.	87	115	48	161	126
α-Terpineol	n.a.	2,0	n.a.	n.a.	0,0	n.n.
Linalool	n.a.	2,9	1,9	0,8	1,8	1,8
Nerol	n.a.	1,1	1,0	0,3	2,4	3,1
γ-Nonalacton	n.a.	19	12	5,1	14	14

Tab. T83: Bieraromastoffe der Versuche WS1- WS6 am Ende der Hauptgärung

Konzentrationen in µg/l	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6
Hexanol-1	19	27	19	26	25	27
Heptanol-1	189	445	160	375	303	209
Octanol-1	6,6	n.a.	4,7	5,8	6,6	6,6
Decanol-1	2,6	2,3	2,3	2,1	2,3	2,2
2-Phenylethanol	24841	15763	43960	29511	42330	45703
Furfurylalkohol	610	856	1478	1429	803	872
Essigsäure-Isobutylester	313	241	541	392	492	446
Essigsäure-Hexylester	6,9	6,8	9,1	8,6	8,5	8,7
Essigsäure-Heptylester	65	86	53	110	96	62
Essigsäure-Octylester	3,3	3,1	2,1	3,0	3,0	2,6
Essigsäure-Furfurylester	2,4	3,1	11	4,1	3,1	3,7
Essigsre-2-Phenylethylester	1060	583	2815	1521	2373	2390
Buttersäure-Ethylester	79	67	72	83	83	77
Hexansäure-Ethylester	242	152	194	229	235	216
Octansäure-Ethylester	152	116	99	137	137	125
Decansäure-Ethylester	13	10	11	15	15	12
Isovaleriansäure	917	1186	947	1335	1204	1238
Hexansäure	1263	1259	1327	1576	1512	1466
Octansäure	3113	2749	2308	2960	2867	2635
Nonansäure	14	11	10	10	12	12
Decansäure	207	203	200	297	216	160
Dodecansäure	88	81	97	92	89	70
α-Terpineol	2,2	2,4	4,4	3,7	4,1	4,7
Linalool	2,8	1,9	3,1	2,5	2,6	3,7
Nerol	1,4	3,5	2,8	3,0	3,2	3,0
γ-Nonalacton	15	13	21	15	18	19

Tab. T84: Glucosekonzentrationen verschiedener Malze

Einheit: [g/100ml]	Glucose in Kongressmaische		Glucose in Kaltauszug	
	Konz.(G/G-9%)	Konz.(G/V-9%)	Konz.(G/G-3%)	Konz.(G/V-3%)
Weizen Malz	0,862	0,832	0,387	0,386
Carapils	0,647	0,627	0,382	0,380
Caramuench Typ2	0,301	0,295	0,121	0,120
Carahell	0,119	0,115	0,133	0,132
Caraamber	0,489	0,473	n.a.	n.a.
Carafa spezial	0,134	0,130	0,031	0,031
Carared	0,544	0,534	0,175	0,172
Pilsner Malz	0,675	0,654	0,159	0,158
Diastase Malz	0,664	0,644	0,317	0,315
Melanoidin Malz	0,603	0,584	0,283	0,279
Wiener Malz	0,523	0,507	0,287	0,286
Münchener Malz Typ1	0,560	0,542	0,265	0,263

Tab. T85: Fructosekonzentrationen verschiedener Malze

Einheit: [g/100ml]	Fructose in Kongressmaische		Fructose in Kaltauszug	
	Konz.(G/G-9%)	Konz.(G/V-9%)	Konz.(G/G-3%)	Konz.(G/V-3%)
Weizen Malz	0,330	0,319	0,188	0,187
Carapils	0,098	0,095	0,064	0,064
Caramuench Typ2	0,068	0,067	0,031	0,031
Carahell	0,037	0,036	0,027	0,027
Caraamber	0,067	0,065	n.a.	n.a.
Carafa spezial	0,007	0,007	0,002	0,002
Carared	0,072	0,070	0,022	0,022
Pilsner Malz	0,091	0,088	0,046	0,045
Diastase Malz	0,114	0,110	0,080	0,080
Melanoidin Malz	0,142	0,138	0,084	0,083
Wiener Malz	0,062	0,060	0,066	0,065
Münchener Malz Typ1	0,092	0,089	0,059	0,059

Tab. T86: Maltosekonzentrationen verschiedener Malze

Einheit: [g/100ml]	Maltose in Kongressmaische		Maltose in Kaltauszug	
	Konz.(G/G-9%)	Konz.(G/V-9%)	Konz.(G/G-3%)	Konz.(G/V-3%)
Weizen Malz	5,856	5,657	0,447	0,445
Carapils	5,322	5,155	0,298	0,296
Caramuench Typ2	1,588	1,557	0,535	0,531
Carahell	0,610	0,590	0,758	0,752
Caraamber	3,553	3,438	n.a.	n.a.
Carafa spezial	0,690	0,670	0,099	0,097
Carared	1,651	1,619	0,847	0,835
Pilsner Malz	5,021	4,868	0,715	0,710
Diastase Malz	4,998	4,846	0,295	0,293
Melanoidin Malz	2,434	2,358	0,560	0,553
Wiener Malz	4,620	4,476	0,402	0,400
Münchener Malz Typ1	4,377	4,240	0,387	0,384

Tab. T87 FAN und β -Glucan in den Vergleichsuden des Malataseverfahrens

100% Gerste	Hoch-Kurz	Maltaseverfahren
β -Glucan [mg/l]	450	379
FAN [mg/100ml]	17,3	21,4
100% Weizen	Hoch-Kurz	Maltaseverfahren
β -Glucan [mg/l]	nicht gemessen	nicht gemessen
FAN [mg/100ml]	18,5	22,8
70/30	Hoch-Kurz	Maltaseverfahren
β -Glucan [mg/l]	207	158
FAN [mg/100ml]	18,6	22,8
70/30	Eiweißrast	Maltaseverfahren
β -Glucan [mg/l]	198	167
FAN [mg/100ml]	21,6	21,3

Tab. T88: Würzearomastoffe der Vergleichsude des Maltaseverfahrens zum Zeitpunkt „Kühlmitte“

Substanz	HK/10l	MV/10l	HK/60l	MV60l
3-me-Butanal	42	43	51	55
2-me-Butanal	16	17	19	21
Methional	63	65	45	51
Benzaldehyd	1,2	1,2	2	3
2-Phenylethanal	97	96	122	123
Σ Streckeraldehyde	220	223	239	252
Pentanal	0,6	0,8	1,2	1,9
2-Pentanon	0,4	0,4	0,5	0,6
Hexanal	1,7	2,0	2,9	5,9
Heptanal	0,6	0,5	0,6	0,7
tr,2-cis,6-Nonadienal	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural	82	85	79	81
2-ac-Furan	1,0	0,9	1,2	1,4
γ-Nonalacton	3,2	2,6	2,4	2,2
3-me-Butanol	1,9	1,7	12,1	9,5
2-me-Butanol	Sp.	0,7	3,6	2,5
1-Pentanol	0,4	0,5	4,1	6,8
1-Hexanol	0,2	0,5	2,0	6,0
1-Octanol	0,2	0,3	0,3	0,7
1-Octen-3-ol	0,1	0,1	0,2	0,8
Phenylethanol	108	93	79	57

Tab. T89: Würzearomastoffe, Versuchsreihe 1 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Würzearomastoffe ($\mu\text{g/l}$)	IV, PfVoll	IV, AW	DV, PfVoll	DV, AW
3-me-Butanal	151	33	122	29
2-me-Butanal	53	4,1	44	3,6
Methional	84	78	93	65
Benzaldehyd	3,5	0,5	3,2	0,7
2-Phenylethanal	104	68	95	61
Σ Streckeraldehyde	395	184	357	160
Pentanal	22	7,1	19	7,0
2-Pentanon	2,5	Sp.	2,1	0,7
Hexanal	83	4,0	66	4,1
Heptanal	1,7	0,8	1,5	0,8
Tr,2-cis,6-Nonadienal	0,6	Sp.	0,6	Sp.
2-Furfural	64	99	61	85
2-ac-Furan	1,2	1,5	3,4	1,4
γ -Nonalacton	7,6	3,5	7,7	3,9
3-me-Butanol	178	2,3	176	1,6
2-me-Butanol	69	20	58	20
1-Pentanol	37	n.a.	30	n.a.
1-Hexanol	27	n.n.	27	n.n.
1-Octanol	1,8	0,5	1,5	0,2
1-Octen-3-ol	9,7	0,9	7,7	0,1
Phenylethanol	124	82	90	75

Tab.T90: Würze aromastoffe, Versuchsreihe 2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Würze aromastoffe (µg/l)	IV, PfVoll	IV, AW	DV, PfVoll	DV, AW
3-me-Butanal	177	43	134	43
2-me-Butanal	60	15	45	15
Methional	115	65	96	76
Benzaldehyd	6,1	0,7	5,7	0,7
2-Phenylethanal	129	79	118	92
ΣStrecker aldehyde	488	203	398	227
Pentanal	21	4,3	16	3,7
2-Pentanon	n.a.	0,7	n.a.	0,8
Hexanal	97	3,8	73	4,0
Heptanal	2,3	0,6	2,1	0,8
Tr,2-cis,6-Nonadienal	0,6	Sp.	0,6	0,6
2-Furfural	65	92	61	119
2-ac-Furan	2,2	1,5	3,4	1,6
γ-Nonalacton	5,2	2,1	4,3	3,0
3-me-Butanol	69	41	55	64
2-me-Butanol	17	11	13	16
2-Pentanol	34	Sp.	30	Sp.
1-Hexanol	39	Sp.	31	0,5
1-Octanol	1,7	Sp.	1,4	0,5
1-Octen-3-ol	3,2	0,7	2,4	Sp.
Phenylethanol	91	82	80	145

Tab. T91: Würzearomastoffe, Versuchsreihe 3, (1) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Würzearomastoffe (µg/l)	IV, PfVoll	IV, AW	DV, PfVoll	DV, AW
3-me-Butanal	133	39	2,0	0,7
2-me-Butanal	45	13	9,3	3,2
Methional	42	30	9,4	6,5
Benzaldehyd	5,5	1,2	3,7	1,7
2-Phenylethanal	117	74	24	19
ΣStrecker-aldehyde	342	158	48	31
Pentanal	16	3,3	Sp.	0,8
2-Pentanon	n.a.	Sp.	0,8	0,5
Hexanal	80	4,0	7,2	0,5
Heptanal	2,6	0,4	0,8	Sp.
Tr,2-cis,6-Nonadienal	0,8	0,6	0,8	0,6
2-Furfural	37	82	18	42
2-ac-Furan	1,7	Sp.	Sp.	Sp.
□-Nonalacton	3,4	1,5	3,4	2,1
3-me-Butanol	36	3,8	27	2,2
2-me-Butanol	8,3	Sp.	6,6	Sp.
1-Pentanol	26	0,2	20	0,5
1-Hexanol	18	0,2	14	0,2
1-Octanol	5,8	1,3	3,7	1,8
1-Octen-3-ol	6,6	0,1	6,1	0,1
Phenylethanol	71	52	57	54

Tab. T92: Würzearomastoffe, Versuchsreihe 3, (2) Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Würzearomastoffe ($\mu\text{g/l}$)	GV, PfVoll	GV, AW	KV, PfVoll	KV, AW
3-me-Butanal	200	26	159	22
2-me-Butanal	77	9,4	60	7,9
Methional	50	28	60	24
Benzaldehyd	4,9	2,4	5,3	1,0
2-Phenylethanal	128	74	139	59
Σ Strecker-aldehyde	459	139	423	114
Pentanal	17	3,9	14	3,0
2-Pentanon	n.a.	0,6	1,1	0,5
Hexanal	79	3,0	60	2,8
Heptanal	2,2	0,5	1,2	0,4
Tr,2-cis,6-Nonadienal	0,8	0,4	Sp.	0,3
2-Furfural	46	65	50	63
2-ac-Furan	1,4	0,9	1,8	0,7
γ -Nonalacton	3,4	2,4	3,3	2,0
3-me-Butanol	51	4,8	32	9,6
2-me-Butanol	12	1,3	9,6	3,0
1-Pentanol	31	0,8	24	0,3
1-Hexanol	22	0,3	17	0,2
1-Octanol	5,1	2,5	5,6	1,0
1-Octen-3-ol	7,3	0,2	4,9	0,1
Phenylethanol	69	64	65	68

Tab. T93: Bieraromastoffe, Versuchsreihe 1, Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Bieraromastoffe ($\mu\text{g/l}$)	Dekoktionsverfahren	Infusionsverfahren
Hexanol-1	21	21
Heptanol-1	20	31
Octanol-1	5,8	6,1
Decanol-1	2,0	2,3
2-Phenylethanol	37535	38535
Furfurylalkohol	490	478
Essigsäure-Isobutylester	387	394
Essigsäure-Hexylester	5,4	6,1
Essigsäure-Heptylester	6,6	12
Essigsäure-Octylester	2,6	7,7
Essigsäure-Furfurylester	3,2	4,1
Essigsäure-2-Phenylethylester	1270	1375
Buttersäure-Ethylester	66	64
Hexansäure-Ethylester	174	181
Octansäure-Ethylester	196	184
Decansäure-Ethylester	65	49
Isovaleriansäure	857	871
Hexansäure	1132	1053
Octansäure	3132	2794
Nonansäure	12	9,5
Decansäure	585	316
Dodecansäure	42	29
α -Terpineol	1,8	1,8
Linalool	1,9	2,3
Nerol	2,6	2,8
γ -Nonalacton	50	46

Tab. T94: Bieraromastoffe, Versuchsreihe 2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Bieraromastoffe ($\mu\text{g/l}$)	Dekoktionsverfahren	Infusionsverfahren
Hexanol-1	11	7,8
Heptanol-1	n.a.	8,6
Octanol-1	18	13
Decanol-1	3,6	5,4
2-Phenylethanol	22090	21551
Furfurylalkohol	Sp.	Sp.
Essigsäure-Isobutylester	19	30
Essigsäure-Hexylester	2,7	3,8
Essigsäure-Heptylester	2,3	2,2
Essigsäure-Octylester	2,0	3,4
Essigsäure-Furfurylester	2,5	2,9
Essigsäure-2-Phenylethylester	339	627
Buttersäure-Ethylester	60	60
Hexansäure-Ethylester	118	141
Octansäure-Ethylester	160	200
Decansäure-Ethylester	15	18
Isovaleriansäure	284	273
Hexansäure	688	733
Octansäure	3232	3828
Nonansäure	11	7,4
Decansäure	196	206
Dodecansäure	11	13
α -Terpineol	3,7	5,1
Linalool	1,6	1,9
Nerol	n.a.	n.a.
γ -Nonalacton	16	19

Tab. T95: Bieraromastoffe, Versuchsreihe 3 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Bieraromastoffe ($\mu\text{g/l}$)	DV	IV	GV	KV
Hexanol-1	9,3	10	10	8,1
Heptanol-1	16	6,6	4,3	5,0
Octanol-1	15	19	17	16
Decanol-1	4,6	9,5	11	9,3
2-Phenylethanol	18438	27791	27780	32328
Furfurylalkohol	711	758	544	321
Essigsäure-Isobutylester	17	36	32	42
Essigsäure-Hexylester	1,8	3,2	2,9	3,1
Essigsäure-Heptylester	2,5	2,3	1,8	2,4
Essigsäure-Octylester	2,4	2,8	2,3	3,1
Essigsäure-Furfurylester	Sp.	Sp.	Sp.	1,1
Essigsäure-2-Phenylethylester	217	696	510	731
Buttersäure-Ethylester	44	69	59	63
Hexansäure-Ethylester	60	111	94	115
Octansäure-Ethylester	117	263	219	216
Decansäure-Ethylester	53	90	136	56
Isovaleriansäure	389	1378	843	709
Hexansäure	567	1001	805	809
Octansäure	2660	5324	5019	4126
Nonansäure	17	19	25	19
Decansäure	1043	1433	2616	888
Dodecansäure	51	46	82	51
α -Terpineol	2,4	Sp.	Sp.	1,5
Linalool	1,4	2,1	1,1	1,3
Nerol	1,4	1,6	1,3	1,1
γ -Nonalacton	16	12	16	15

Tab. T96: Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 1
 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Analysenbezeichnung	Einheit	DV, PfVoll	DV, AW	IV, PfVoll	IV, AW
Laborquotient		1,03901	1,04722	1,03942	1,04887
Stammwürze	GG %	9,75	11,72	9,85	12,12
Stammwürze	GV %	10,13	12,28	10,24	12,71
EV ^o , scheinbar	%	82,0	81,0	83,6	80,8
Farbe	EBC	4,9	8,3	5,3	8,8
pH		5,83	5,69	5,87	5,71
Gesamt-N (12 GG %)	mg/100ml	92,3	88,3	98,9	87,6
Koag-N (12 GG %)	mg/100ml	6,6	3,0	11,2	4,6
FAN (12 GG %)	mg/100ml	13,5	13,2	13,9	13,5
Gesamtpolyphenole (12 GG %)	mg/l	75	87	80	92
Anthocyanogene (12 GG %)	mg/l	23	24	22	20
Polymerisationsindex		3,26	3,63	3,64	4,60
Tannoide	mg PVP/l	14	15	12	13
Indikator-Time-Test	s	18	24	22	25
Photometrische Jodprobe		0,940	0,756	0,774	0,737
β-Glucane	mg/l	154	192	157	195
Viskosität (12 GG %)	mPas*s	2,259	2,136	2,179	2,105

Tab. T97: Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 2
 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Analysenbezeichnung	Einheit	DV, Pfvoll	DV, AW	IV, Pfvoll	IV, AW
Laborquotient		1,03978	1,04662	1,03998	1,04695
Stammwürze	GG %	9,95	11,59	10,00	12,37
Stammwürze	GV %	10,32	12,11	10,38	12,96
EV ^o , scheinbar	%	91,2	90,4	90,8	89,8
Farbe	EBC	5,1	8,1	5,4	8,5
pH		5,95	5,82	5,98	5,82
Gesamt-N (12 GG %)	mg/100ml	106,7	104,4	109,6	103,2
MgSO ₄ -N (12 GG %)	mg/100ml				
Koag-N (12 GG %)	mg/100ml	2,9	0,8	2,9	1,6
FAN (12 GG %)	mg/100ml	22,3	21,5	22,7	21,6
Gesamtpolyphenole (12 GG %)	mg/l	189	202	188	211
Anthocyanogene (12 GG %)	mg/l	81	88	95	87
Polymerisationsindex		2,33	2,30	1,98	2,43
Tannoide	mg PVP/l	99	85	101	90
Indikator-Time-Test	s				
Photometrische Jodprobe		0,489	0,513	0,524	0,619
β-Glucane	mg/l	41	55	37	77
Viskosität (12 GG %)	mPas*s	1,718	1,715	1,714	1,702

Tab. T98: Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 3 (1)
Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Analysenbezeichnung	Einheit	DV, Pfvoll	DV, AW	IV, Pfvoll	IV, AW
Laborquotient		1,03826	1,04371	1,03932	1,04833
Stammwürze	GG %	9,58	10,90	9,84	12,00
Stammwürze	GV %	9,93	11,36	10,21	12,56
EV°, scheinbar	%		84,5		84,0
Farbe	EBC	5,1	6,6	4,2	7,7
pH		5,86	5,70	5,91	5,77
Gesamt-N (12 GG %)	mg/100ml	108,0	94,9	98,5	97,8
MgSO ₄ -N (12 GG %)	mg/100ml				
Koag-N (12 GG %)	mg/100ml	3,5	2,0	4,9	4,9
FAN (12 GG %)	mg/100ml	17,3	17,2	18,2	18,7
Gesamtpolyphenole (12 GG %)	mg/l	173	188	202	212
Anthocyanogene (12 GG %)	mg/l	61	62	68	68
Polymerisationsindex					
Tannoide	mg PVP/l	83	70	99	87
Indikator-Time-Test	s				
Photometrische Jodprobe		0,339	0,349	0,337	0,421
β-Glucane	mg/l	247	260	143	156
Viskosität (12 GG %)	mPas*s	1,788	1,811	1,745	1,762

Tab. T99: Chemisch-technische Würzeanalysen, Versuchsreihe 3 (2)
 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

Analysenbezeichnung	Einheit	GV, Pfvoll	GV, AW	KV, Pfvoll	KV, AW
Laborquotient		1,03858	1,04336	1,03842	1,04630
Stammwürze	GG %	9,66	10,81	9,62	11,52
Stammwürze	GV %	10,01	11,26	9,97	12,03
EV ^o , scheinbar	%		84,9		86,9
Farbe	EBC	6,1	7,2	5,1	5,7
pH		5,85	5,74	5,70	5,61
Gesamt-N (12 GG %)	mg/100ml	96,9	98,2	90,8	89,9
MgSO ₄ -N (12 GG %)	mg/100ml				
Koag-N (12 GG %)	mg/100ml	3,6	4,7	5,2	3,9
FAN (12 GG %)	mg/100ml	18,9	18,8	16,1	16,0
Gesamtpolyphenole (12 GG %)	mg/l	174	196	171	198
Anthocyanogene (12 GG %)	mg/l	58	63	65	69
Polymerisationsindex					
Tannoide	mg PVP/l	78	70	77	79
Indikator-Time-Test	s				
Photometrische Jodprobe		0,428	0,482	0,342	0,632
β-Glucane	mg/l	306	306	289	299
Viskosität (12 GG %)	mPas*s	1,747	1,793	1,803	1,840

Tab. T100: Zuckerbestimmung, Maischende (78°C) und Vorderwürze (Durchschnittsprobe), VR1 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

	Infusionsverfahren				Dekoktionsverfahren			
	Maische [g/l]		Vorderwürze [g/l]		Maische [g/l]		Vorderwürze [g/l]	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Arabinose	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Galactose	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02
Glucose	14,22	14,18	13,63	13,66	14,09	14,04	12,39	12,30
Xylose	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
Fructose	2,43	2,46	2,41	2,43	2,39	2,43	2,16	2,16
Saccharose	2,80	2,76	2,62	2,80	3,06	3,02	2,73	2,68
Maltose	91,00	90,30	88,59	89,52	86,47	86,47	80,09	81,04
Maltotriose	15,68	15,58	15,45	15,75	14,86	14,95	13,82	13,98

Tab. T101: Zuckerbestimmung, Maischende (78°C) und Vorderwürze (Durchschnittsprobe), VR2 Unterschiede von Infusion und Dekoktionsverfahren

	Infusionsverfahren				Dekoktionsverfahren			
	Maische [g/l]		Vorderwürze [g/l]		Maische [g/l]		Vorderwürze [g/l]	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Arabinose	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	0,08	0,08
Galactose	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05
Glucose	14,86	15,00	8,06	8,18	14,97	15,01	12,13	12,32
Xylose	0,18	0,19	0,10	0,10	0,18	0,17	0,15	0,15
Fructose	2,12	2,23	1,18	1,20	1,99	2,05	1,58	1,66
Saccharose	6,99	7,25	3,77	3,86	7,73	7,77	6,33	6,42
Maltose	97,03	97,75	53,70	53,69	95,55	95,73	81,87	82,57
Maltotriose	19,78	19,81	10,53	10,55	19,93	19,85	16,75	16,77

Tab. T102: Zusammensetzung der Difco Yeast Nitrogen Base

Zusammensetzung	Konzentration
Ammoniumsulfat	5,0 g/l
Monokaliumphosphat	1,0 g/l
Mag/Inesiumsulfat	0,5 g/l
Natriumchlorid	0,1 g/l
Calciumchlorid	0,1 g/l
L-Histidin Monohydrochlorid	10,0 mg/l
LD Methionine	20,0 mg/l
LD-Tryptophan	20,0 mg/l
Inositol	2000,0 mg/l
Borsäure	500,0 µg/l
Niacin	400,0 µg/l
Mangansulfat	400,0 µg/l
Pyridoxine HCL	400,0 µg/l
Zinksulfat	400,0 µg/l
Thiamine HCL	400,0 µg/l
Calciumpantothenat	400,0 µg/l
Eisenchlorid	200,0 µg/l
Natriummolybdat	200,0 µg/l
Riboflavin	200,0 µg/l
p-Aminobenzoessäure	200,0 µg/l
Kaliumjodid	100,0 µg/l
Kupfersulfat	40,0 µg/l
Folsäure	2,0 µg/l
Biotin	2,0 µg/l

Tab. T103 Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	3512,9	274,6	0,0	0,0	7564,4	1364,2	0,5	12,2
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	3687,8	309,3	0,0	0,0	9126,3	1459,2	0,4	12,2
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	nicht auswertbar							
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	3040,4	362,7	0,0	0,0	9355,9	1519,0	0,5	12,6
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	3339,0	379,9	0,0	0,0	9408,4	1581,6	0,5	12,7
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	2421,9	389,2	0,0	0,0	7791,7	1581,8	0,4	12,9

Tab. T104: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	12219,4	1438,2	218,3	49,9	29297,0	6902,2	1,7	10,3
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	14141,5	2226,9	360,0	48,5	34073,5	8048,1	1,4	10,2
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	nicht auswertbar							
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	9909,4	2568,4	363,8	46,7	35709,6	8243,9	0,9	10,6
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	7295,9	2579,4	298,1	40,3	33162,7	7834,0	1,4	10,9
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	5816,4	1854,1	125,4	0,0	30297,0	7560,6	1,0	11,1

Tab. T105: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acetaldehyd [µg/l]	Ethylacetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	8968,9	5608,7	717,7	91,1	45891,7	13221,1	0,6	8,2
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	8150,4	7489,4	1031,1	92,7	48388,2	13636,8	0,3	8,0
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	nicht auswertbar							
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	5160,7	7106,8	826,6	68,8	46670,9	12932,0	0,3	8,8
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	4855,0	6108,0	642,2	54,4	44370,0	12321,6	0,3	9,2
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	6369,0	5704,0	385,7	41,7	43021,6	12142,3	0,3	8,8

Tab. T106: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	7654,4	11677,2	1298,9	130,4	50894,5	15641,8	0,2	6,5
V 2: 80%Glu.; 20%Malt.	6577,9	12721,2	1553,2	128,8	52423,7	15468,0	0,1	6,1
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	nicht auswertbar							
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	4387,3	17730,9	1212,6	53,7	54784,5	16487,7	0,2	6,9
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	4444,3	9639,3	941,9	77,5	50234,1	14724,0	0,2	7,5
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	5897,1	11191,0	732,9	61,4	51155,4	15170,7	0,2	6,9

Tab. T107 Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 120 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	7386,3	17082,2	1638,9	174,0	54568,2	17413,9	nicht gemessen	4,9
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	6863,8	23794,3	2451,5	181,9	55910,3	17114,7	nicht gemessen	4,4
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	nicht auswertbar							
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	4486,8	27023,9	2703,8	180,4	59385,3	18319,8	nicht gemessen	5,4
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	4743,4	21564,1	1823,7	136,0	53920,8	16383,3	nicht gemessen	6,1
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	5171,1	30519,0	1863,0	141,1	56781,9	17250,6	nicht gemessen	4,5

Tab. T108 Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	3444,7	628,9	34,5	0,0	7281,3	1379,4	0,2	12,6
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	3450,2	748,4	43,5	0,0	7958,8	1419,0	0,2	12,7
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	2838,2	946,1	47,7	0,0	8519,2	1486,8	0,2	12,8
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	2952,1	1129,8	60,7	0,0	8846,3	1565,9	0,2	12,9
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	2675,3	1169,1	61,8	0,0	8150,5	1439,1	0,2	13,3
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	3640,1	923,5	35,6	0,0	7080,4	1226,0	0,2	13,9

Tab. T109 Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	7900,8	3610,0	249,1	69,6	21183,4	4571,2	0,2	10,1
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	6972,9	4345,0	294,5	50,4	24783,9	5258,6	0,1	10,4
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	7609,5	5823,6	411,8	65,9	29990,4	6477,7	0,1	9,7
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	5252,5	5164,2	332,5	52,2	25062,4	5483,6	0,1	9,8
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	6307,2	6083,1	366,2	57,0	25584,7	5522,6	0,2	10,7
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	8757,1	3097,8	148,9	33,5	19503,7	3606,6	0,1	11,1

Tab. T110: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	10207,4	5363,8	436,8	171,4	28876,7	7680,3	0,1	7,7
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	9087,3	6216,8	511,8	108,7	31416,5	8295,4	0,1	7,8
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	7826,9	8251,9	679,4	130,2	34464,5	9283,8	0,1	7,7
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	6335,3	8846,7	736,1	125,2	35656,9	9891,2	0,1	8,1
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	6194,0	10610,1	722,5	108,5	35622,1	9774,5	0,1	8,6
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	11007,8	6114,2	317,1	51,7	31236,0	7111,3	0,1	9,1

Tab. T111: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 34, Glucose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 100%Glu.; 0%Malt.	12555,83	10666,9	600,9	175,9	32315,4	9529,5	0,119	5,41
V2: 80%Glu.; 20%Malt.	10279,93	12205,9	745,1	123	36735,7	10771	0,086	5,48
V3: 60%Glu.; 40%Malt.	7817,92	15079	961,1	154	40562,7	12271,1	0,079	5,7
V4: 40%Glu.; 60%Malt.	8716,89	17623,8	1079,7	123,8	44310,7	13972,7	0,065	6,46
V5: 20%Glu.; 80%Malt.	6541,07	12152,1	737,9	78	42425,5	13085,9	0,042	6,96
V6: 0%Glu.; 100%Malt.	12811,47	10184,8	482,5	62,4	40043,2	10636,9	0,07	6,89

Tab. T112: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 24 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 95%Malt.; 5%Sacch.	5843,5	441,7	9,8	0,0	8997,7	2010,0	0,4	13,1
V2: 85%Malt.; 15%Sacch.	6293,4	538,6	25,5	0,0	13300,9	2975,6	0,5	13,1
V3: 70%Malt.; 30%Sacch.	5615,5	564,1	25,6	0,0	12050,3	2699,6	0,6	13,4
V4: 95%Malt.; 5%Fruc.	5098,5	616,1	0,0	0,0	2561,1	2561,1	0,6	13,0
V5: 85%Malt.; 15%Fruc.	5974,2	696,0	12,8	0,0	11976,8	2608,3	0,5	13,6
V6: 70%Malt.; 30%Fruc.	5543,6	695,1	26,2	0,0	13721,8	2989,2	0,6	13,1

Tab. T113: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 48 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 95%Malt.; 5%Sacch.	3819,3	3456,2	203,5	35,2	27662,1	7681,8	0,4	10,6
V2: 85%Malt.; 15%Sacch.	4167,9	5568,5	510,2	48,9	44113,3	12634,5	0,2	10,2
V3: 70%Malt.; 30%Sacch.	5410,0	5866,8	584,2	51,7	46340,6	13386,8	0,3	10,6
V4: 95%Malt.; 5%Fruc.	3538,8	2757,4	133,7	13,2	31060,5	8566,2	0,4	10,8
V5: 85%Malt.; 15%Fruc.	3896,2	4857,0	335,3	36,9	40076,5	11437,9	0,3	10,9
V6: 70%Malt.; 30%Fruc.	4433,4	6288,8	479,9	45,8	44565,4	12957,9	0,3	10,3

Tab. T114: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 72 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 95%Malt.; 5%Sacch.	2611,3	4257,4	224,3	32,7	25657,0	8214,1	0,1	5,6
V2: 85%Malt.; 15%Sacch.	3471,9	9817,0	902,6	60,1	49861,3	14791,4	0,1	7,2
V3: 70%Malt.; 30%Sacch.	2642,2	6667,7	759,6	58,9	38292,7	11601,2	0,1	8,6
V4: 95%Malt.; 5%Fruc.	3463,6	5553,6	262,7	45,1	36229,9	11363,7	0,2	7,1
V5: 85%Malt.; 15%Fruc.	3419,7	10313,3	759,0	71,9	47909,5	14645,1	0,2	7,2
V6: 70%Malt.; 30%Fruc.	3636,7	10908,0	932,5	72,5	51385,6	15803,4	0,1	6,6

Tab. T115: Ergebnisse der High-Gravity Modelllösungen, Stamm 68, Fructose- und Saccharose/Maltose-Verhältnis nach 96 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 95%Malt.; 5%Sacch.	2353,3	4388,8	201,0	34,8	21485,0	7345,8	0,1	5,6
V2: 85%Malt.; 15%Sacch.	3561,1	13597,7	1036,2	71,7	53219,0	16080,5	0,1	7,2
V3: 70%Malt.; 30%Sacch.	2968,6	10083,5	911,5	71,4	42329,0	13044,6	0,1	8,6
V4: 95%Malt.; 5%Fruc.	3530,4	9812,2	338,2	47,0	42690,3	14393,6	0,2	7,1
V5: 85%Malt.; 15%Fruc.	4240,9	15933,6	904,6	81,5	51324,0	16529,8	0,1	7,2
V6: 70%Malt.; 30%Fruc.	3504,6	16691,2	1077,6	86,9	54466,9	16317,6	0,1	6,6

Tab. T116: Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 24 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 73,9%Malt 7,5%Glu.	4693,2	11114,3	541,0	83,4	16128,4	4087,4	nicht gemessen	14,7
V2: 67,3%Malt13 ,3% Glu.	4560,6	11121,7	537,4	65,6	16607,4	4118,8	nicht gemessen	14,6
V3: 61,5%Malt 19,2%Glu.	5124,5	13623,6	672,7	80,6	17813,4	4472,5	nicht gemessen	14,4
V4: 55,6%Malt 25,1%Glu.	4411,3	14901,7	697,6	96,3	16142,7	4210,0	nicht gemessen	14,5
V5: 43,8%Malt 36,9%Glu.	4062,8	13894,0	629,5	84,9	15694,3	4216,6	nicht gemessen	14,5

Tab. T117: Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 48 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 73,9%Malt 7,5%Glu.	6816,8	15619,2	1055,1	140,3	27142,2	8172,9	nicht gemessen	10,4
V2: 67,3%Malt13 ,3% Glu.	5831,7	14422,4	986,1	140,8	26299,6	8026,4	nicht gemessen	10,5
V3: 61,5%Malt 19,2%Glu.	6351,5	20422,6	1437,5	195,7	28390,7	8616,0	nicht gemessen	10,2
V4: 55,6%Malt 25,1%Glu.	6502,8	20558,2	1385,2	215,7	27541,2	8694,3	nicht gemessen	10,4
V6: 43,8%Malt 36,9%Glu.	7215,8	19962,8	1307,3	203,2	27808,1	8790,1	nicht gemessen	10,4

Tab. T118: Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 72 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 73,9%Malt 7,5%Glu.	7588,4	14180,3	1205,9	132,8	32029,8	9844,1	nicht gemessen	7,8
V2: 67,3%Malt 13,3% Glu.	7191,4	14034,0	1164,7	137,5	31191,1	10148,5	nicht gemessen	8,0
V3: 61,5%Malt 19,2%Glu.	6883,8	20501,9	1776,8	200,1	33243,4	10588,9	nicht gemessen	7,7
V4: 55,6%Malt 25,1%Glu.	7465,5	21065,1	1748,8	229,9	32781,1	11059,8	nicht gemessen	8,0
V6: 43,8%Malt 36,9%Glu.	7129,1	20183,9	1463,3	169,4	31823,5	10609,0	nicht gemessen	8,0

Tab. T119: Ergebnisse der praxisnahen Modelllösungen, Stamm 68, nach 96 Stunden

Zucker verhältnis [%]	Leichtflüchtige Ester				Höhere Alkohole		Diacetyl [mg/l]	Es [% Gem]
	Acet aldehyd [µg/l]	Ethyl acetat [µg/l]	Isoamyl acetat [µg/l]	Hexan säure ethylester [µg/l]	3-Methyl butanol [µg/l]	2-Methyl butanol [µg/l]		
V1: 73,9%Malt 7,5%Glu.	6060,1	21601,1	1615,8	203,3	33179,9	10564,0	nicht gemessen	6,4
V2: 67,3%Malt13 ,3% Glu.	7770,4	25625,0	1837,7	217,7	33413,0	11238,5	nicht gemessen	6,5
V3: 61,5%Malt 19,2%Glu.	6912,2	31053,2	2339,8	261,6	34398,0	11402,0	nicht gemessen	6,4
V4: 55,6%Malt 25,1%Glu.	6911,8	28067,8	2026,6	251,8	33604,5	11871,0	nicht gemessen	6,7
V6: 43,8%Malt 36,9%Glu.	8439,1	32228,9	2300,4	287,9	33054,0	11437,9	nicht gemessen	6,7

Tab. T120: Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 68, nach 96 Stunden

Stamm 68 [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1122	2599	3114	2744
Ethylacetat	18567	26653	28556	30119
Acetaldehyd	6078	6795	5146	5759

Tab. T121: Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 34, nach 96 Stunden

Stamm 34 [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	837	2066	2543	2230
Ethylacetat	17022	17832	22544	26936
Acetaldehyd	4997	5616	5417	4648

Tab. T122: Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Stamm 252, nach 96 Stunden

Stamm 252 [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1358	2546	3591	3498
Ethylacetat	19021	23175	35790	36509
Acetaldehyd	3024	3469	3743	3799

Tab. T123: Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Brauereihefe A, nach 96 Stunden, 1. – 4. Führung

1. Führung [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1977	2054	2222	2397
Ethylacetat	24560	23890	21618	27122
Acetaldehyd	8021	7760	7349	8347
2. Führung [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1922	2018	2460	2633
Ethylacetat	22198	24196	19756	24196
Acetaldehyd	4587	4633	4082	5046
3. Führung [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	2108	2285	2757	2839
Ethylacetat	23054	23345	20878	27151
Acetaldehyd	5877	6216	4840	6099
4. Führung [µg/l]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1803	2026	2274	2406
Ethylacetat	21055	20470	19162	22160
Acetaldehyd	5342	4191	4754	4849

Tab. T124: Ergebnisse der 12 prozentigen Modelllösungen, Brauereihefe B, nach 96 Stunden, 1. – 4. Führung

1. Führung [$\mu\text{g/l}$]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1441	2279	3716	3154
Ethylacetat	17046	20165	27528	22605
Acetaldehyd	7023	8570	6158	6540
2. Führung [$\mu\text{g/l}$]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1574	2179	5345	3804
Ethylacetat	20457	20895	33211	25215
Acetaldehyd	7246	7672	7415	7270
3. Führung [$\mu\text{g/l}$]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1604	2581	3513	4247
Ethylacetat	23369	28323	27678	27802
Acetaldehyd	7546	8166	5841	6988
4. Führung [$\mu\text{g/l}$]	100 % Malt	80 % Malt. 20 % Glu.	60 % Malt. 40 % Glu.	40 % Malt. 60 % Glu.
3-Methylbutylacetat	1392	2202	2803	3623
Ethylacetat	24650	33697	29659	26967
Acetaldehyd	7072	7235	4470	6676

Tab. T125: Höhere Alkohole und Ester im Bioreaktor bei $E_S = 4 \%$

Substanz	Zusatz von		
	40 g/l Malt.	10 g/l Malt. 30g/l Glu.	40g/l Glu.
Acetaldehyd	20831	13379	13101
Propanol-1	72153	14896	13953
Ethylacetat	12463	12873	9977
2-Methylpropanol	25245	24136	23896
3-Methylbutanol	50922	55007	52774
2-Methylbutanol	11411	13219	10685
2-Methylpropylacetat	86	122	77
Buttersäureethylester	32	59	23
3-Methylbutylacetat	792	1345	871
2-Methylbutylacetat	78	117	73
Hexansäureethylester	71	115	77

Tab. T126: Höhere Alkohole und Ester im Bioreaktor, Reaktorbedingungen und Vergleichsgärung

Substanz	Bedingungen des Bioreaktors			Vergleichsgärung im Kleinsudwerk
	kombiniert	nur Druck	Nur Konvektion	
Acetaldehyd	20831	17492	14655	18352
Propanol-1	72153	13321	12555	14190
Ethylacetat	12463	24552	51873	48280
2-Methylpropanol	25245	25220	24400	28195
3-Methylbutanol	50922	49945	44993	36929
2-Methylbutanol	11411	13479	12371	12597
2-Methylpropylacetat	86	225	613	621
Buttersäureethyles	32	63	105	94
3-Methylbutylaceta	792	2448	4785	4220
2-Methylbutylaceta	78	246	536	575
Hexansäureethyles	71	194	369	396

Tab. T127:: Chemisch-technische Analysen der Versuchsreihe 1,
Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

20°C / 5 Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,60	5,45	5,52
Ew [%mas]	4,52	4,36	4,25	4,23
Es [%mas]	2,57	2,34	2,28	2,24
Stw. [%mas]	12,71	12,82	12,50	12,59
Vw [%]	65,98	67,54	67,52	67,90
Vs [%]	79,79	81,74	81,76	82,23

Probe 20°C / 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,60	5,37	5,47
Ew [%mas]	4,52	4,32	4,33	4,32
Es [%mas]	2,57	2,31	2,40	2,35
Stw. [%mas]	12,71	12,79	12,47	12,60
Vw [%]	65,98	67,71	66,74	67,20
Vs [%]	79,79	81,96	81,53	81,34

Probe 15°C / 5Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,59	5,41	5,48
Ew [%mas]	4,52	4,25	4,26	4,22
Es [%mas]	2,57	2,24	2,31	2,25
Stw. [%mas]	12,71	12,71	12,46	12,53
Vw [%]	65,98	68,06	67,28	67,76
Vs [%]	79,79	82,40	82,20	82,06

Probe 15°C / 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,58	5,40	5,48
Ew [%mas]	4,52	4,34	4,34	4,28
Es [%mas]	2,57	2,33	2,40	2,31
Stw. [%mas]	12,71	12,78	12,52	12,58
Vw [%]	65,98	67,54	66,81	67,44
Vs [%]	79,79	81,74	80,87	81,65

Probe 10°C / 5Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,55	5,48	5,41
Ew [%mas]	4,52	4,33	4,33	4,27
Es [%mas]	2,57	2,33	2,35	2,32
Stw. [%mas]	12,71	12,72	12,62	12,47
Vw [%]	65,98	67,51	67,22	67,23
Vs [%]	79,79	81,71	81,37	81,40

Flasche 5Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,60	5,56	5,50
Ew [%mas]	4,52	4,25	4,25	4,24
Es [%mas]	2,57	2,23	2,24	2,25
Stw. [%mas]	12,71	12,73	12,66	12,57
Vw [%]	65,98	68,09	67,95	67,78
Vs [%]	79,79	82,44	82,99	82,08

Flasche 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,42	5,60	5,56	5,51
Ew [%mas]	4,52	4,32	4,29	4,27
Es [%mas]	2,57	2,30	2,28	2,28
Stw. [%mas]	12,71	12,79	12,70	12,61
Vw [%]	65,98	67,74	67,75	67,65
Vs [%]	79,79	81,99	82,02	81,91

Tab. T128: pH-Werte der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	4,48	4,53	4,28	4,65
20°C / 1Mio	4,48	4,46	4,30	4,72
15°C / 5Mio	4,48	4,47	4,31	4,76
15°C / 1Mio	4,48	4,43	4,27	4,75
10°C / 5Mio	4,48	4,45	4,30	4,75
10°C / 1Mio	4,48	4,43	4,28	4,70
Flasche 1Mio	4,48	4,39	4,28	4,70
Flasche 5Mio	4,48	4,48	4,34	4,65

Tab. T129: Vicinale Diketone der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Diacetyl [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5 Mio	0,36	0,14	0,10	0,09
20°C / 1Mio	0,36	0,11	0,11	0,14
15°C / 5Mio	0,36	0,16	0,13	0,11
15°C / 1Mio	0,36	0,16	0,14	0,12
10°C / 5Mio	0,36	0,25	0,18	0,14
10°C / 1 Mio	0,36	0,24	0,23	0,18
Flasche 1 Mio	0,36	0,15	0,14	0,11
Flasche 5 Mio	0,36	0,13	0,11	0,10

Pentandion [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20° / 5 Mio	0,08	0,02	0,01	0,01
20° / 1Mio	0,08	0,02	0,01	0,01
15° / 5Mio	0,08	0,03	0,03	0,02
15° / 1Mio	0,08	0,03	0,03	0,02
8° / 5Mio	0,08	0,04	0,03	0,02
8° / 1 Mio	0,08	0,05	0,05	0,03
Flasche 1 Mio	0,08	0,03	0,02	0,02
Flasche 5 Mio	0,08	0,02	0,01	0,01

[Anmerkung: Fast alle Proben der Versuchsreihe ohne Speisegabe weisen ein sehr hohes Diacetyl zu Pentandion Verhältnis auf, was eine mikrobielle Infektion vermuten lässt. Eine Infektion konnte durch die mikrobielle Abteilung des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I jedoch nicht festgestellt werden, die Diacetylwerte sind auch nicht überhöht]

Tab. T130: Höhere Alkohole und Ester der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Propanol-1 [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	22,30	25,69	26,52	24,35
20°C / 1Mio	22,30	24,50	25,03	23,84
15°C / 5Mio	22,30	24,45	25,51	24,15
15°C / 1Mio	22,30	24,06	26,09	24,46
10°C / 5Mio	22,30	22,84	25,79	22,22
10°C / 1Mio	22,30	23,40	25,21	23,28
Flasche 5Mio	22,30	23,86	25,29	23,77
Flasche 1Mio	22,30	24,59	25,29	25,12

2-Methylpropanol

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20° / 5Mio	24,71	25,90	26,71	25,70
20° / 1Mio	24,71	25,20	25,50	25,30
15° / 5Mio	24,71	25,96	26,02	25,97
15° / 1Mio	24,71	24,80	26,43	25,45
8° / 5Mio	24,71	24,26	26,19	24,19
8° / 1Mio	24,71	24,53	24,91	25,13
Flasche 5Mio	24,71	25,65	26,20	26,48
Flasche 1Mio	24,71	24,50	25,86	26,65

2-Methylbutanol [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	14,74	14,63	15,54	15,13
20°C / 1Mio	14,74	n.a.	14,37	14,59
15°C / 5Mio	14,74	14,66	14,48	15,02
15°C / 1Mio	14,74	14,13	14,99	14,34
10°C / 5Mio	14,74	13,71	14,94	13,75
10°C / 1Mio	14,74	13,83	14,12	14,19
Flasche 5Mio	14,74	14,72	14,94	15,05
Flasche 1Mio	14,74	14,84	14,87	15,11

3-Methylbutanol [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	52,37	52,84	53,50	53,25
20°C / 1Mio	52,37	52,09	50,93	52,58
15°C / 5Mio	52,37	52,57	50,80	52,97
15°C / 1Mio	52,37	51,18	52,42	52,40
10°C / 5Mio	52,37	50,07	52,10	50,36
10°C / 1Mio	52,37	50,95	49,27	52,17
Flasche 5Mio	52,37	53,15	52,83	53,87
Flasche 1Mio	52,37	53,77	50,90	54,60

2-Methylpropylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,19	0,37	0,18	0,22
20°C / 1Mio	0,19	0,24	0,18	0,22
15°C / 5Mio	0,19	0,32	0,19	0,25
15°C / 1Mio	0,19	0,26	0,22	0,25
10°C / 5Mio	0,19	0,35	0,21	0,24
10°C / 1Mio	0,19	0,24	0,19	0,22
Flasche 5Mio	0,19	0,26	0,22	0,27
Flasche 1Mio	0,19	0,24	0,20	0,24

2-Methylbutylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,28	0,40	0,24	0,25
20°C / 1Mio	0,28	0,31	0,27	0,29
15°C / 5Mio	0,28	0,38	0,28	0,32
15°C / 1Mio	0,28	0,33	0,32	0,34
10°C / 5Mio	0,28	0,42	0,30	0,30
10°C / 1Mio	0,28	0,31	0,28	0,29
Flasche 5Mio	0,28	0,33	0,30	0,33
Flasche 1Mio	0,28	0,31	0,28	0,31

3-Methylbutylacetat

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	2,78	4,33	2,42	2,55
20°C / 1Mio	2,78	3,14	2,67	2,93
15°C / 5Mio	2,78	3,99	2,88	3,37
15°C / 1Mio	2,78	3,34	3,19	3,41
10°C / 5Mio	2,78	4,36	3,06	3,15
10°C / 1Mio	2,78	3,08	2,79	2,93
Flasche 5Mio	2,78	3,43	3,12	3,55
Flasche 1Mio	2,78	3,09	2,78	3,17

Buttersäureethylester [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,10	0,21	0,10	0,13
20°C / 1Mio	0,10	0,13	0,10	0,12
15°C / 5Mio	0,10	0,17	0,10	0,14
15°C / 1Mio	0,10	0,14	0,12	0,14
10°C / 5Mio	0,10	0,19	0,11	0,13
10°C / 1Mio	0,10	0,12	0,10	0,12
Flasche 5Mio	0,10	0,15	0,12	0,15
Flasche 1Mio	0,10	0,13	0,11	0,13

Hexansäureethylester [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,24	0,33	0,21	0,21
20°C / 1Mio	0,24	0,22	0,21	0,18
15°C / 5Mio	0,24	0,28	0,21	0,20
15°C / 1Mio	0,24	0,25	0,26	0,24
10°C / 5Mio	0,24	0,29	0,21	0,20
10°C / 1Mio	0,24	0,23	0,22	0,21
Flasche 5Mio	0,24	0,25	0,20	0,23
Flasche 1Mio	0,24	0,23	0,21	0,22

Ethylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	25,78	63,04	24,92	35,62
20°C / 1Mio	25,78	38,57	24,19	34,82
15°C / 5Mio	25,78	52,88	27,08	39,47
15°C / 1Mio	25,78	39,19	29,83	38,43
10°C / 5Mio	25,78	55,75	29,02	37,16
10°C / 1Mio	25,78	37,53	26,80	34,13
Flasche 5Mio	25,78	43,21	34,34	44,77
Flasche 1Mio	25,78	43,24	28,42	38,08

Acetaldehyd [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	2,98	11,88	1,26	1,99
20°C / 1Mio	2,98	8,88	11,92	9,44
15°C / 5Mio	2,98	6,86	5,42	5,06
15°C / 1Mio	2,98	6,24	7,55	7,37
10°C / 5Mio	2,98	5,08	3,55	3,55
10°C / 1Mio	2,98	4,21	4,67	5,92
Flasche 5Mio	2,98	4,32	5,96	7,03
Flasche 1Mio	2,98	6,69	8,08	7,22

Tab. T131: 4-Vinylguaiacol der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

4-Vinylguajacol [mg/l]

	Beginn	Woche 3
20°C / 5Mio	1,89	2,28
20°C / 1Mio	1,89	2,20
15°C / 5Mio	1,89	2,36
15°C / 1Mio	1,89	2,13
10°C / 5Mio	1,89	2,38
10°C / 1Mio	1,89	2,29
Flasche 5Mio	1,89	2,21
Flasche 1Mio	1,89	2,22

Tab. T132: Verkostungsergebnisse der Versuchsreihe 1, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Verkostung nach DLG

	DLG-Note
20°C/5Mio	4,3
20°C/1Mio	4,4
15°C/5Mio	4,3
15°C/1Mio	4,4
10°C/5Mio	4,4
10°C/1Mio	4,4
Flasche 5Mio	4,3
Flasche 1Mio	n.a.

Beurteilung des Geruchs nach Weißbierverkostungsschema

	estrige Note		phenolische Note		hefige Note	
	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität
20°C/5Mio	3,0	3,3	3,8	3,3	2,8	3,3
20°C/1Mio	3,8	3,8	3,5	3,8	3,0	3,5
15°C/5Mio	2,5	2,8	3,5	3,0	3,3	3,3
15°C/1Mio	2,5	3,3	3,5	3,3	3,3	3,3
10°C/5Mio	3,0	3,0	4,0	3,3	3,3	3,0
10°C/1Mio	2,5	3,3	3,0	3,0	3,5	2,8
Flasche 5Mio	3,5	3,3	3,7	3,7	3,5	2,3
Flasche 1Mio	-	-	-	-	-	-

Beurteilung des Geschmacks nach Weißbierverkostungsschema

	estrige Note		phenolische Note		hefige Note	
	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität
20°C/5Mio	2,8	3,5	3,8	3,3	2,8	3,3
20°C/1Mio	4,0	3,8	3,5	3,8	2,8	3,5
15°C/5Mio	2,8	3,3	3,5	3,3	3,3	3,3
15°C/1Mio	2,5	3,8	3,5	3,3	3,0	3,5
10°C/5Mio	3,0	3,3	3,8	3,3	3,0	3,0
10°C/1Mio	2,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,0
Flasche 5Mio	2,8	3,0	3,7	3,3	3,3	2,0
Flasche 1Mio	-	-	-	-	-	-

Tab. T133: Chemisch-technische Analysen der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

20°C / 5Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,10	5,46	5,56	5,65
Ew [%mas]	5,11	4,23	4,19	4,21
Es [%mas]	3,28	2,26	2,19	2,18
Stw. [%mas]	12,80	12,50	12,62	12,77
Vw [%]	61,68	67,66	68,23	68,47
Vs [%]	74,40	81,94	82,63	82,92

20°C / 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,1	5,44	5,61	5,67
Ew [%mas]	5,11	4,3	4,22	4,19
Es [%mas]	3,28	2,26	2,19	2,18
Stw. [%mas]	12,8	12,54	12,71	12,77
Vw [%]	61,68	67,18	68,31	68,67
Vs [%]	74,4	81,33	82,72	83,17

15°C / 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,10	5,22	5,37	5,44
Ew [%mas]	5,11	4,69	4,56	4,54
Es [%mas]	3,28	2,81	2,62	2,58
Stw. [%mas]	12,80	12,58	12,67	12,76
Vw [%]	61,68	64,27	65,59	65,99
Vs [%]	74,40	77,67	79,31	79,80

10°C / 5 Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [%Vol]	5,10	5,32	5,51	5,58
Ew [%mas]	5,11	4,45	4,32	4,29
Es [%mas]	3,28	2,53	2,34	2,29
Stw. [%mas]	12,80	12,50	12,66	12,74
Vw [%]	61,68	65,91	67,37	67,78
Vs [%]	74,40	79,74	81,54	82,06

10°C / 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,10	5,19	5,36	5,41
Ew [%mas]	5,11	4,71	4,57	4,53
Es [%mas]	3,28	2,83	2,64	2,58
Stw. [%mas]	12,80	12,55	12,68	12,70
Vw [%]	61,68	64,05	65,46	65,92
Vs [%]	74,40	77,42	79,15	79,72

Flasche 5Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,10	-	5,61	5,64
Ew [%mas]	5,11	-	4,30	4,21
Es [%mas]	3,28	-	2,30	2,18
Stw. [%mas]	12,80	-	12,68	12,77
Vw [%]	61,68	-	67,62	68,47
Vs [%]	74,40	-	81,86	82,92

Flasche 1Mio

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
Alkohol [Vol%]	5,10	-	5,54	5,65
Ew [%mas]	5,11	-	4,19	4,23
Es [%mas]	3,28	-	2,17	2,20
Stw. [%mas]	12,80	-	12,69	12,77
Vw [%]	61,68	-	68,43	68,33
Vs [%]	74,40	-	82,87	82,74

Tab. T134: pH-Werte der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	4,60	4,38	4,36	4,26
20°C / 1Mio	4,60	4,36	4,35	4,28
15°C / 5Mio	4,60	4,37	4,36	4,33
15°C / 1Mio	4,60	4,36	4,37	4,31
10°C / 5Mio	4,60	4,36	4,38	4,33
10°C / 1Mio	4,60	4,37	4,38	4,33
Flasche 1Mio	4,60	-	4,35	4,29
Flasche 5Mio	4,60	-	4,36	4,26

Tab. T135: Vicinale Diketone der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Diacetyl [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5 Mio	0,95	0,31	0,17	0,14
20°C / 1Mio	0,95	0,24	0,16	0,15
15°C / 5Mio	0,95	0,40	0,21	0,15
15°C / 1Mio	0,95	0,32	0,20	0,18
10°C / 5Mio	0,95	0,86	0,39	0,23
10°C / 1 Mio	0,95	0,58	0,38	0,27
Flasche 1 Mio	0,95	0,15	0,29	0,18
Flsche 5 Mio	0,95	0,11	0,11	0,11

Pentandion [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5 Mio	0,18	0,02	0,02	0,02
20°C / 1Mio	0,18	0,05	0,03	0,02
15°C / 5Mio	0,18	0,11	0,05	0,03
15°C / 1Mio	0,18	0,07	0,04	0,03
10°C / 5Mio	0,18	0,18	0,08	0,04
10°C / 1 Mio	0,18	0,13	0,08	0,05
Flasche 1 Mio	0,18	0,04	0,03	0,03
Flsche 5 Mio	0,18	0,02	0,02	0,02

Tab. T136: Höhere Alkohole und Ester der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

Propanol-1 [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	24,08	25,56	26,42	27,51
20°C / 1Mio	24,08	25,60	26,88	26,31
15°C / 5Mio	24,08	25,98	25,42	27,19
15°C / 1Mio	24,08	24,66	24,90	25,27
10°C / 5Mio	24,08	25,92	25,71	25,71
10°C / 1Mio	24,08	25,90	25,71	25,71
Flasche 5Mio	24,08	25,90	25,71	25,71
Flasche 1Mio	24,08	25,92	25,71	25,71

2-Methylpropanol [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	26,00	29,65	29,93	29,50
20°C / 1Mio	26,00	27,98	28,43	28,23
15°C / 5Mio	26,00	28,91	28,39	29,41
15°C / 1Mio	26,00	28,91	28,39	29,41
10°C / 5Mio	26,00	28,86	28,71	29,12
10°C / 1Mio	26,00	28,88	27,78	28,40
Flasche 5Mio	26,00	28,74	28,18	28,26
Flasche 1Mio	26,00	28,45	29,08	28,76

2-Methylbutanol [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	13,99	15,48	15,95	15,62
20°C / 1Mio	13,99	14,88	15,31	15,24
15°C / 5Mio	13,99	15,40	15,77	15,73
15°C / 1Mio	13,99	14,42	14,80	14,43
10°C / 5Mio	13,99	14,72	15,17	15,08
10°C / 1Mio	13,99	14,69	14,77	14,56
Flasche 5Mio	13,99	16,07	15,62	15,08
Flasche 1Mio	13,99	15,84	15,75	15,19

3-Methylbutanol [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	44,16	49,12	49,87	50,41
20°C / 1Mio	44,16	48,18	47,82	46,99
15°C / 5Mio	44,16	49,31	47,55	48,34
15°C / 1Mio	44,16	46,93	45,53	45,87
10°C / 5Mio	44,16	48,10	46,53	47,35
10°C / 1Mio	44,16	48,32	45,64	46,31
Flasche 5Mio	44,16	50,66	49,82	49,35
Flasche 1Mio	44,16	49,47	49,29	48,84

2-Methylpropylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,22	0,30	0,28	0,24
20°C / 1Mio	0,22	0,29	0,30	0,26
15°C / 5Mio	0,22	0,31	0,31	0,28
15°C / 1Mio	0,22	0,33	0,35	0,30
10°C / 5Mio	0,22	0,34	0,32	0,27
10°C / 1Mio	0,22	0,27	0,27	0,26
Flasche 5Mio	0,22	0,42	0,38	0,30
Flasche 1Mio	0,22	0,28	0,31	0,27

2-Methylbutylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,30	0,37	0,32	0,28
20°C / 1Mio	0,30	0,38	0,39	0,37
15°C / 5Mio	0,30	0,40	0,40	0,38
15°C / 1Mio	0,30	0,43	0,45	0,40
10°C / 5Mio	0,30	0,42	0,39	0,36
10°C / 1Mio	0,30	0,35	0,34	0,34
Flasche 5Mio	0,30	0,55	0,43	0,37
Flasche 1Mio	0,30	0,38	0,37	0,34

3-Methylbutylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	2,57	3,27	2,85	2,41
20°C / 1Mio	2,57	3,20	3,31	3,11
15°C / 5Mio	2,57	3,44	3,44	3,34
15°C / 1Mio	2,57	3,65	3,81	3,40
10°C / 5Mio	2,57	3,67	3,42	3,14
10°C / 1Mio	2,57	3,01	2,89	2,95
Flasche 5Mio	2,57	4,87	3,90	3,33
Flasche 1Mio	2,57	3,25	3,25	2,92

Buttersäureethylester [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,10	0,13	0,13	0,11
20°C / 1Mio	0,10	0,12	0,13	0,12
15°C / 5Mio	0,10	0,13	0,14	0,13
15°C / 1Mio	0,10	0,14	0,15	0,13
10°C / 5Mio	0,10	0,15	0,15	0,12
10°C / 1Mio	0,10	0,12	0,12	0,12
Flasche 5Mio	0,10	0,19	0,18	0,15
Flasche 1Mio	0,10	0,12	0,14	0,12

Hexansäureethylester [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	0,19	0,18	0,17	0,16
20°C / 1Mio	0,19	0,22	0,22	0,21
15°C / 5Mio	0,19	0,21	0,20	0,20
15°C / 1Mio	0,19	0,23	0,23	0,21
10°C / 5Mio	0,19	0,22	0,18	0,18
10°C / 1Mio	0,19	0,20	0,18	0,18
Flasche 5Mio	0,19	0,31	0,22	0,18
Flasche 1Mio	0,19	0,22	0,18	0,17

Ethylacetat [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	30,01	43,55	38,85	34,39
20°C / 1Mio	30,01	39,10	40,01	34,68
15°C / 5Mio	30,01	42,88	43,43	37,71
15°C / 1Mio	30,01	45,49	48,86	39,51
10°C / 5Mio	30,01	48,02	44,96	36,88
10°C / 1Mio	30,01	37,74	38,03	36,52
Flasche 5Mio	30,01	60,36	58,39	45,33
Flasche 1Mio	30,01	39,94	46,71	40,01

Acetaldehyd [mg/l]

	Beginn	Woche 1	Woche 2	Woche 3
20°C / 5Mio	8,22	9,08	1,86	1,66
20°C / 1Mio	8,22	10,17	6,34	5,59
15°C / 5Mio	8,22	10,62	7,09	5,82
15°C / 1Mio	8,22	12,98	11,33	11,19
10°C / 5Mio	8,22	15,67	13,78	8,70
10°C / 1Mio	8,22	9,79	8,82	8,63
Flasche 5Mio	8,22	5,46	6,17	6,33
Flasche 1Mio	8,22	7,30	7,76	7,67

Tab. T137: 4-Vinylguaiacol der Versuchsreihe 2, Aromastoffbildung während der Flaschen- und Tankreifung

4-Vinylguajacol [mg/l]

	Beginn	Woche 3
20°C / 5Mio	1,91	2,27
20°C / 1Mio	1,91	2,22
15°C / 5Mio	1,91	2,35
15°C / 1Mio	1,91	2,40
10°C / 5Mio	1,91	2,48
10°C / 1Mio	1,91	2,36
Flasche 5Mio	1,91	2,35
Flasche 1Mio	1,91	2,33

Tab. T137: Verkostungsergebnisse

Verkostung nach DLG

	DLG-Note
20°C/5Mio	4,4
20°C/1Mio	4,3
15°C/5Mio	4,6
15°C/1Mio	4,2
10°C/5Mio	4,4
10°C/1Mio	4,2
Flasche 5Mio	4,5
Flasche 1Mio	4,5

Beurteilung des Geruchs nach Weißbierverkostungsschema

	estrige Note		phenolische Note		hefige Note	
	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität
20°C/5Mio	2,4	3,0	3,8	3,2	2,6	2,8
20°C/1Mio	2,6	2,9	2,6	2,6	2,1	2,6
15°C/5Mio	2,4	2,8	3,2	3,0	2,4	3,3
15°C/1Mio	2,4	2,3	2,9	2,6	2,1	2,4
10°C/5Mio	2,4	3,0	2,6	3,0	2,4	2,8
10°C/1Mio	2,4	2,6	2,6	3,0	2,4	2,7
Flasche 5Mio	2,6	2,6	3,0	3,4	2,2	3,0
Flasche 1Mio	2,9	3,4	2,6	3,2	2,4	3,3

Beurteilung des Geschmacks nach Weißbierverkostungsschema

	estrige Note		phenolische Note		hefige Note	
	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität	Intensität	Qualität
20°C/5Mio	2,1	2,8	3,6	3,3	2,5	2,9
20°C/1Mio	2,5	3,0	2,4	3,2	2,1	3,2
15°C/5Mio	3,0	3,4	3,1	2,6	2,2	3,3
15°C/1Mio	2,4	2,1	2,9	2,4	2,0	2,6
10°C/5Mio	1,9	2,5	2,6	3,1	1,9	3,0
10°C/1Mio	2,2	2,8	2,4	3,2	2,2	2,7
Flasche 5Mio	2,4	3,1	3,4	3,6	2,5	3,0
Flasche 1Mio	2,9	3,1	2,9	3,0	2,6	3,1

Tab. T138: Höhere Alkohole und Ester der Versuche zur isothermen Flaschengärung

	10°C Isotherm	16°C Isotherm	8°C Isotherm	20°C Isotherm	klassisch
Substanz	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Ethylacetat	44645	42543	40887	43880	45076
Buttersäureethylester	107	162	253	254	205
3-Methylbutylacetat	2853	3256	3388	3644	3570
2-Methylbutylacetat	267	278	232	298	304
Hexansäureethylester	102	144	157	152	159
Propanol-1	21802	23094	23721	23290	24451
2-Methylpropanol	30109	31259	33173	33615	32687
3-Methylbutanol	53116	54586	57823	57379	56201
2-Methylbutanol	14496	15322	15874	15267	15586

Tab. T139: Diacetylwerte der Versuche zur isothermen Flaschengärung

	10°C Isotherm	16°C Isotherm	8°C Isotherm	20°C Isotherm	klassisch
Substanz	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Diacetyl	0,23	0,15	0,13	0,11	0,13

Tab. T140: Höhere Alkohole und Ester, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren

	nicht geschädigte Hefe				
Konzentrationen [µg/l]	0	4	6	8	10
Acetaldehyd	3220	3609	3669	3498	3455
Propanol-1	14791	14706	14920	14828	14895
Ethylacetat	51861	54467	58123	67928	60178
2-Methylpropanol	14404	14167	14106	14256	14211
3-Methylbutanol	48298	47960	47943	48390	48255
2-Methylbutanol	11261	11154	11157	11240	11184
2-Methylpropylacetat	279	289	305	349	307
Buttersäureethylester	164	175	181	209	182
3-Methylbutylacetat	5873	5902	6091	6784	5800
2-Methylbutylacetat	474	477	495	537	464
Hexansäureethylester	277	261	267	288	233

Tab. T141: Höhere Alkohole und Ester, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren

	geschädigte Hefe				
Konzentrationen [µg/l]	0	4	6	8	10
Acetaldehyd	3101	3442	3218	3189	2987
Propanol-1	14835	14967	14906	14759	14627
Ethylacetat	65779	65721	59964	65239	65076
2-Methylpropanol	14477	14363	14217	14257	14103
3-Methylbutanol	49059	48589	48416	48482	48277
2-Methylbutanol	11405	11281	11210	11239	11172
2-Methylpropylacetat	332	336	301	327	319
Buttersäureethylester	193	198	180	193	192
3-Methylbutylacetat	6347	6333	5668	6019	5839
2-Methylbutylacetat	513	510	462	484	467
Hexansäureethylester	268	260	230	238	230

Tab. T142: Alterungsindikatoren, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren

Alter.indikatoren [$\mu\text{g/l}$]	nicht geschädigte Hefe				
	0	4	6	8	10
2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal	13,98	29,92	36,36	36,87	41,38
2-Furfural	36,64	148,13	234,57	268,73	403,69
5-Methyl-Furfural	5,72	5,88	7,25	7,41	8,31
Benzaldehyd	3,59	7,15	8,39	8,46	8,81
2-Phenyl-Ethanal	10,55	40,29	48,78	50,73	54,06
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	0,87	1,24	1,50	1,78	1,87
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	0,50	0,61	0,68	0,78	1,01
2-Acetyl-Furan	2,41	4,13	5,44	6,02	8,14
2-Propionyl-Furan	1,58	2,23	2,70	3,56	4,42
5,5-Dimethyl-2(5H)-Furanon	24,29	27,40	28,02	29,14	29,98
gamma-Nonalacton	34,65	42,85	45,02	45,53	47,48
S. Wärme-indikatoren	71	191	280	314	451
S. Sauerstoff-indikatoren	28	77	94	96	104
S. Alterungs-komponenten	110	282	391	430	579

Tab. T143: Alterungsindikatoren, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren

Alter.indikatoren [$\mu\text{g/l}$]	geschädigte Hefe				
	0	4	6	8	10
2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3-Methyl-Butanal	12,25	25,17	24,84	25,99	27,83
2-Furfural	43,02	136,48	199,07	240,15	342,34
5-Methyl-Furfural	4,76	6,01	6,12	6,60	7,86
Benzaldehyd	2,40	3,72	3,51	3,59	3,75
2-Phenyl-Ethanal	7,12	21,98	20,47	21,08	25,60
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	0,94	0,98	1,32	1,54	1,98
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	0,58	0,62	0,64	0,85	1,03
2-Acetyl-Furan	3,20	4,45	4,85	6,02	6,77
2-Propionyl-Furan	1,99	2,15	2,84	3,85	4,74
5,5-Dimethyl-2(5H)-Furanon	22,31	24,66	26,17	30,76	34,92
gamma-Nonalacton	36,84	37,54	39,28	41,16	41,97
S. Wärme-indikatoren	80	174	238	281	384
S. Sauerstoff-indikatoren	22	51	49	51	57
S. Alterungs-komponenten	113	239	303	351	464

Tab. T144: Bieraromastoffe, Reihe 1, forcierte Alterung von Weißbieren

µg/l	nicht geschädigte Hefe				
	0	4	6	8	10
Hexanol-1	7,16	11,45	12,48	13,34	11,49
Heptanol-1	2,23	2,76	3,39	3,71	2,87
Octanol-1	5,83	6,37	6,47	6,85	6,79
Decanol-1	2,87	3,15	2,76	3,30	3,05
2-Phenylethanol	18,51	18,84	18,78	18,17	20,11
Furfurylalkohol	0,43	0,74	0,97	1,49	0,66
Essigsäure-Isobutylester	0,17	0,22	0,22	0,24	0,21
Essigsäure-Hexylester	8,98	9,15	8,72	8,93	8,41
Essigsäure-Heptylester	1,93	2,01	1,95	2,58	1,79
Essigsäure-Octylester	1,95	2,03	1,78	2,18	1,75
Essigsäure-Furfurylester	5,30	2,68	1,87	0,00	0,00
Essigsre-2-Phenylethylester	1,07	1,12	1,12	1,14	1,10
Buttersäure-Ethylester	0,15	0,19	0,19	0,20	0,18
Hexansäure-Ethylester	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19
Octansäure-Ethylester	0,35	0,35	0,32	0,41	0,35
Decansäure-Ethylester	0,36	0,36	0,33	0,65	0,45
Hexansäure	1,14	1,81	2,15	2,67	1,81
Octansäure	6,01	6,51	6,57	7,10	6,55
Nonansäure	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Decansäure	2,69	3,01	2,62	3,33	2,81
9-Decensäure	0,23	0,07	0,11	0,11	0,14
Dodecansäure	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
a-Terpineol	0,00	1,70	0,00	0,00	1,36
Linalool	2,49	3,73	3,96	6,34	4,13
Nerol	0,95	1,18	0,00	1,37	0,00
g-Nonalacton	34,68	43,58	48,44	53,62	53,22

Tab. T145: Bieraromastoffe, Reihe 2, forcierte Alterung von Weißbieren

µg/l	geschädigte Hefe				
	0	4	6	8	10
Hexanol-1	14,75	20,83	16,83	19,55	20,59
Heptanol-1	3,49	3,80	2,87	6,75	8,21
Octanol-1	6,69	6,92	6,50	6,52	6,43
Decanol-1	3,22	3,28	2,96	2,90	2,77
2-Phenylethanol	18,60	17,74	17,44	16,77	16,19
Furfurylalkohol	1,13	1,77	1,63	2,01	2,26
Essigsäure-Isobutylester	0,24	0,26	0,24	0,25	0,25
Essigsäure-Hexylester	9,37	9,27	9,25	9,18	9,12
Essigsäure-Heptylester	2,05	2,66	2,33	2,62	2,76
Essigsäure-Octylester	2,21	2,16	1,99	1,90	1,79
Essigsäure-Furfurylester	7,70	3,27	4,55	6,22	5,34
Essigsre-2-Phenylethylester	1,18	1,16	1,12	1,10	1,07
Buttersäure-Ethylester	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21
Hexansäure-Ethylester	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20
Octansäure-Ethylester	0,39	0,38	0,35	0,33	0,31
Decansäure-Ethylester	0,36	0,49	0,21	0,21	0,34
Hexansäure	2,50	3,38	2,74	1,70	2,20
Octansäure	6,90	6,98	6,74	6,70	6,70
Nonansäure	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01
Decansäure	3,01	3,16	3,09	3,00	3,20
9-Decensäure	0,20	0,09	0,03	0,04	0,04
Dodecansäure	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
a-Terpineol	0,00	3,02	0,00	1,01	1,01
Linalool	2,82	4,88	5,51	4,76	5,13
Nerol	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00
g-Nonalacton	38,99	47,49	46,36	46,22	45,23

Tab. T146: Kurzkettige Fettsäuren, Reihe 1+2, forcierte Alterung von Weißbieren

[mg/l]	nicht geschädigte Hefe				
Isobuttersäure	1,70	1,65	1,63	1,88	1,49
Buttersäure	1,75	2,17	2,26	2,45	1,84
3-Met.buttersäure	1,75	1,88	1,92	2,18	1,87
Valeriansäure	0,58	0,56	0,59	0,70	0,54
[mg/l]	geschädigte Hefe				
Isobuttersäure	1,72	1,56	1,75	2,06	1,88
Buttersäure	1,61	2,19	2,01	2,22	2,39
3-Met.buttersäure	1,67	1,88	1,97	2,23	2,29
Valeriansäure	0,74	0,67	0,69	0,82	0,76

Tab. T147: Verkostung, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren

	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
DLG 0 Tage	4,43	4,38	4,09	4,52	4,55	4,54	4,51	4,53	4,48
DLG 4 Tage	3,84	3,82	3,85	3,93	3,80	3,85	3,95	3,85	3,89
DLG 7 Tage	3,64	3,70	3,63	3,83	3,75	3,61	3,54	3,50	3,50
Hefe Intensität 0 Tage	2,46	2,42	2,38	2,54	2,70	2,80	3,20	3,13	3,00
Hefe Intensität 4 Tage	3,13	3,00	3,27	3,13	3,20	3,22	3,35	3,00	3,15
Hefe Intensität 7 Tage	3,35	3,40	3,55	3,65	3,30	3,15	3,15	3,25	3,05
Hefe Qualität 0 Tage	3,50	3,17	3,25	3,42	3,40	3,45	3,40	3,31	2,94
Hefe Qualität 4 Tage	2,42	2,45	2,55	2,49	2,49	2,65	2,70	2,61	2,50
Hefe Qualität 7 Tage	2,20	2,30	2,35	2,50	2,40	2,52	2,50	2,20	2,35

Tab. T148: Kurzkettige Fettsäuren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren

	Führung der Hefe								
[mg/l]	2	4	7	9	12	16	18	1	9
Isobuttersäure 4 Tage	3,01	2,98	2,68	2,61	2,78	2,48	2,35	3,65	3,45
Buttersäure 4 Tage	3,00	3,11	2,84	2,82	2,75	2,92	2,85	2,47	3,02
3-Met.buttersäure 4 Tage	2,73	2,74	2,84	2,73	2,72	2,80	2,85	2,75	2,87
Isobuttersäure 7 Tage	2,12	1,97	2,15	2,05	2,59	1,70	1,93	2,37	2,67
Buttersäure 7 Tage	1,88	2,16	2,47	2,34	2,66	2,00	2,25	1,61	2,37
3-Met.buttersäure 7 Tage	2,80	2,88	3,23	3,08	3,16	2,92	2,88	3,53	3,35

Tab. T149: Bieraromastoffe, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung

4 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
Hexanol-1	18,50	16,71	18,64	26,88	24,52	18,65	18,38	18,85	17,15
Heptanol-1	24,24	19,83	23,68	34,81	22,47	26,17	20,71	11,48	18,49
Octanol-1	11,21	11,06	12,42	11,07	11,62	10,81	9,74	12,01	10,50
Decanol-1	5,86	6,03	5,75	5,59	5,53	5,39	4,96	5,44	5,13
2-Phenylethanol	45,58	45,42	50,20	41,01	44,70	41,91	41,08	55,18	46,51
Furfurylalkohol	0,58	0,59	0,46	1,19	0,90	0,58	0,47	0,41	0,45
Essigsäure-Isobutylester	0,29	0,28	0,29	0,32	0,30	0,30	0,30	0,27	0,35
Essigsäure-Hexylester	7,77	7,25	8,02	8,10	6,45	9,28	9,58	7,89	9,16
Essigsäure-Heptylester	6,91	5,27	7,16	7,87	4,76	6,92	7,36	4,00	5,92
Essigsäure-Octylester	1,88	1,71	1,99	1,94	1,40	1,54	1,79	2,06	1,62
Essigsäure-Furfurylester	8,99	8,16	11,13	11,12	8,49	7,91	6,88	8,51	6,95
Essigsre-2-Phenylethyleste	1,55	1,56	1,68	1,61	1,62	1,66	1,67	1,75	1,99
Buttersäure-Ethylester	0,17	0,17	0,17	0,19	0,18	0,18	0,18	0,15	0,18
Hexansäure-Ethylester	0,19	0,20	0,20	0,20	0,19	0,21	0,21	0,15	0,19
Octansäure-Ethylester	0,35	0,36	0,35	0,39	0,31	0,35	0,35	0,25	0,34
Decansäure-Ethylester	0,03	0,04	0,04	0,13	0,03	0,04	0,06	0,03	0,04
Hexansäure	1,86	1,91	1,91	2,97	2,69	2,14	1,88	1,34	1,91
Octansäure	5,80	6,17	6,10	6,40	6,40	6,60	6,44	4,41	6,31
Nonansäure	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Decansäure	0,46	0,55	0,55	0,51	0,50	0,61	0,80	0,40	0,66
9-Decensäure	0,38	0,34	0,55	0,40	0,38	0,35	0,30	0,21	0,33
Dodecansäure	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
α -Terpineol	9,57	8,81	9,28	10,29	9,45	9,54	9,26	8,67	9,70
Linalool	1,57	1,56	2,28	2,59	1,74	1,39	0,95	0,96	1,32
Nerol	2,82	2,97	3,65	3,39	2,86	2,00	1,36	2,63	1,66
γ -Nonalacton	52,38	49,45	52,83	58,21	49,69	53,79	53,17	49,48	51,12

Tab. T150: Bieraromastoffe, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung

7 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
Hexanol-1	3,49	4,12	3,99	2,53	4,05	4,27	4,33	3,24	4,96
Heptanol-1	28,90	24,26	26,82	26,10	22,97	29,02	25,85	16,17	25,11
Octanol-1	11,86	10,58	11,55	9,18	10,42	10,22	9,37	11,42	9,50
Decanol-1	6,16	5,65	5,55	5,00	6,01	5,35	4,62	6,14	5,36
2-Phenylethanol	36230	35362	38321	35421	36107	31434	31751	39602	33492
Furfurylalkohol	3299,89	3287,72	3376,97	2001,60	3018,38	3176,01	2993,58	3336,20	3286,46
Essigsäure-Isobutylester	304,58	297,35	294,19	246,82	306,74	314,54	312,12	299,07	359,32
Essigsäure-Hexylester	6,30	5,86	6,56	6,90	5,57	7,64	7,48	6,47	7,26
Essigsäure-Heptylester	5,13	4,10	5,50	5,00	3,95	5,18	5,13	3,08	4,68
Essigsäure-Octylester	0,71	0,70	0,91	0,63	0,85	0,81	0,73	1,09	0,74
Essigsäure-Furfurylester	9,34	8,61	9,48	6,29	8,68	9,24	8,49	9,16	7,97
Essigsre-2-Phenylethyleste	1418,33	1377,35	1477,54	1333,13	1355,85	1357,88	1399,67	1458,12	1608,70
Buttersäure-Ethylester	119,91	125,62	120,49	102,78	123,03	133,27	133,97	104,83	134,21
Hexansäure-Ethylester	177,31	184,20	178,16	180,48	179,15	187,21	181,28	136,21	171,79
Octansäure-Ethylester	309,59	321,20	305,46	291,49	330,71	331,50	299,19	236,34	307,62
Decansäure-Ethylester	35,33	38,54	37,22	25,36	39,83	41,40	43,33	27,66	39,58
Isovaleriansäure	506,46	371,93	483,13	377,97	525,14	329,18	328,82	649,52	578,93
Hexansäure	2196,69	2412,86	2248,66	1409,81	2276,94	2227,45	2136,47	1671,08	2428,92
Octansäure	5084,94	5324,04	5121,86	4905,31	5148,14	5248,15	5212,42	3594,64	5033,56
Nonansäure	15,03	15,96	16,76	14,58	15,98	17,27	16,53	14,12	17,34
Decansäure	512,60	591,02	585,37	459,16	565,47	593,70	671,90	402,26	601,33
Dodecansäure	40,42	39,00	42,39	39,59	41,35	45,53	54,44	42,61	45,92
α -Terpineol	18,62	16,46	18,46	15,07	14,16	16,16	17,76	18,47	20,35
Linalool	24,46	22,83	24,56	20,14	22,80	21,38	20,28	25,05	20,24
Nerol	3,93	4,99	4,78	2,96	4,92	4,83	4,38	4,35	4,25
γ -Nonalacton	60,82	57,87	59,94	55,74	53,13	57,46	57,56	57,91	54,42

Tab. T151: Alterungsindikatoren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung

4 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
2-Methyl-Butanal	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00	n.a.
3-Methyl-Butanal	12,86	11,30	15,29	11,53	12,41	14,73	14,33	12,40	12,12
2-Furfural	77,92	80,70	96,05	60,76	75,22	83,73	88,32	73,78	86,61
5-Methyl-Furfural	8,71	8,75	8,78	8,10	12,64	8,14	9,88	8,87	7,88
Benzaldehyd	5,52	3,84	4,07	3,70	5,51	5,18	4,67	3,28	4,68
2-Phenyl-Ethanal	16,15	13,33	21,16	10,75	14,50	15,44	13,88	16,64	13,85
Bernsteinsäure-Diethyl-E.	4,89	5,04	6,08	4,42	5,08	3,76	4,23	3,90	3,81
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	6,72	n.a.	10,99	7,42	7,27	5,67	7,41	8,06	7,77
Phenyllessigsäure-E.-E.	1,02	0,74	0,70	0,47	0,90	0,91	0,79	0,57	0,86
2-Acetyl-Furan	5,96	5,86	8,79	5,28	5,14	5,76	6,45	6,56	5,09
2-Propionyl-Furan	2,36	2,49	3,56	2,16	2,98	2,51	2,51	2,27	2,67
gamma-Nonalacton	46,43	42,07	45,43	41,10	38,79	40,51	43,44	40,81	41,25
Summe der Wärmei.	124,35	122,77	141,48	101,86	114,01	124,24	131,76	114,60	127,86
Summe der Sauerstoffi.	34,53	28,47	40,52	25,97	32,42	35,35	32,87	32,32	30,65
Summe der Alterungsk.	181,81	174,12	209,91	148,27	173,17	180,68	188,49	169,07	178,82

Tab. T152: Alterungsindikatoren, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung

7 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
2-Methyl-Butanal	5,81	7,13	5,71	6,19	5,97	5,61	4,61	6,74	138,11
3-Methyl-Butanal	16,82	14,63	14,68	22,08	19,05	13,76	14,26	19,43	313,51
2-Furfural	159,20	182,05	161,70	216,91	203,46	202,41	132,16	223,07	776,32
5-Methyl-Furfural	8,04	8,37	8,27	8,65	8,47	8,69	7,53	9,06	185,16
Benzaldehyd	2,49	2,77	2,19	3,08	3,53	3,56	2,48	4,02	34,75
2-Phenyl-Ethanal	11,46	10,54	10,29	13,07	11,83	10,50	9,09	12,94	21,95
Bernsteinsäure-Diethyl-E.	10,66	10,76	10,50	10,29	10,86	10,33	10,97	9,19	32,13
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	24,99	31,37	31,26	21,95	18,53	25,43	29,85	29,41	248,60
Phenyllessigsäure-E.-E.	2,39	2,03	2,33	2,15	2,08	2,25	2,20	2,20	Sp.
2-Acetyl-Furan	21,42	21,91	21,08	24,96	23,76	24,88	16,62	25,69	Sp.
2-Propionyl-Furan	1,82	1,88	1,68	1,60	1,88	1,98	2,33	2,03	Sp.
gamma-Nonalacton	86,17	83,15	82,64	85,29	76,14	87,89	86,55	85,26	155,02
Summe der Wärmei.	245,37	265,20	244,34	302,21	279,60	290,30	218,70	308,33	931,34
Summe der Sauerstoffi.	30,77	27,93	27,15	38,23	34,41	27,82	25,83	36,39	370,21
Summe der Alterungsk.	320,47	338,09	315,35	388,09	361,08	366,26	284,18	392,89	1518,84

Tab. T153: Höhere Alkohole und Ester, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 4 Tage forcierte Alterung

4 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
Acetaldehyd	8847	8836	9744	11220	10101	10013	8596	10912	10903
Propanol-1	18788	20188	21030	18934	19946	20748	20233	18407	21862
Ethylacetat	48151	58419	65952	50597	63305	70759	70049	58713	76665
2-Methylpropanol	30264	31764	31568	29191	32178	28110	27399	31845	29727
3-Methylbutanol	69929	62743	66469	65297	62145	62952	62207	68892	62948
2-Methylbutanol	15457	15495	15527	14669	15598	14422	14212	15479	14774
2-Methylpropylacetat	343	397	433	356	428	436	439	434	554
Buttersäureethylester	136	165	175	146	171	180	185	148	199
3-Methylbutylacetat	4883	5008	5868	4992	5159	5498	5701	5061	5533
2-Methylbutylacetat	311	350	386	327	361	382	380	356	426
Hexansäureethylester	246	284	268	271	280	271	262	212	302

Tab. T154: Höhere Alkohole und Ester, Reihe 3+11, forcierte Alterung von Weißbieren, 7 Tage forcierte Alterung

7 Tage	Führung der Hefe								
	2	4	7	9	12	16	18	1	9
Acetaldehyd	9294	9022	9776	10215	10443	10336	9243	9956	9912
Propanol-1	18796	19963	20403	18723	19633	19984	20405	19750	19532
Ethylacetat	51985	59376	65416	51351	54674	52343	53336	95930	57024
2-Methylpropanol	30478	32119	32324	29447	32245	29628	27822	35259	32572
3-Methylbutanol	70053	63147	68994	65495	61875	60133	62687	77205	68741
2-Methylbutanol	15339	15442	16012	14663	15389	15878	14240	17308	16047
2-Methylpropylacetat	383	415	448	373	378	330	483	479	492
Buttersäureethylester	146	167	174	149	147	136	193	256	324
3-Methylbutylacetat	5595	5432	6179	5437	4742	5449	6536	5325	5216
2-Methylbutylacetat	379	404	431	377	357	313	475	673	424
Hexansäureethylester	271	297	274	288	257	211	306	371	289

Tab. T155: Verkostungsergebnisse, Bier 1, natürliche Alterung von Weißbieren

	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
DLG	4,26	4,35	4,21	4,10	3,80	3,84	3,45	3,52
Est. Int.	3,4	3,3	3,3	3,2	2,9	3,1	3,0	2,8
Est. Qu.	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0	2,8	2,9
Phe. Int	3,8	3,6	3,5	3,2	3,2	2,9	3,1	3,0
Phe. Qua.	3,4	3,2	3,3	3,3	2,9	2,9	3,0	2,8
Hef. Int	2,3	2,3	2,2	2,4	2,7	2,8	3,1	3,2
Hef. Qu.	3,0	3,1	2,9	3,0	2,6	2,6	2,5	2,3

Tab. T156: Verkostungsergebnisse, Bier 2, natürliche Alterung von Weißbieren

	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
DLG	4,31	4,35	3,86	3,44	3,67	3,72	3,36	3,17
Est. Int.	3,5	3,5	3,4	2,8	2,8	2,5	2,6	2,3
Est. Qu.	3,3	3,4	3,2	2,9	2,8	2,9	2,5	2,4
Phe. Int	3,3	3,5	3,5	3,0	3,0	2,9	2,4	2,5
Phe. Qua.	3,6	3,2	3,3	2,7	2,8	2,7	2,8	2,7
Hef. Int	2,9	3,3	3,4	3,4	3,1	2,8	3,3	3,5
Hef. Qu.	3,0	2,7	2,4	2,0	2,6	2,7	2,7	2,4

Tab. T157: Verkostungsergebnisse, Bier 3, natürliche Alterung von Weißbieren

	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
DLG	4,42	3,86	3,47	3,12	3,27	3,36	3,28	3,23
Est. Int.	2,9	2,9	2,8	2,6	2,7	2,6	2,3	2,4
Est. Qu.	3,6	2,9	2,9	2,5	2,7	2,5	2,4	2,5
Phe. Int	3,2	3,2	3,2	2,8	2,7	2,4	2,6	2,4
Phe. Qua.	3,4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6	2,8	2,6
Hef. Int	2,8	3,0	3,4	3,3	3,3	3,1	3,0	3,0
Hef. Qu.	3,1	2,8	2,5	1,7	2,3	2,3	2,2	2,4

Tab. T158: Verkostungsergebnisse, Bier 4, natürliche Alterung von Weißbieren

	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
DLG	4,08	3,74	3,22	3,38	3,53	3,40	3,17	3,04
Est. Int.	2,9	2,9	2,7	2,8	2,6	2,7	2,4	2,4
Est. Qu.	3,3	3,0	3,3	2,9	3,0	2,8	2,3	2,5
Phe. Int.	3,3	3,2	3,2	3,0	2,8	2,5	2,3	2,3
Phe. Qua.	3,4	3,3	3,0	3,3	2,8	2,7	3,0	2,9
Hef. Int.	3,1	3,2	3,2	3,5	3,0	3,1	3,3	3,3
Hef. Qu.	2,8	2,4	2,2	2,0	2,7	2,2	2,3	2,1

Tab. T159: Aromastoffe, Bier 1, natürliche Alterung von Weißbieren

Bier 1	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
iso-Buttersäure	277	250	239	214	280	214	249	234
Buttersäure	931	1267	934	956	943	771	823	758
3-Methylbuttersäure	803	1068	478	466	433	502	406	414
Hexansäure	3277	2798	1447	1435	1403	1454	1381	1157
4-Vinylguaiacol	3713	3460	3389	2993	2614	2523	2321	1964
Acetaldehyd	3245	2235	2176	1761	2438	1873	1644	1656
Propanol-1	16157	13653	13989	13767	13903	14339	14281	13995
Ethylacetat	43054	38082	37199	37909	35284	36846	37580	37601
2-Methylpropanol	29179	25677	25097	25274	24114	24678	25504	24900
3-Methylbutanol	39974	39715	40061	40319	39393	40142	40895	38546
2-Methylbutanol	12729	12520	13726	12818	12765	12490	13021	13936
3-Methylbutylacetat	2497	2072	2119	1806	1879	2076	2331	2083

Tab. T160: Aromastoffe, Bier 2, natürliche Alterung von Weißbieren

Bier 2	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
iso-Buttersäure	1710	1810	1389	1311	1407	11898	1230	1473
Buttersäure	1557	1559	1840	1922	1598	1386	1471	1265
3-Methylbuttersäure	660	678	1363	1417	1224	616	681	637
Hexansäure	4107	4605	1495	1428	1506	1648	1629	1629
4-Vinylguaiacol	2758	2624	2371	2191	1909	1819	1931	1847
Acetaldehyd	3757	3685	4019	4713	4011	1497	1609	2393
Propanol-1	28108	21867	22336	22620	215453	21528	23309	23274
Ethylacetat	44057	44864	47096	48307	47240	48239	47180	49359
2-Methylpropanol	52014	41849	45256	42323	43093	39555	38865	40523
3-Methylbutanol	56004	59305	619033	53117	58490	64534	62835	64939
2-Methylbutanol	22964	21462	22178	20645	19255	19572	19044	18362
3-Methylbutylacetat	3198	2960	2750	2129	1810	1406	1078	946

Tab. T161: Aromastoffe, Bier 3, natürliche Alterung von Weißbieren

Bier 3	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
iso-Buttersäure	2003	2678	2869	891	878	839	931	991
Buttersäure	685	1031	1272	622	734	685	629	658
3-Methylbuttersäure	812	1374	1526	1733	1343	985	905	1034
Hexansäure	2918	2643	2392	2037	2064	1929	1995	1694
4-Vinylguaiacol	2789	2414	2241	1889	1696	1625	1579	1673
Acetaldehyd	4001	3769	3863	3823	3978	3253	2974	2756
Propanol-1	29232	24742	25229	26525	254071	21389	26241	25205
Ethylacetat	48288	48669	52848	60382	49144	49989	48109	49372
2-Methylpropanol	52428	52797	54768	55223	54268	53407	55579	55190
3-Methylbutanol	65519	66286	69404	69771	68187	66768	69461	69732
2-Methylbutanol	15923	16188	16841	17015	16665	16317	17049	16951
3-Methylbutylacetat	3473	2846	2209	1897	1950	1223	883	750

Tab. T162: Aromastoffe, Bier 4, natürliche Alterung von Weißbieren

Bier 4	Frisch	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	7. Monat
iso-Buttersäure	2462	2242	2085	1865	1428	906	968	722
Buttersäure	886	1254	1374	n.a.	765	618	579	787
3-Methylbuttersäure	1134	1538	1486	1650	1124	842	762	1004
Hexansäure	2833	2566	2322	1978	2004	1873	1937	1645
4-Vinylguaiacol	2708	2344	2176	1834	1647	1578	1533	1624
Acetaldehyd	5887	5492	4056	4292	3469	3158	3680	3564
Propanol-1	29289	28230	26685	27961	28917	24901	25630	27596
Ethylacetat	56882	57251	57009	58623	57713	58533	52708	48933
2-Methylpropanol	48678	52006	51723	49546	48304	47881	47374	42667
3-Methylbutanol	66611	64356	60382	62739	67201	64823	62438	65701
2-Methylbutanol	17459	17716	17351	18519	17180	18842	18552	18457
3-Methylbutylacetat	3645	2986	2145	1842	1893	1187	903	856

Tab. T163: Höhere Alkohole und Ester, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	HDE			2 Tage Rütteln		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
Acetaldehyd	2222	3819	4528	2209	3878	3883
Propanol-1	21802	22039	24109	22794	22236	23043
Ethylacetat	27893	31212	33716	42171	40595	40986
2-Methylpropanol	30901	31259	33173	33960	33583	33437
3-Methylbutanol	63611	64356	67382	67438	67701	66538
2-Methylbutanol	15459	15716	16351	16552	16457	16196
2-Methylpropylacetat	457	495	528	618	586	600
Buttersäureethylester	157	176	189	213	203	216
3-Methylbutylacetat	2902	2978	3103	3509	3178	3291
2-Methylbutylacetat	394	398	404	467	424	430
Hexansäureethylester	295	288	311	406	356	374

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	20 x Wenden			ohne Behandlung		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
Acetaldehyd	2372	4337	4660	2531	4902	4804
Propanol-1	22279	21790	22256	23214	22482	21628
Ethylacetat	46287	41946	42430	41254	41142	36213
2-Methylpropanol	32951	31819	32542	33615	32687	31852
3-Methylbutanol	65449	65515	67100	67739	66201	64823
2-Methylbutanol	15910	15906	16209	16519	16180	15842
2-Methylpropylacetat	819	596	598	640	763	524
Buttersäureethylester	281	207	209	225	268	191
3-Methylbutylacetat	3546	3236	3157	3836	3314	2914
2-Methylbutylacetat	612	428	409	517	576	380
Hexansäureethylester	573	392	387	401	424	327

Tab. T164: Bieraromastoffe, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	HDE			2 Tage Rütteln		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
Hexanol-1	21	26	25	24	26	26
Heptanol-1	30	33	32	40	40	41
Octanol-1	9	9	9	10	9	10
Decanol-1	6	5	5	6	5	5
2-Phenylethanol	30128	28861	28854	29384	28313	30182
Furfurylalkohol	1699	1726	1317	1355	1522	1814
Essigsäure-Isobutylester	386	408	388	391	405	372
Essigsäure-Hexylester	9	8	7	8	7	7
Essigsäure-Heptylester	7	6	6	6	6	5
Essigsäure-Octylester	1	1	1	1	Sp.	0
Essigsäure-Furfurylester	8	2	Sp.	7	1	Sp.
Essigsre-2-Phenylethyles	1746	1640	1558	1575	1520	1514
Buttersäure-Ethylester	133	144	138	135	139	133
Hexansäure-Ethylester	210	199	194	202	193	191
Octansäure-Ethylester	391	359	367	363	315	345
Decansäure-Ethylester	37	59	66	28	28	32
Isovaleriansäure	531	713	685	624	724	750
Hexansäure	2377	2845	2763	2656	2856	2822
Octansäure	5935	5764	5684	5830	5505	5822
Nonansäure	25	20	21	20	22	19
Decansäure	319	558	630	266	287	359
Dodecansäure	29	38	46	21	29	35
α -Terpineol	2	3	3	2	3	3
Linalool	6	9	9	7	8	9
Nerol	3	3	3	3	3	3
γ -Nonalacton	39	46	49	38	45	52

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	20 x Wenden			ohne Behandlung		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
Hexanol-1	27	31	27	22	22	22
Heptanol-1	43	48	43	37	39	39
Octanol-1	10	10	9	9	10	10
Decanol-1	5	6	5	5	7	6
2-Phenylethanol	29491	28951	29004	30090	30619	30083
Furfurylalkohol	1742	2044	1382	1582	1166	1366
Essigsäure-Isobutylester	406	408	387	391	347	354
Essigsäure-Hexylester	8	8	7	8	8	7
Essigsäure-Heptylester	6	6	5	7	6	5
Essigsäure-Octylester	1	1	1	1	1	0
Essigsäure-Furfurylester	8	2	Sp.	8	2	Sp.
Essigsre-2-Phenylethyles	1566	1587	1490	1592	1678	1523
Buttersäure-Ethylester	139	142	136	135	124	128
Hexansäure-Ethylester	202	196	192	205	197	195
Octansäure-Ethylester	351	360	353	377	387	360
Decansäure-Ethylester	26	36	37	31	49	38
Isovaleriansäure	664	850	801	745	797	798
Hexansäure	2743	3245	2868	2811	2816	3090
Octansäure	5621	5787	5523	5617	6186	5760
Nonansäure	19	20	19	19	23	19
Decansäure	247	357	374	250	498	397
Dodecansäure	21	35	39	23	39	37
α -Terpineol	2	3	4	2	2	3
Linalool	7	9	9	6	7	8
Nerol	3	3	3	3	3	2
γ -Nonalacton	36	47	50	37	49	50

Tab. T165: Alterungsindikatoren, Einfluss des Sauerstoffes auf die Alterung von Weißbieren

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	HDE			2 Tage Rütteln		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
2-Methyl-Butanal	3	10	9	10	13	n.a.
3-Methyl-Butanal	5	8	10	3	8	10
2-Furfural	9	117	220	6	126	279
5-Methyl-Furfural	5	6	7	5	6	8
Benzaldehyd	1	1	1	1	1	1
2-Phenyl-Ethanal	4	7	9	2	7	9
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	5	7	11	5	7	11
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	121	101	110	94	131	139
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	1	1	2	1	1	2
2-Acetyl-Furan	17	17	24	12	17	25
2-Propionyl-Furan	7	6	6	6	6	7
gamma-Nonalacton	59	69	78	58	68	77
Summe der Wärmeindikatoren	68	186	297	64	194	356
Summe der Sauerstoffindikatoren	9	16	20	5	16	21
Summe der Alterungskomponenten	112	239	357	98	248	419

Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	20 x Wenden			ohne Behandlung		
	0/Frisch	4 Tage	7 Tage	0/Frisch	4 Tage	7 Tage
2-Methyl-Butanal	12	12	n.a.	10	n.a.	15
3-Methyl-Butanal	4	10	16	6	12	16
2-Furfural	6	132	248	6	141	253
5-Methyl-Furfural	5	7	8	6	7	8
Benzaldehyd	1	3	2	1	2	3
2-Phenyl-Ethanal	2	8	12	4	12	14
Bernsteinsäure-Diethyl-Ester	4	7	10	5	7	10
Nicotinsäure-Ethyl-Ester	109	102	96	98	107	95
Phenylelessigsäure-Ethyl-Ester	1	2	2	1	2	2
2-Acetyl-Furan	14	18	20	14	20	21
2-Propionyl-Furan	9	6	6	5	7	8
gamma-Nonalacton	57	72	77	57	70	77
Summe der Wärmeindikatoren	64	204	325	63	211	330
Summe der Sauerstoffindikatoren	6	21	30	11	27	33
Summe der Alterungskomponenten	104	264	401	105	280	411

Literaturverzeichnis:

- Analytika 1987 Analysenkomitee der EBC (Hrsg.): Analytika-EBC. 4. Ausgabe 1987, S. 227-228.
- Anderson 1974: Anderson, R., Kirsop, B.: The Control of Volatile Ester Synthesis During the Fermentation of Wort of High Specific Gravity, J. Inst. Brew. 1974, Nr. 80, Seite 48-54.
- Anderson 1975: Anderson, R.G.: Oxygen as a Regulator of Ester Accumulation during the Fermentation of Wort of High Specific Gravity, J. Inst. Brew 81 1975, Nr. 2, Seite 111-115.
- Äyräpää 1971 Äyräpää, T.: Biosynthetic formation of higher alcohols by yeast: Dependence on the nitrogen nutrient level of the medium, Journal of the Institute of Brewing, Nr. 77, 1971, S. 266 – 276.
- Back 1998 Back, W., Diener, C. und Sacher, B.: Hefeweizenbier – Geschmacksvarianten und Technologie. In: Brauwelt, 1998, Nr. 28/29, S. 1279-1284.
- Back 2004 Back, W.: Vorlesungsunterlagen: Ausgewählte Kapitel der Malz- Würzbereitung. Aufbereitet und ergänzt durch Herrmann, M, 2003-2004.
- Baerwald 1972: Baerwald, G.: Aromakomponenten bei der Haupt- und Nachgärung und ihre Auswirkungen auf die Bierqualität, Brauereitechniker 24, 1972, Nr. 9, Seite 58-61.
- Bamforth 2001: Bamforth, C.: Beer Flavour: Esters, Brewers Guardian 2001, No. 9, Seite 32-34.
- Barker 1992: Barker, R.L., Irwin, A.J., Murray, C.R., The Relationship between Fermentation Variables and Flavour Volatiles by Direct Gas Chromatographic Injection of Beer, MBAA Technical Quarterly 1992, Nr. 29, Seite 11-17.
- Bayerischer Brauerbund 2004 Bayerischer Brauerbund: <http://www.bayrisch-bier.de>, 2004
- Belitz 1992: Belitz, H.D., Grosch, W.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 4. Auflage. Heidelberg: Springer, 1992.
- Betriebsdaten 2003 o. N.: Betriebsdaten der Priv. Weißbierbrauerei G. Schneider & Sohn GmbH, 2003.

- Biostat o.j. N.N.; Kap. 5 „Technische Daten“, Betriebshandbuch BIOSTAT DU, Fa. Braun Biotech International, Melsungen.
- Bréfort 1989 Bréfort, H., Guinard, J. X., Shoemaker, C. F., Lewis, M. J. : J. Inst. Brew., Nr.95, 1989, S.431-435..
- Calderbank 1994 Calderbank, J., Hammond, J. R. M.: Influence of higher alcohol availability on ester formation by yeast, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Nr. 52, 1994, S. 84 – 90.
- Cerning 1973 Cerning, J., Guilbot, A.: Changes in the carbohydrate composition during development and maturation of the wheat and barley kernel, Cereal Chemistry, Nr. 50, 1973, S. 220 – 232.
- Charalambous 1981 Charalambous, G.: Involatile constituents of beer. In: J. R. A. Pollock (ed.), Brewing Science, Vol.2 Academic Press, London, 1981.
- Chatonnet 1989: Chatonnet, P., Dubourdiou, D., Boidron, J.: Incidence de certains facteurs sur la decarboxylation de la Vigne et du Vin. In: Cannissance de la Vigne et du Vin, 23, 1989, Heft 1, S. 59-62.
- Clapperton 1978a: Clapperton, J. F.: Fatty acids contributing to caprylic flavour in beer. The use of profile and treshold data in flavour research. In: J. Inst. Brew. 84 (1978), 107-112.
- Clapperton 1978b: Clapperton, J. F. und Brown, D. G. W.: Caprylic Flavour as a feature of beer flavour. In: J. Inst. Brew. 84 (1978), 90-92.
- Coghe 2004: Coghe, S.; Benoot, K.; Delvaux, F.; Vanderhaegen, B.; Delvaux, F. R.: Ferulic Acid Release and 4-Vinylguaiacol Formation during Brewing and Fermentation: Indications for Feruloyl Esterase Activity in *Saccharomyces cerevisiae* In: J. Agric. Food Chem, 52(3), 2004, 602-608.
- D'Amore 1991 D'Amore, T.; Celotto, G.; Stewart, G. G.: Advances in Fermentation of High Gravity Wort. Proceedings of the 23rd congress of the european brewing convention, Lissabon, 1991, S. 322- 329.
- Deutscher Brauerbund 2004 Deutscher Brauerbund: <http://www.brauer-bund.de>, 2004.
- Devreux 1975: Devreux, A.: Die Regulation der Bildung von Alkoholen und Estern im Verlaufe der Gärung und ihr Einfluss auf die Qualität des Bieres, Brass. Malt Europe 1975, Nr. 2.

- Dufour 1999 Dufour, J.-P., Weaver, A. und Mason, B.: Towards our understanding of the physiological role of ester synthesis. In: E.B.C. –Symposium Yeast Physiology. Nutfield, 1999, S. 83- 91.
- Eichhorn 1987 Eichhorn, P.: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres. TU München-Weihenstephan, Dissertation, 1987
- Engan 1970 Engan, S.: Wort composition and beer flavour I: The influence of some amino acids on the formation of higher aliphatic alcohols and esters, Journal of the Institute of Brewing, Nr. 76, 1970, S. 254 – 261.
- Engan 1972 Engan, S.: Wort composition and beer flavour II: The influence of different carbohydrates on the formation of some flavour components during fermentation, Journal of the Institute of Brewing, Nr. 78, 1972, S. 169 – 173.
- Engan 1974: Engan, S.: Esters in Beer, The Brewers Digest, November 1974, Seite 40-48.
- Engan 1977: Engan, S., Aubert, O.: Relations Between Fermentation Temperature and the Formation of some Flavour Komponenten, EBC-Proceedings 1977, Seite 591-605.
- Englmann 1999 Englmann, J: Vortrag am Technologischen Seminar, TU-München Weihenstephan, 1999.
- Englmann 2004 Englmann, J: Persönliche Mitteilung, 2004.
- Eraso 1990: Eraso, F., Hartley, R.: Monomeric and Dimeric Phenolic Constituents of Plant Cell Walls – Possible Factors Influencing Wall Biodegradability. In : J. Sci. Food Chem., 61, 1990, S. 163-170.
- Gaeng 1976: Gaeng, F.E.: Einfluß der Gärbedingungen auf die Bildung der flüchtigen Substanzen des Bieres, Brauwissenschaft 1976, Heft 11, Seite 337-343.
- Geiger 1977a: Geiger; E.: Der Einfluss gärungstechnologischer Maßnahmen auf das Verhalten einiger Gärungsnebenprodukte, Der Weihenstephaner 1977, Heft 3, Seite 139-142.
- Geiger 1977b: Geiger; E.: Der Einfluss gärungstechnologischer Maßnahmen auf das Verhalten einiger Gärungsnebenprodukte, Der Weihenstephaner 1977, Heft 4, Seite 179-190.
- Gerstenberg 1998 Gerstenberg, H. und Uhlig, R.: Über sensorische Qualitätsabweichungen bei Bier. In: Brauwelt, 1998, Nr. 51/52, S. 2512-2514.

- Haukeli 1979: Haukeli, A.D., Lie, S.: Yeast Growth and Metabolic Changes During Brewery Fermentation, Proc. EBC-Congress Berlin 1979, Pages 461-473.
- Hecht 1983: Hecht, S.: Über die Veränderung wertbestimmender Stoffgruppen bei der Herstellung von bayerischen Weizenbieren. Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 1983.
- Helin 1977: Helin, T.R., Slaughter, J.C.: Minimum Requirements for Zinc and Manganese in Brewers Wort, J. Inst. Brew. 83 1977, Nr. 1, Seite 17-19.
- Holzmann 1977 Holzmann, A., Piendl, A.: Malt modification and mashing conditions as factors influencing the mineral content of wort, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Nr. 35, 1977, S. 1 – 8.
- Holzmann 1978 Holzmann, A., Piendl, A.: Über den Mineralstoffgehalt einiger Malzsorten, Brauwissenschaft, Nr. 31, 1978, S. 333 – 335.
- Hug 1979 Hug, H. und Pfenninger, H. B.: Brauversuche mit Infusions- und Dekoktionsmaisverfahren. In: Proc. EBC-Congr. Berlin, 1979, S.355-364.
- Hwang 1986 Hwang, Y. S., Lorenz, K.: Quality of malting barleys grown at different locations in the United States and Canada, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Nr. 44, 1986, S. 1 – 6.
- Jacobsen 1981 Jacobsen, T., Lie, S., Hage, T.: Wort quality and the zinc content of malt, EBC Proceedings of the 18th Congress, Kopenhagen 1981, S. 97 – 104.
- Keßler o.j. Keßler, M.: Dissertation in Vorbereitung.
- Kramarz 1992: Kramarz, M., Rydzik, M.: Die Wirkung der Gär- und Reifebedingungen auf die Qualität von Bier, das unter Verwendung immobilisierter Hefe hergestellt worden sind, Przemysl Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny [poln.] 1992, Nr. 11, Zusammenfassung.
- Krämer 1982: Krämer, P.: Die Bildung von Phenolen beim Brauprozess. Dissertation, TU Berlin, 1982.
- Kreisz 2002 Kreisz, S.: Der Einfluss von Polysacchariden aus Malz, Hefe und Bakterien auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier, Dissertation, TU München, 2002.
- Krottenthaler o.j. Krottenthaler, M.: Habilitation in Vorbereitung.
- Kunze 1994: Kunze, W.: Technologie Brauer und Mälzer, VLB-Verlag Berlin, 7. Auflage, 1994.

- Kunze 1998 Kunze, W.: Technologie Brauer und Mälzer, VLB-Verlag Berlin, 8. Auflage, Berlin 1998.
- Landaud 2001: Landaud, S., Latrille, E., Corrieu, G.: Top Pressure and Temperature Control the Fusel Alcohol/Ester Ratio, Journal of The Institute of Brewing 2001, Volume 107, Nr.2, Seite 107-117.
- Leupold 1981: Leupold, G., Drawer, F.: Zur Analytik phenolischer Verbindungen im Bier. In: Brauwissenschaft, 34, 1981, S. 205-210.
- Lie 1973: Lie, S., Haukeli, A.D.: Production of Volatiles During Yeast Fermentation. Proceedings of the Congress, EBC, 1973, S. 285-96.
- Lustig 1994 Lustig, S.: Das Verhalten flüchtiger Aromastoffe bei der Lagerung von Flaschenbier und deren technologische Beeinflussung beim Brauprozess. TU München-Weihenstephan, Dissertation, 1994
- Maekinen 1980: Maekinen, V.: Factors Effecting the Concentration of Fusel Alcohols and Esters in Beer, Mallas Ja Olut (finn.) 1980, Nr. 4, Zusammenfassung.
- Mändl 1971 Mändl, B., Wullinger, F., Wagner, D., Piendl, A.: Über die Aminosäurezusammensetzung französischer Gersten, Brauereitechnik, Nr. 23, 1971, S. 34 – 39.
- Mändl 1973 Mändl, B., Hopulele, T., Piendl, A.: Über die Mineralstoffe der europäischen Braugersten, Brauwissenschaft, Nr. 26, 1973, S. 307 – 310.
- Mändl 1975 Mändl, B.: Maßnahmen zur Steuerung der Gärung und Beeinflussung des Mineralstoffgehalts, Brauwelt, Nr. 115, 1975, S. 1565 – 1568.
- Mason 2000: Mason, A., Dufour, J.P.: Alcohol Acetyltransferase and the Significance of Ester Synthesis in Yeast, YEAST 2000, Nr 16, Seite 1287-1298.
- McCallum 1990: McCallum, J., Walker J.: Phenolic Biosynthesis during Grain development in Wheat: Changes in Phenylalanin-Ammonia-Lyase Activity and soluble Phenolic content. In: J. Cereal Science, 11, 1990, S. 35-49.
- McMurrough 1996: McMurrough, I. et al.: Control of Ferulic Acid and 4-Vinyl Guaiacol in Brewing. In J. Inst. Brew., 1996, Vol. 102, S. 327- 332.
- Mebak 1997: Versch.: Brautechnische Analysenmethoden Band I-III. Hrsg. Pfenninger, H., Selbstverlag der MEBAK, Weihenstephan, 1997 (Band I), 2002 (Band II), 1996 (Band III).

- Megazyme 1996: Megazyme: Beta-Amylase Assay Procedure (Betamyl Method), Bet 9/96.
- Miedaner 1980 Miedaner, H.: Ein Beitrag zur Technologie der Gärung und Reifung des Bieres. Habilitationsschrift, Technische Universität München, 1980.
- Moonjai 2002: Moonjai, N., Verstrepen, K.J., Delvaux, F.R., Derdelinckx, G., Verachtert, H.: The Effects of Linolic Acid Supplementation of Cropped Yeast on its Subsequent Fermentation Performance and Acetate Ester Synthesis, J. Inst. Brew. 2002, Volume 108, Nr. 2, Seite 227-235.
- Nakatani 1991: Nakatani, K., Fukui, N., Nagami, K., Nishigaki, M.: Kinetic Analysis of Ester Formation During Beer Fermentation, J. Am. Soc. Brew. Chem. 1991, No. 4, Seite 152-157.
- Narziß 1969 Narziss, L., Heiden, L.: Untersuchungen an verschiedenen neuzeitlichen Wintergerstensorten gleicher Provenienz zur Feststellung ihrer technologischen Eigenschaften und ihrer Eignung für Brauzwecke II: Untersuchung der Malze, Brauwissenschaft, Nr. 22, 1969, S. 493 – 505.
- Narziß 1970 Narziss, L., Heiden, L.: Untersuchungen an verschiedenen neuzeitlichen Wintergerstensorten gleicher Provenienz zur Feststellung ihrer technologischen Eigenschaften und ihrer Eignung für Brauzwecke III: Analysen während des Keimprozesses sowie Ausschlagwürze- und Bieruntersuchungen, Brauwissenschaft, Nr. 23, 1970, S. 19 – 29.
- Narziß 1981b Narziß, L.; Reicheneder, E.; Ngo-Da, Ph.: Infusions- und Dekoktionsverfahren. In: Brauwelt 21, 1981, S.768-S.785.
- Narziß 1983a: Narziß, L., Miedaner, H., Schoendorfer, H.: Untersuchungen zur Technologie der Angärung in der Brauerei, Brauwissenschaft 36 1983, Nr. 6, Seite 236-241.
- Narziß 1983b: Narziß, L., Miedaner, H., Gresser, A.: Heferasse und Bierqualität, Brauwelt 1983, Nr. 45, Seite 2024-2034.
- Narziß 1983c Narziß, L.: Hefeweißbier. Rohstoffe und Technologie. In: Brauwelt, 1983 (6), S. 198- 199.
- Narziß 1992: Narziß, L., Schuster, K. und Weinfurter, F.: Die Technologie der Würzebereitung. 7., durchges. u. erw. Aufl., Wiley-VCH; ENKE, 1992.

- Narziß 1995a: Narziß, L.: Abriss der Bierbrauerei, Enke-Verlag Stuttgart, 6. Auflage 1995.
- Narziß 1995b: Narziß, L.: Über den Biergeschmack und seine Beeinflussung durch Rohstoffe und technologische Faktoren, Brauwelt 1995, Nr. 45, Seite 2286-2300.
- Narziß 1999: Narziss, L.: Die Technologie der Malzbereitung, 7. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1999.
- Neumüller 1985: Neumüller, O.- A.: Römpps Chemie Lexikon, 8. Aufl., 1985, Bd. 4, 3046.
- Neven 1997: Neven, H. et al.: Flavour Evolution of Top Fermented Beers. In: MBAA Technical Quarterly, 1997, Vol. 34, S. 115- 118.
- Nielsen 1990: Nielsen, H., Andersen, H.B., Jakobsen, M., The Brewers Control of Yeast Multitplication, Technical Quarterly 1990, No. 4, Seite 103-105.
- Nitzsche 1992: Nitzsche, W. F.: Untersuchungen zur Bildung phenolischer Komponenten bei der Herstellung von bayerischem Weizenbier. Dissertation. TU-München-Weihenstephan, 1992.
- Nordkvist 1984: Nordkvist, E, Salomonosson, A. und Aman, P.: Distribution of Insoluble Bound Ferulic Acids in Barley Grain. In: J. Sci. Food Agric., Nr. 35, 1984, S. 657-661.
- Norstedt 1975: Norstedt, C., Bengtsson, A., Bennet, A., Lindstroem, P., Äärypää, T.: Technical Measures to Control the Formation of Esters During Beer Fermentation., Proc. EBC-Congress Nizza 1975, Seite 581-600.
- Nykaenen 1977: Nykaenen, L.: Production of Esters by Different Yeast Strains in Sugar Fermentations, J. Inst. Brew. 1977, No. 1, Seite 30-31.
- Okabe 1992: Okabe, M., Katoh, M., Furugoori, F., Yoshida, M., Mitsu, S.: Wachstum und Fermentationscharakteristik untergäriger Bierhefe unter mechanischer Rührung, Journal of Ferment. And Bioengerng. 1992, AMST. 73, Nr. 2, Seite 148-152.
- Otter 1969: Otter, G. E., Popplewell, J. A. und Taylor, L. J.: EBC-Proceedings, 12th Congress, Interlaken, 1969, S. 481
- Pajunen 1977: Pajunen, E., Jaeaskeinen, K., Vehvilaeinen, H., Maekinen, V.: Estergehalt während der Biergärung und -lagerung, Monatsschrift für Brauwissenschaft, Nr. 30, 1977, S. 129 – 133.

- Palmer 1974: Palmer, A.K., Rennie, H.: Ester Control in High Gravity Brewing, J. Inst. Brew. 1974, Nr. 80, Seite 447-454.
- Pfisterer 1975 Pfisterer, E., Stewart, G. G.: Some aspects on the fermentation of high gravity worts, EBC Proceedings of the 15th Congress, Nizza, 1975, S. 255 – 267.
- Piendl 1968 Piendl, A., Reiner, L.: Anteil von Gerstensorte und Jahrgang am Kohlenhydratbild der Würze, Brauwelt, Nr. 97, 1968, S. 1785 - 1788 und Nr. 100/101, 1968, S. 1863.
- Piendl 1972 Piendl, A.: Effect of barley variety, environment and malting technology on the carbohydrates contributed to brewing by malt, Proceedings of the ASBC Congress, 1972, S. 67 – 74.
- Pomeranz 1989 Pomeranz, Y.: Advances in Cereal Science and Technology, Band 8, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 1989.
- Preuß 2001: Preuß, T.: Technologische Massnahmen zur Erzielung Malzaromatischer Verbindungen dunkler Biere hoher Geschmackstabilität nach Charakterisierung der Schlüsselaromastoffe in ausgewählten dunklen Biere. Dissertation, TU München Weihenstephan, 2001.
- Quilter 2003: Quilter, M.G., Hurley, J.C., Lynch, F.J., Murphy, M.G.: The Production of Isoamyl Acetate from Amyl Alcohol by *Saccharomyces cerevisiae*, J. Inst. Brew. 2003, Nr. 109, Seite 34-40.
- Renger 1992: Renger, R.S., Van Hateren, S.H., Luyben, K.: The Formation of Esters and Higher Alcohols During Brewery Fermentation, The Effect of Carbon Dioxide Pressure, J. Inst. Brew. 1992, Volume 98, Seite 509-513.
- Runkel 1965 Runkel U.D.: Infusions- und Dekoktionsverfahren. In: Tageszeitung für Brauerei, Nr. 12/13, 1965, S.61.
- Rutloff 1994 Rutloff, H.: Industrielle Enzyme. B. Behr's Verlag, Hamburg, 2. Aufl., 1994.
- Sablayrolles 1995 Sablayrolles, J. M., Ball, C. B.: Fermentation kinetics and the production of volatiles during alcoholic fermentation, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Nr. 53, 1995, S. 71 – 78.

- Sacher 1997 Sacher, B.: Über den Einfluss von Sorte, Umwelt, agronomischen Maßnahmen auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Winterweizenmalzen, Dissertation, Technische Universität München, 1997.
- Schieberle 1985 Schieberle, P. und Grosch, W.: Fette Seifen Anstrichmittel, 87, 1985, 76- 80.
- Schieberle 1991: Schieberle, P.: Primary Odorants in pale lager beer. In: Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung, Nr. 193, 1991, S. 558-565.
- Schildbach 1969 Schildbach, R.: Einfluss Von Anbauort und Stickstoffdüngung auf die Qualität von Gerste, Weizen und Malz, Monatsschrift für Brauerei, Nr. 22, 1969, S. 361 – 369.
- Schildbach 1975 Schildbach, R.: Ursachen für Unterschiede bei Gersten-, Malz und Biereigenschaften, Monatsschrift für Brauerei, Nr. 28, 1975, S. 28 – 37.
- Schmidt 1978a Schmidt, G.: Rund um das Hefeweizenbier. In: Brauwelt, 1978, S. 580- 592.
- Schmidt 1978b Schmidt, G.: Rund um das Hefeweizenbier. Teil II. In: Brauwelt, 1978, S. 638- 652.
- Schoendorfer 1981: Schoendorfer, J.: Untersuchungen zur Technologier der Angärung in der Brauerei, Dissertation, 1981.
- Schur 1972 Schur, F.: Einfluss der Maischbedingungen auf die Amylyse bei der Bierwürzegewinnung unter besonderer Berücksichtigung der Analytik von Maltooligosacchariden. Diplomarbeit, TU München-Weihenstephan, 1972.
- Seaton 1990: Seaton; J.C. Hodgson, J.A., Moir, M.: The Control of Ester Beer Content, Proc. Conv. Inst. Brew.1990, Nr 21, Seite 126-130.
- Seidl 2003 Seidl, C.: Persönliche Mitteilung. Priv. Weißbierbrauerei G. Schneider & Sohn GmbH, 2003.
- Sendra 1994: Sendra, J.M., Todo, V., Izquierdo, L., Carbonell, J. V.: Evaluation of the effects of yeast strain and fermentation conditions on the volatile concentration profiles of pilot plant lager beers, Brauwissenschaft 1994, Heft 10, Seite 316-321.
- Shanta 1995: Shanta, K., Fukui, N., Nakatani, K.: Regulation Mechanism of Ester Formation by Dissolved Carbon Dioxide During Beer Fermentation, Technical Quarterly 1995, Nr. 32, Seite 159-162.

- Shindo 1999: Shindo, S., Umemoto, S., Maeba, H., Shinotsuka, K.: Primary fermentation with immobilized yeast cells in brewing: Control of flavour production, Recent Res. Devel. Fermentation & Bioengineering 1999, Nr. 2, Seite 21-39.
- Sommer 1985 Sommer, G.: Versuche zur Optimierung des Maischverfahrens. In: Brauwelt 19/20, 1985, S.1120-1126.
- Stewart 1999: Stewart, G., Lyness, A., Younis, O.: The Control of Ester Synthesis During Wort Fermentation, Technical Quarterly 1999, Volume 36, Nr 1, Seite 61-66.
- Suomalainen 1981: Suomalainen, H.: Yeast Esterases and Aroma Esters in Alcoholic Beverages, J. Inst. Brew. 1981, Nr. 87, Seite 296-300.
- Thum 1999: Thum, B. und Back, W.: Schonende Analysenmethoden zur Quantifizierung von Schlüsselaromastoffen in Bier. In: Proceedings of the European Brewery Convention, 1999, S. 45- 52.
- Thurston 1981: Thurston, P.A., Quain, D.E., Tubb, R.S.: The control of volatile biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*, EBC-Congress 1981, Seite 197-206.
- Van Gheluwe 1975: Van Gheluwe, G., Chen, E., Valyi, Z.: Factors Effecting the Formation of Fusel Alcohols During Fermentation, Technical Quarterly 1975, Volume 12, No. 3, Seite 169-175.
- Verstrepen 2003: Verstrepen, K. J. et. al.: Flavour-Active Esters: Adding Fruitiness to Beer, Journal of Bioscience and Bioengineering 2003, Volume 96, Nr. 2, Seite 110-118.
- Wackerbauer 1977 Wackerbauer, K., Kossa, T., Tressl, R.: Die Bildung von Phenolen durch Hefen. In: Proceedings of the Congress, European Brewery Convention, Amsterdam 1977, S. 495-505.
- Wackerbauer 1980: Wackerbauer, K., Krämer, P., Toussaint, H.J.: Technologische Parameter der Esterbildung, Brauwissenschaft 1980, Heft 3, Seite 91-99.
- Wackerbauer 2003 Wackerbauer, K., Meyna, S., Westphal, M.: Veränderung von Gerste und Malz während der Lagerung und Auswirkungen auf die Geschmacksstabilität der hergestellten Biere, Monatsschrift für Brauwissenschaft, Nr. 56, 2003, S. 27 – 33.

- Warchalewski 1985 Warchalewski, J. R., Klockiewicz-Kaminska, E., Madaj, D.: Changes in α -amylases activity in wheat and malted wheat grain after long storage, Acta Alimentaria Polonica, Nr. 11, 1985, S. 379 – 384.
- Weinfurtner 1965 Weinfurtner, F., Wullinger, F. und Piendl, A.: Malzqualität – Würzezusammensetzung – Gärverlauf. In: Brauwelt, 1965 (81), S. 1516- 1529.
- White 1979 White, F. H., Portno, A. D.: The influence of wort composition on beer ester levels, EBC Proceedings of the 17th Congress, Berlin, 1979, S. 447 – 460.
- White 1979: White, F.H., Portno, A.D.: The Influence of Wort Composition on Beer Ester Levels, Proc. EBC-Congress Berlin 1979, Seite 447-460.
- Younis 1998 Younis, O. S., Stewart, G. G.: Sugar uptake and subsequent ester and higher alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*, Journal of the Institute of Brewing, Nr. 104, 1998, S. 255 – 264.
- Younis 2000 Younis, O. S., Stewart, G. G.: The effect of wort maltose content on volatile production and fermentation performance in brewing yeast, in Smart, K.: Brewing yeast fermentation performance, 1. Auflage, Blackwell Science, Oxford, UK, 2000, S. 170 – 176.
- Zufall 2000: Zufall, C., Kunerth, S., Tietje, N., Wackerbauer, K.: Beeinflussung der Hefevitalität durch physikalischen Druck, Monatsschrift für Brauwissenschaft 2000, Heft 3/4, Seite 44-49.