

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

## Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

### Untersuchungen zum Einfluss der Hopfungstechnologie auf die Geschmacksstabilität und Harmonie untergäriger Biere

Stefan Hanke

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H.-Chr. Langowski

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. W. Back (i.R.)
2. Hon.-Prof. Dr. H. M. Eßlinger,  
Technische Universität Bergakademie Freiberg
3. Univ.-Prof. Dr. K. Sommer

Die Dissertation wurde am 27.08.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 11.12.2009 angenommen.

Für meine Familie  
besonders  
Fabian und Franziska

„Lass die anderen mit Fichten- und Tannensprossen würzen,  
der Hopfen ist das Beste, was die Natur zu bieten hat.“

*Aus „Das Erbe des Bierzaubers“ von Günther Thömmes*

---

## **Danksagung**

Die ersten Seiten dieser Arbeit möchte ich nutzen, um mich bei den Menschen zu bedanken, die mir die vorliegende Arbeit in dieser Form ermöglicht haben.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr.-Ing. Werner Back, der mich am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I aufgenommen hat und mir das nötige Vertrauen zuteil werden ließ, um diese Arbeit anzufertigen.

Prof. Ludwig Narziß möchte ich für das Interesse an dieser Arbeit und die Teilhabe an seiner schier unerschöpflichen Expertise bedanken.

Ebenso möchte ich meinen direkten Betreuern Markus Herrmann, Martina Gastl und Martin Krottenthaler danken, die stets ein offenes Ohr für meine Probleme und Wünsche hatten und mir mit ihrer Fachkenntnis immer zur Seite standen.

Meinen Kollegen Moritz Krahl, Björn Klotzbücher, Sebastian Kappler, Michael Wurzbacher, Elisabeth Steiner, Cem Schwarz, Florian Schüll, Fei Qian, René Schneider, Felix Burberg, Klaus Hartmann, Martin Zarnkow, Sascha Wunderlich, Michael Müller, Florian Kühbeck, Frithjof Thiele und Mark Schneeberger, die mich stets bei meinen (zum Teil sehr anstrengenden und nicht immer köstlichen) Verkostungen unterstützt haben und durch konstruktive Anregungen diese Arbeit voran gebracht haben, soll auch gedankt werden. Vor allem die Erlebnisse abseits des Lehrstuhllaltages auf Tagungen, Kongressen oder anderen gemeinsamen Unternehmungen haben das Leben am Lehrstuhl bereichert und den Teamgeist enorm gefördert.

Für die Unterstützung bei den administrativen Aufgaben möchte ich besonders Daniela Schulte, Claudia Gün und Ulli Huber danken.

Für die zahlreichen Analysen, die für mich durchgeführt wurden, möchte ich bei den Laborantinnen und Laboranten des Lehrstuhls Michaela Marschmann, Doreen Bestehorn, Daniela Sommerer, Daniela Fitzka, Steffi Gruner, Markus Jakob, Robin Kiefer, Johann

---

Sempner, Natalie Naumann, Johanna Trostl, Melanie Messerer, Dagmar Münzer und Monika Braasch bedanken.

Danken möchte ich auch Verena Ditz, Cynthia Suwito, René Färber, Marc Stather, Steffan Volsdorf, Fritz Tauscher, Hannes Rückerl, Jonas Seidl, Matthias Kern und Andri Schrade deren Arbeitseifer und eigene Ideen als Diplom- und Studienarbeiter zum Gelingen dieser Arbeit einen deutlichen Beitrag geleistet hatten.

Meinem Hiwi Andri Schrade möchte ich an dieser Stelle nochmals gesondert danken, da er mich durch seinen Arbeitseinsatz bei der Bewältigung der Sudprogramme stark unterstützt hat.

Herrn Toni Pichlmeier und Gernot Berngruber möchte ich für die Einweisung in das Klein- und Pilotsudwerk sowie alle peripheren Gerätschaften herzlich danken.

Herrn Udo Kattein und seinem Team (Manfred Wallenwein, Johannes Kolb und Hendrik Wiesen) sei für die Möglichkeit der Nutzung und die Durchführung von Versuchen in der Bayrischen Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan herzlichst gedankt.

Den Professoren Michael Eßlinger und Karl Sommer möchte ich für die Bereitschaft danken in meiner Prüfungskommission mitzuwirken. Herrn Professor Horst-Christian Langowski möchte ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danken.

Da zeitgemäße Forschung ohne entsprechende Industriekontakte undenkbar wäre, möchte ich den Brauereien Bayrische Staatsbrauerei Weihenstephan, Arcobräu Gräfliches Brauhaus GmbH & Co. KG, Distelhäuser Brauerei Ernst Bauer GmbH & Co KG und der Landsberger Brauerei für die Bereitstellung von Untersuchungsmaterial sowie der Möglichkeit zur Durchführung von Versuchen in den jeweiligen Betrieben danken. Der Malzfabrik Mich. Weyermann® möchte ich ebenso für die stets großzügige Unterstützung dieser Versuche danken.

---

Eine Arbeit über Hopfen wäre unmöglich ohne die Unterstützung durch Dietmar Kaltner (IGN), Christina Schönberger (Joh. Barth & Sohn) Willi Mitter (Simon H. Steiner/Hopsteiner) sowie Andreas Gahr (Hopfenveredlung/Forschungsbrauerei St. Johann), die mit ihrer materiellen Unterstützung und mit ihrem Fachwissen sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Teile diese Arbeit wurden durch Mittel der Weihenstephaner Jubiläumsstiftung 1905 und des BarthHaas Grants finanziert, dafür an dieser Stelle auch herzlichen Dank.

Besonderer Dank gilt der HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e. G. für die großzügige Finanzierung dieser Arbeit. Besonders möchte ich den Herren Carlos Ruiz und Adrian Forster danken, die diese Arbeit durch Ihre Anregungen und die konstruktive Zusammenarbeit vorwärts gebracht haben.

Meinen Eltern möchte ich für die stete Unterstützung danken und dafür, dass sie mir dies ermöglicht haben.

Für die vielen entbehrungsreichen Tage und das aufgebrachte Verständnis möchte ich meiner Frau Franziska danken.

Vielen Dank!

St. Hanke

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Wahrnehmung der Grundgeschmacksarten</b> .....	<b>2</b>
2.1.1 Sauer .....	3
2.1.2 Salzig .....	3
2.1.3 Umami .....	3
2.1.4 Süß .....	4
2.1.5 Bitter .....	4
2.1.6 Adstringenz .....	5
<b>2.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 Wahrnehmung von Aromastoffen.....	5
2.2.2 Kombinatorische Effekte .....	6
<b>2.3 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung</b> .....	<b>7</b>
2.3.1 „Drinkability“ (Genusswert).....	7
2.3.2 Einflüsse auf die Bierbittere .....	10
<b>2.4 Bedeutung des Hopfens für die Biereigenschaften</b> .....	<b>12</b>
2.4.1 Mikrobiologie.....	12
2.4.2 Schaum .....	13
2.4.3 Polyphenole .....	14
2.4.4 Bittere .....	16
2.4.4.1 Humulone und Isohumulone .....	17
2.4.4.2 Lupulone und Hulupone .....	22
2.4.5 Erzeugung eines Hopfenaromas.....	24
2.4.6 Einfluss des Hopfenalters auf die Biereigenschaften .....	31
2.4.7 Einflussfaktoren auf die Ausbeute der Bitterstoffe .....	32
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung</b> .....	<b>37</b>
3.1.1 Verwendete Chemikalien .....	37
3.1.2 Herstellung der wässrigen Lösungen .....	38
3.1.3 Herstellung des ungehopften Bieres .....	39
3.1.4 Durchführung der Verkostungen .....	40
3.1.5 Auswertung der Schwellenwertsbestimmungen .....	41
<b>3.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen</b> .....	<b>42</b>
3.2.1 Verwendete Chemikalien .....	42
3.2.2 Durchführung der Verkostungen .....	42
3.2.3 Auswertung.....	43
<b>3.3 Einflüsse auf die Ausbeute von Bitterstoffen</b> .....	<b>43</b>
3.3.1 Verwendete Rohstoffe .....	43
3.3.2 Sudherstellung.....	44
3.3.2.1 Herstellung der Pfanne-Voll-Würzen .....	44
3.3.2.2 Kochversuche .....	45
3.3.3 Trubanalyse .....	47
3.3.4 Analysen.....	47

---

<b>3.4 Einfluss des Hopfenalters auf die Bierqualität .....</b>	<b>48</b>
3.4.1 Verwendete Rohstoffe .....	48
3.4.2 Bierherstellung .....	48
3.4.3 Analysen .....	49
<b>3.5 Einflussfaktoren auf den Transfer von Hopfenaromastoffen .....</b>	<b>49</b>
3.5.1 Verwendete Rohstoffe .....	49
3.5.2 Bierherstellung .....	51
3.5.3 Versuche im Industriemassstab .....	52
3.5.4 Analysen .....	53
<b>3.6 Einfluss des Hopfengabezeitpunktes auf die Bierqualität .....</b>	<b>53</b>
3.6.1 Verwendete Rohstoffe .....	53
3.6.2 Bierbereitung .....	54
3.6.3 Analysen .....	54
<b>3.7 Einfluss der Hopfensorte und mehrerer Hopfengaben auf die Bierqualität und Harmonie des Bieres .....</b>	<b>54</b>
3.7.1 Verwendete Rohstoffe .....	54
3.7.2 Bierherstellung .....	56
3.7.2.1 <i>Weihenstephan</i> .....	56
3.7.2.2 <i>Forschungsbrauerei St. Johann</i> .....	57
3.7.3 Hopfung .....	57
3.7.4 Analysen .....	59
<b>3.8 Untersuchung zum Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Würzequalität und die Hopfenaromastoffe .....</b>	<b>60</b>
3.8.1 Verwendete Rohstoffe .....	60
3.8.2 Versuchsbeschreibung .....	61
3.8.3 Analysen .....	64
<b>3.9 Reproduzierbarkeitsversuche .....</b>	<b>64</b>
<b>3.10 durchgeführte Analysen .....</b>	<b>66</b>
3.10.1 Rohstoffanalysen .....	66
3.10.2 Würze- und Bieranalysen .....	67
3.10.3 Verkostung .....	68
<b>4 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung .....</b>	<b>69</b>
4.1.1 Wässrige monomere Lösungen .....	69
4.1.1.1 <i>pH-Einfluss</i> .....	69
4.1.1.2 <i>Dextrine</i> .....	70
4.1.1.3 <i>Ethanol</i> .....	71
4.1.2 Wässrige, binäre Lösungen .....	73
4.1.3 Bier .....	78
4.1.3.1 <i>pH-Einfluss</i> .....	78
4.1.3.2 <i>Dextrine</i> .....	79
4.1.3.3 <i>Ethanol</i> .....	80
4.1.4 Zusammenfassung .....	81
<b>4.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen .....</b>	<b>82</b>
4.2.1 Fruchttester .....	82
4.2.1.1 <i>Apfelester</i> .....	82
4.2.1.2 <i>Bananenester</i> .....	84
4.2.1.3 <i>Orangenester</i> .....	86
4.2.2 Hopfenaromastoffe .....	89
4.2.3 Einfluss von Bieraromastoffen auf die Wahrnehmung von positiven und negativen Aromastoffen .....	91
4.2.3.1 <i>Beeinflussung von Hopfenaromastoffen durch Bieraromastoffe</i> .....	91

4.2.3.2	<i>Beeinflussung des Fehlromas Diacetyl</i> .....	94
4.2.3.3	<i>Beeinflussung des Fehlromas DMS</i> .....	96
4.2.3.4	<i>Beeinflussung des Fehlromas Isovaleriansäure</i> .....	98
4.2.4	Zusammenfassung .....	99
<b>4.3</b>	<b>Einflüsse auf die Ausbeute von Hopfenbitterstoffen</b> .....	<b>101</b>
4.3.1	Einfluss der Hopfengabe und des Hopfenproduktes .....	101
4.3.2	Einfluss der Kochzeit .....	105
4.3.3	Einfluss des Säuerungszeitpunktes .....	108
4.3.4	Einfluss des Hopfens auf die Trubabscheidung .....	113
4.3.5	Zusammenfassung Ausbeute von Bitterstoffen und Trubbildung .....	115
<b>4.4</b>	<b>Einfluss des Hopfenalters auf die Bierqualität</b> .....	<b>116</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Veränderungen des Hopfens</b> .....	<b>116</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Auswirkungen auf die Würze- und Bierqualität</b> .....	<b>117</b>
4.4.3	Zusammenfassung .....	122
<b>4.5</b>	<b>Einflussfaktoren auf den Transfer von Hopfenaromastoffen</b> .....	<b>123</b>
4.5.1	Transfer von Hopfenaromastoffen im Pilotmaßstab .....	123
4.5.2	Versuche im Industriemaßstab .....	131
4.5.3	Zusammenfassung .....	133
<b>4.6</b>	<b>Einfluss des Hopfengabezeitpunktes und der Hopfensorte auf die Bierqualität und Harmonie</b> .....	<b>134</b>
4.6.1	Variation des Hopfengabezeitpunktes.....	134
4.6.2	Variation der Hopfensorte / Beimischung von Aromahopfen bei Kochbeginn.....	139
4.6.2.1	<i>Hallertau Saphir</i> .....	141
4.6.2.2	<i>Hallertau Hallertauer Tradition</i> .....	142
4.6.2.3	<i>Tettnang Tettnanger</i> .....	144
4.6.2.4	<i>Hallertau Taurus</i> .....	145
4.6.2.5	<i>sortenunabhängige Betrachtung</i> .....	147
4.6.3	Einfluss mittlerer Hopfengaben .....	153
4.6.3.1	<i>Hallertau Saphir</i> .....	155
4.6.3.2	<i>Hallertau Hallertauer Tradition</i> .....	157
4.6.3.3	<i>Tettnang Tettnanger</i> .....	158
4.6.3.4	<i>Hallertau Taurus</i> .....	160
4.6.3.5	<i>sortenunabhängige Betrachtung</i> .....	161
4.6.4	Einfluss später Hopfengaben .....	165
4.6.4.1	<i>Hallertau Saphir</i> .....	167
4.6.4.2	<i>Hallertau Hallertauer Tradition</i> .....	168
4.6.4.3	<i>Tettnang Tettnanger</i> .....	170
4.6.4.4	<i>Hallertau Taurus</i> .....	171
4.6.4.5	<i>sortenunabhängige Betrachtung</i> .....	173
4.6.5	Sorten- und Dosagezeitpunktunabhängige Betrachtung .....	176
4.6.5.1	<i>Harmonie</i> .....	176
4.6.5.2	<i>Alterungsakzeptanz</i> .....	178
4.6.5.3	<i>Linalool</i> .....	179
<b>4.7</b>	<b>Einfluss verschiedener Hopfenaromastoffe auf die sensorische Wahrnehmung des Hopfenromas</b> .....	<b>182</b>
<b>4.8</b>	<b>Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Hopfenaromastoffe und Würzequalität</b> .....	<b>185</b>
.....	Zusammenfassung Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Hopfenaromastoffe und Würzequalität.....	195
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>196</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>200</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>226</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

%	-	Prozent
%mas	-	Massenprozent
%vol	-	Volumenprozent
*	-	95%ige Signifikanz
**	-	99%ige Signifikanz
***	-	99,9%ige Signifikanz
$\Sigma$	-	Summe
°C	-	Grad Celsius
°dH	-	Grad Deutscher Härte
µg	-	Mikrogramm
µl	-	Mikroliter
Abb.	-	Abbildung
AC	-	Aktivkohle
ac	-	acetyl
AfG	-	alkoholfreie Getränke
ARP	-	Antiradikalisches Potential
ASBC	-	American Society of Brewing Chemists
AW	-	Ausschlagwürze
Bd.	-	Band
BE	-	Bittereinheiten
BET	-	Best Estimated Threshold
bez. a.	-	bezogen auf
bzw.	-	beziehungsweise
C	-	Catechin
ca.	-	circa
Ca <sup>2+</sup>	-	Calcium
cAMP	-	cyclisches Adenosinmonophosphat
CO <sub>2</sub>	-	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -X	-	CO <sub>2</sub> -Extrakt
d. h.	-	dass heißt
DHA	-	dehydrierte Humulinsäure
Dia	-	Diacetyl
DIN	-	Deutsches Institut für Normung
DLG	-	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DMS	-	Dimethylsulfid
E	-	trans
EBC	-	European Brewery Convention
Ec	-	Epicatechin
ELG	-	Eiweisslösungsgrad
ENaC	-	epithelialer Natriumkanal
ESR	-	ElektronenSpinResonanz
et al.	-	et alia (und andere)

---

f	-	Freiheitsgrad
FAN	-	freie Aminostickstoff
FG	-	Freiheitsgrad
g	-	gamma
g	-	Gramm
GC	-	Gaschromatographie
gesch.	-	geschätzt
GG%	-	Gewichts-/Gewichtsprozent
GPCR	-	G-Protein gekoppelte Rezeptorzelle
GSW	-	Geruchs- bzw. Geschmacksschwellenwert
H	-	Bezeichnung für Biere aus Braustätte St. Johann
h	-	Stunde
HA0	-	ungehopftes Bier, St. Johann
HAPHT	-	100 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn, St. Johann
HAPSR	-	100 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn, St. Johann
HAPTE	-	100 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn, St. Johann
HAPTU	-	100 % Pellets Sorte HTU zu Kochbeginn, St. Johann
HAX	-	CO <sub>2</sub> -Extraktbier aus St. Johann
HAXPHT	-	50 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn, St. Johann
HAXPSR	-	50 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn, St. Johann
HAXPTE	-	50 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn, St. Johann
HBXPHT	-	Sorte HHT zu Kochmitte, St. Johann
HBXPSR	-	Sorte HSR zu Kochmitte, St. Johann
HBXPTE	-	Sorte TTE zu Kochmitte, St. Johann
HBXPTU	-	Sorte HTU zu Kochmitte, St. Johann
HCXPHT	-	Sorte HHT zu Kochmitte und Kochbeginn, St. Johann
HCXPSR	-	Sorte HSR zu Kochmitte und Kochbeginn, St. Johann
HCXPTE	-	Sorte TTE zu Kochmitte und Kochbeginn, St. Johann
HCXPTU	-	Sorte HTU zu Kochmitte und Kochbeginn, St. Johann
HHT	-	Hallertau Hallertauer Tradition
HHT 100	-	100 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn
HHT 50	-	50 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn
HHT KE	-	Pellets Sorte HHT zu Kochmitte und Kochbeginn
HHT KM	-	Pellets Sorte HHT zu Kochmitte
HOL	-	Hallertau Opal
HPLC	-	High Performance Liquid Chromatography
HSI	-	Hop Storage Index
HSR	-	Hallertau Saphir
HSR 100	-	100 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn
HSR 50	-	50 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn
HSR KE	-	Pellets Sorte HSR zu Kochmitte und Kochbeginn
HSR KM	-	Pellets Sorte HSR zu Kochmitte
HTU	-	Hallertau Taurus
HTU KE	-	Pellets Sorte HTU zu Kochmitte und Kochbeginn
HTU KM	-	Pellets Sorte HTU zu Kochmitte
HTU P	-	100 % Pellets Sorte HTU zu Kochbeginn

---

HTU P	-	Hallertau Taurus Pellets
HTU X	-	Hallertau Taurus CO2-Extrakt
IP <sub>3</sub>	-	Inositoltrisphosphat
KE	-	Kochende
kg	-	Kilogramm
KM	-	Kühlmitte bzw. Kochmitte
koag. N	-	koagulierbarer Stickstoff
KW	-	Konduktometerwert
l / L	-	Liter
LagT	-	Lagtime
lat	-	lateinisch
lftr.	-	lufttrocken
Lösl. N	-	Löslicher Stickstoff
me	-	methyl
MEBAK	-	Mitteuropäische Brautechnische Analysenkommission
mg	-	Milligramm
min	-	Minute(n)
Mio	-	Millionen
ml	-	Milliliter
mPa	-	Millipascal
n / N	-	Anzahl
n.	-	nach
n. a.	-	nicht analysiert
n. ausw.	-	nicht auswertbar
NaOH	-	Natriumhydroxid
ng	-	Nanogramm
nm	-	Nanometer
Nr.	-	Nummer
Ø	-	Durchschnitt
p. A.	-	zur Analyse
P45	-	Pellets Typ 45
P90	-	Pellets Typ 90
PfV	-	Pfanne-voll
ppm	-	parts per million
PVP	-	Polyvinylpyrrolidon
RF	-	Riboflavin
RT	-	Retentionszeit
s	-	Sekunde
s.	-	siehe
s. o.	-	siehe oben
s. u.	-	siehe unten
SJ	-	St. Johann
sog.	-	so genannt
Sp.	-	Spuren
SSP	-	Spalt Spalter
StabW	-	Standardabweichung

---

T	-	Bezeichnung für Biere aus Braustätte Weihenstephan
T+H	-	vereinte Werte beider Braustätten
T1R1 / T2R2 / T1R3	-	Bezeichnungen für verschiedene Geschmacksrezeptoren
TA0	-	ungehopftes Bier, Weihenstephan
Tab.	-	Tabelle
TAPHT	-	100 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAPSR	-	100 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAPTE	-	100 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAPTU	-	100 % Pellets Sorte HTU zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAX	-	CO <sub>2</sub> -Extraktbier aus Weihenstephan
TAXPHT	-	50 % Pellets Sorte HHT zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAXPSR	-	50 % Pellets Sorte HSR zu Kochbeginn, Weihenstephan
TAXPTE	-	50 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn, Weihenstephan
TBXPHT	-	50 % Pellets Sorte HHT zu Kochmitte, Weihenstephan
TBXPST	-	Sorte HSR zu Kochmitte, Weihenstephan
TBXPTE	-	Sorte TTE zu Kochmitte, Weihenstephan
TBXPSTU	-	Sorte HTU zu Kochmitte, Weihenstephan
TBZ	-	Thiobarbitursäurezahl
TCXPHT	-	Sorte HHT zu Kochmitte und Kochbeginn, Weihenstephan
TCXPSR	-	Sorte HSR zu Kochmitte und Kochbeginn, Weihenstephan
TCXPTE	-	Sorte TTE zu Kochmitte und Kochbeginn, Weihenstephan
TCXPSTU	-	Sorte HTU zu Kochmitte und Kochbeginn, Weihenstephan
TrS	-	Trockensubstanz
TTE	-	Tettnang Tettnanger
TTE 100	-	100 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn
TTE 50	-	50 % Pellets Sorte TTE zu Kochbeginn
TTE KE	-	Pellets Sorte TTE zu Kochmitte und Kochbeginn
TTE KM	-	Pellets Sorte TTE zu Kochmitte
u. a.	-	unter anderem
uvm.	-	und viele(s) mehr
v. a.	-	vor allem
VK	-	Variationskoeffizient
VZ	-	Verhältniszahl
wfr.	-	wasserfrei
X	-	Extrakt
Z	-	cis
z. B.	-	zum Beispiel
z. T.	-	zum Teil
α	-	alpha
β	-	beta
Δ	-	delta

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Papillentypen und deren Hauptverbreitungsgebiet auf der Zunge [1].....	2
Abbildung 2: Einflüsse auf den Genusswert bzw. die Drinkability nach MATTOS [69] .....	8
Abbildung 3: Strukturformel der $\alpha$ -, iso- $\alpha$ - und $\beta$ -Säure .....	16
Abbildung 4: Entstehungsweg des 3-Methyl-2-butenyl-Radikals.....	18
Abbildung 5: Strukturformeln der reduzierten iso- $\alpha$ -Säuren .....	20
Abbildung 6: Bildungsweg der Hulupone .....	23
Abbildung 7: Unterteilung der Hopfenöle nach SHARPE und LAWS [266].....	24
Abbildung 8: Strukturformeln einiger Hopfenaromastoffe.....	27
Abbildung 9: Glykosid aus $\beta$ -D-Glucose und Linalool .....	30
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Alterungsstabilität und Linaloolgehalt der Biere [128]....	30
Abbildung 11: Löslichkeit der Bitterstoffe in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur [245] .....	34
Abbildung 12: Schwellenwertbestimmung nach EBC-Methode 13.9 .....	40
Abbildung 13: Auswertungsbeispiel zur Ermittlung eines Schwellenwertes, .....	41
Abbildung 14: Schaubild des Innenkochers .....	62
Abbildung 15: Schaubild des Außenkochers .....	62
Abbildung 16: Schaubild des Vakuumverdampfungssystems 1 .....	63
Abbildung 17: Schaubild des Vakuumverdampfungssystems 2.....	63
Abbildung 18: Schaubild des Vakuumverdampfungssystems 2- Vakuumeinheit.....	64
Abbildung 19: Verkostungsschema für hopfenaromatische Biere nach KALTNER.....	68
Abbildung 20: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren bei verschiedenen pH-Werten.....	70
Abbildung 21: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in verschiedenen Dextrinlösungen .....	71
Abbildung 22: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in ethanolischer Lösung .....	72
Abbildung 23: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen bei pH 5,0 .....	73
Abbildung 24: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen bei pH 3,6 .....	74
Abbildung 25: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 0,5 % Dextrinen.....	75
Abbildung 26: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 5,0 % Dextrinen.....	76
Abbildung 27: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 0,5 % Ethanol.....	77
Abbildung 28: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 5,0 % Ethanol.....	77
Abbildung 29: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des pH-Wertes .....	78
Abbildung 30: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des Dextringehaltes.....	80
Abbildung 31: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des Ethanolgehaltes.....	81
Abbildung 32: Einfluss höherer 2-Phenylethanolkonzentrationen auf den Schwellenwert von Nerol, Geraniol und Linalool in Bier .....	92
Abbildung 33: Einfluss höherer Ethylacetatkonzentrationen auf den Schwellenwert von Geraniol und Linalool in Bier.....	93
Abbildung 34: Einfluss höherer Isoamylacetatkonzentrationen auf den Schwellenwert von Geraniol und Linalool in Bier.....	93
Abbildung 35: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von Diacetyl .....	94
Abbildung 36: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von Diacetyl.....	95
Abbildung 37: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von Diacetyl .....	95
Abbildung 38: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von DMS .....	96
Abbildung 39: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von DMS.....	96
Abbildung 40: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von DMS .....	97
Abbildung 41: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure .....	98
Abbildung 42: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure.....	98
Abbildung 43: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure.....	99
Abbildung 44: Wiederfindung der Humulone und Isohumulone bei Veränderung der Hopfengabe bzw. des Hopfenproduktes .....	103

---

Abbildung 45: Wiederfindung der $\beta$ -Säuren im Trub bei unterschiedlichen Hopfengaben und unterschiedlichem Hopfenprodukt .....	103
Abbildung 46: Trubmengenänderung bei Änderung der Hopfengabe/des Hopfenproduktes.....	104
Abbildung 47: Einfluss der Kochzeit auf die Ausbeute von Humulonen .....	106
Abbildung 48: Wiederfindung der $\beta$ -Säuren im Trub mit steigender Kochdauer.....	107
Abbildung 49: Photometrische Bittereinheiten bei steigender Kochdauer .....	107
Abbildung 50: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die Bitterstoffausbeute .....	109
Abbildung 51: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die photometrischen Bittereinheiten .....	110
Abbildung 52: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die TBZ .....	111
Abbildung 53: Veränderung der Trubmenge durch verschiedene Zeitpunkte der Säuerung .....	111
Abbildung 54: Unterschiedliches Trubabsetzverhalten durch Veränderung des Säuerungszeitpunktes.....	112
Abbildung 55: Vergleich der Trubmenge eines gehopften und ungehopften Sudes.....	114
Abbildung 56: Vergleich des TBZ-Anstieges bei einem ungehopften und gehopften Sudes .....	114
Abbildung 57: Vergleich des Gehaltes an koag. N bei einem ungehopften und einem gehopften Sud .....	115
Abbildung 58: Konzentrationsänderungen von Hopfeninhaltsstoffen und Änderung des HSI bei der Warmlagerung von Hopfenpellets .....	117
Abbildung 59: Bewertung der Harmonie und der Bitterintensität bei Dosage der gealterten Hopfen nach dem ursprünglichen $\alpha$ -Gehalt des Hopfens.....	119
Abbildung 60: Bewertung der Harmonie und der Bitterintensität bei Dosage der gealterten Hopfen nach dem aktuellen $\alpha$ -Gehalt des Hopfens.....	120
Abbildung 61: Einfluss der Gärtemperatur auf den Geraniolgehalt .....	126
Abbildung 62: Einfluss der Gärtemperatur auf den Linaloolgehalt .....	127
Abbildung 63: Einfluss des Linaloolgehaltes auf die Intensität des Geruchs des Hopfenaromas .....	128
Abbildung 64: Einfluss der Gärtemperatur auf das sensorisch wahrnehmbare Hopfenaroma.....	129
Abbildung 65: Graphische Darstellung der Transferrate für Linalool im Pilotmassstab .....	131
Abbildung 66: Einfluss des Hopfendosagezeitpunktes auf das Hopfenaroma.....	137
Abbildung 67: Einfluss des Hopfendosagezeitpunktes auf Harmonie und Bitterintensität .....	138
Abbildung 68: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HSR.....	141
Abbildung 69: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HSR.....	142
Abbildung 70: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HHT .....	143
Abbildung 71: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HHT .....	143
Abbildung 72: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte TTE.....	144
Abbildung 73: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte TTE.....	145
Abbildung 74: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pelletgabe der Sorte HTU .....	146
Abbildung 75: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pelletgabe der Sorte HTU .....	146
Abbildung 76: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn .....	147
Abbildung 77: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn (beide Braustätten zusammen).....	148
Abbildung 78: Veränderung der Bewertung der Bittergesamintensität durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn.....	149
Abbildung 79: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HSR .....	156

---

Abbildung 80: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HSR.....	156
Abbildung 81: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HHT	157
Abbildung 82: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HHT.....	158
Abbildung 83: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte TTE	159
Abbildung 84: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte TTE.....	159
Abbildung 85: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HTU	160
Abbildung 86: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HTU.....	161
Abbildung 87: Unterschiede in der Harmonie durch Pelletdosage zu Kochbeginn sowie Kochmitte.....	162
Abbildung 88: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HSR.....	167
Abbildung 89: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HSR.....	168
Abbildung 90: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HHT.....	169
Abbildung 91: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HHT.....	169
Abbildung 92: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte TTE.....	170
Abbildung 93: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte TTE.....	171
Abbildung 94: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HTU.....	172
Abbildung 95: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HTU.....	172
Abbildung 96: Unterschiede in der Harmonie durch Pelletdosage zu Kochbeginn sowie Kochmitte/Kochende.....	173
Abbildung 97: Linaloolgehalte der Weihenstephaner Biere.....	180
Abbildung 98: Linaloolgehalte der St. Johanner Biere.....	180
Abbildung 99: Einfluss des Linaloolgehaltes auf die Intensität des Geruches des Hopfenaromas	183
Abbildung 100: Gegenseitige Beeinflussung der Aromastoffe Nerol und Geraniol.....	184
Abbildung 101: Linaloolverlauf bei unterschiedlichen Kochsystemen.....	188
Abbildung 102: Verläufe verschiedener Aromastoffe bei verschiedenen Kochsystemen.....	189
Abbildung 103: Trubkegel bei verschiedenen Kochsystemen.....	192

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Hopfenausbeute nach Schur [144] .....	35
Tabelle 2: Zusammensetzung des Maltrodextrins.....	37
Tabelle 3: Versuchsanordnung Schwellenwertsbestimmung von Isohumulonen in wässrigen Lösungen .....	38
Tabelle 4: Maischverfahren .....	39
Tabelle 5: Malzdaten für Hopfenausbeuteversuche.....	43
Tabelle 6: Analysendaten der Hopfenprodukte.....	43
Tabelle 7: Maischverfahren zur Herstellung der PfV-Würzen .....	44
Tabelle 8: Hopfengabe .....	46
Tabelle 9: Übersicht der Kochungen zur Ausbeute von Bitterstoffen .....	46
Tabelle 10: Hopfenanalysen der gealterten Hopfenproben.....	48
Tabelle 11: Hopfengabe bei den Versuchen zum Einfluss des Hopfenalters .....	49
Tabelle 12: Malzanalyse.....	50
Tabelle 13: Bitterstoff- und Aromastoffgehalte der verwendeten Hopfensorten .....	50
Tabelle 14: Maischverfahren .....	51
Tabelle 15: Hopfengaben für die Versuche zur Bestimmung der Transferrate von Hopfenaromastoffen.....	52
Tabelle 16: Letzte Hopfengabe bei den Industrierversuchen .....	53
Tabelle 17: Hopfenanalysen.....	53
Tabelle 18: Malzanalyse des verwendeten Malzes.....	55
Tabelle 19: Analyse der verwendeten Hopfenprodukte .....	55
Tabelle 20: Maischverfahren .....	56
Tabelle 21: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie A (Hopfengabe zu Kochbeginn).....	58
Tabelle 22: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie B (Pelletgabe Kochmitte).....	58
Tabelle 23: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie C (Pelletgabe Kochmitte und Kochende).....	59
Tabelle 24: Analyse des Malzes für die Kochsystemversuche.....	60
Tabelle 25: Analyse des Hopfens (Sorte HSR) für die Kochsystemversuche.....	60
Tabelle 26: Reproduzierbarkeitsergebnisse für Pilotsudwerk und Analytik .....	65
Tabelle 27: Aufstellung der durchgeführten Rohstoffanalysen.....	66
Tabelle 28: Aufstellung der Analysen für Würze und Bier.....	67
Tabelle 29: Schwellenwerte von Ethylbutyrat, Ethyl-2-methylbutyrat, Butylacetat und Hexylacetat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung.....	83
Tabelle 30: Schwellenwerte von Butylbutyrat, Isoamylisobutyrat, Isoamylacetat und Butylacetat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung .....	85
Tabelle 31: Schwellenwerte von Ethylhexanoat, Ethyl-3-hydroxyhexanoat, Ethylbutyrat und Ethyl-2- methylbutyrat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung.....	88
Tabelle 32: Schwellenwerte ausgesuchter Hopfenaromastoffe und 2-Phenylethanol in Bier .....	89
Tabelle 33: Schwellenwerte ausgesuchter Hopfenaromastoffmischungen in Bier.....	90
Tabelle 34: Analysen der Pfanne-voll-Würzen.....	101
Tabelle 35: Ergebnisse der Versuchsreihe zur Veränderung der Hopfengabe und des Hopfenproduktes.....	102
Tabelle 36: Einfluss der Kochzeit auf die Bitterstoffausbeute.....	105
Tabelle 37: Ergebnisse zum Einfluss des Säuerungszeitpunktes .....	108
Tabelle 38: Einfluss der Kochzeit auf die Trubbildung einer ungehopften Würze.....	113
Tabelle 39: Analysenergebnisse der Würzen bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen .....	117
Tabelle 40: Analysenergebnisse der Biere bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen ...	118
Tabelle 41: DLG- und Alterungsbewertung der Biere mit unterschiedlich gealtertem Hopfen .....	121
Tabelle 42: Ergebnisse der Würzen und Biere .....	124

Tabelle 43: Gehalte an Hopfenaromastoffen in Würzen und Bieren .....	125
Tabelle 44: Transferraten für Hopfenaromastoffe in die Würze bei vier Hopfensorten und drei Dosagehöhen.....	130
Tabelle 45: Verlauf der Hopfenaromastoffe in Brauerei A.....	132
Tabelle 46: Hopfenaromastoffe in Brauerei B.....	132
Tabelle 47: Würzeergebnisse bei unterschiedlichen Hopfendosagezeitpunkten.....	135
Tabelle 48: Bierergebnisse bei unterschiedlichen Hopfendosagezeitpunkten.....	136
Tabelle 49: DLG- und Alterungsbewertung bei unterschiedlichem Hopfengabezeitpunkt .....	137
Tabelle 50: Bieranalysen der Serie A (Weihenstephan).....	139
Tabelle 51: Bieranalysen der Serie A (St. Johann) .....	140
Tabelle 52: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei Hopfengaben zu Kochbeginn .....	150
Tabelle 53: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciertener Biere bei einer Hopfengabe zu Kochbeginn .....	151
Tabelle 54: Eigenschaften auf die sich die Höhe der Pelletgabe zu Kochbeginn auswirkt .....	152
Tabelle 55: Bieranalysen der Serie B (Weihenstephan (T) und St. Johann (H)) .....	154
Tabelle 56: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei einer Extraktgabe zu KB und Pelletgabe zu Kochmitte.....	163
Tabelle 57: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciertener Biere bei einer Extraktgabe zu Kochbeginn und einer Pelletgabe zu Kochmitte .....	163
Tabelle 58: Eigenschaften auf die sich die Höhe der Pelletgabe zu Kochmitte auswirkt .....	164
Tabelle 59: Bieranalysen der Serie C (Weihenstephan (T) und St. Johann (H)) .....	166
Tabelle 60: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei einer Extraktgabe zu KB und Pelletgabe zu Kochmitte und Kochende .....	174
Tabelle 61: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciertener Biere bei einer Extraktgabe zu Kochbeginn und einer Pelletgabe zu Kochmitte und Kochende.....	175
Tabelle 62: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) über alle Serien .....	177
Tabelle 63: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciertener Biere über alle Serien.....	178
Tabelle 64: Eigenschaften/Einflussgrößen, die mit dem Linaloolgehalt korrelieren.....	181
Tabelle 65: Korrelationskoeffizienten zwischen Wahrnehmung des Hopfenaromas in Geruch und Trunk und den Hopfenaromastoffen .....	183
Tabelle 66: Würzeanalysen und Veränderung der Würzeparameter in Abhängigkeit der Kochzeit und des Kochsystemes .....	186
Tabelle 67: Verlauf der Hopfenaromastoffe bei unterschiedlichen Kochsystemen.....	187
Tabelle 68: Transferraten von Hopfenaromastoffen bei unterschiedlichen Kochsystemen .....	191
Tabelle 69: Bewertung der endogenen antioxidativen Eigenschaften der verschiedenen Würzen.....	193
Tabelle 70: Korrelation zwischen Polyphenolen und antioxidativer Eigenschaft der Würze .....	194
Tabelle 71: Bieraromastoffe der frischen Biere bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen .....	226
Tabelle 72: Verkostungsergebnisse bei Dosage des gealterten Hopfens nach ursprünglichem $\alpha$ - Gehalt .....	227
Tabelle 73: Verkostungsergebnisse bei Dosage des gealterten Hopfens nach aktuellem $\alpha$ -Gehalt .....	228
Tabelle 74: Verkostungsergebnisse der HSR-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung.....	229
Tabelle 75: Verkostungsergebnisse der HTU-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung.....	230
Tabelle 76: Verkostungsergebnisse der SSP-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung.....	231
Tabelle 77: Verkostungsergebnisse der HOL-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung.....	232
Tabelle 78: Verkostungsergebnisse bei Variation des Hopfendosagezeitpunktes.....	233
Tabelle 79: Ölspektrum der verwendeten Hopfen (Kohlenwasserstofffraktion) .....	234
Tabelle 80: Ölspektrum verwendeter Hopfen (Sauerstofffraktion).....	235
Tabelle 81: Spektrum niedermolekularer Polyphenole [mg/kg] der verwendeten Hopfensorten... ..	236
Tabelle 82: Bieraromastoffe Serie A (Weihenstephan) .....	237

Tabelle 83: Bieraromastoffe Serie A (St. Johann).....	238
Tabelle 84: Alterungsindikatoren Serie A (Weihenstephan).....	239
Tabelle 85: Alterungsindikatoren Serie A (St. Johann).....	240
Tabelle 86: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HHT, St. Johann.....	241
Tabelle 87: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HSR, St. Johann.....	242
Tabelle 88: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte TTE, St. Johann .....	243
Tabelle 89: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HTU, St. Johann.....	244
Tabelle 90: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HHT, Weihenstephan .....	245
Tabelle 91: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HSR, Weihenstephan .....	246
Tabelle 92: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte TTE, Weihenstephan.....	247
Tabelle 93: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HTU, Weihenstephan .....	248
Tabelle 94: Bieraromastoffe Serie B.....	249
Tabelle 95: Alterungsindikatoren Serie B.....	250
Tabelle 96: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte HHT und HSR, St. Johann.....	251
Tabelle 97: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte TTE und HTU, St. Johann .....	252
Tabelle 98: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte HHT und HSR, Weihenstephan.....	253
Tabelle 99: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte TTE und HTU, Weihenstephan.....	254
Tabelle 100: Bieraromastoffe Serie C.....	255
Tabelle 101: Alterungsindikatoren Serie C.....	256
Tabelle 102: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte HHT und HSR, St. Johann .....	257
Tabelle 103: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte TTE und HTU, St. Johann .....	258
Tabelle 104: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte HHT und HSR, Weihenstephan.....	259
Tabelle 105: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte TTE und HTU, Weihenstephan.....	260
Tabelle 106: DLG-Verkostung und Alterungsverkostung nach Eichorn (alle Serien, St. Johann).	261
Tabelle 107: DLG-Verkostung und Alterungsverkostung nach Eichorn (alle Serien, Weihenstephan)	262
Tabelle 108: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie A des St. Johanner	
Verkostungspanels (Weihenstephan).....	263
Tabelle 109: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie A des St. Johanner	
Verkostungspanels (St. Johann).....	264
Tabelle 110: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie B des St. Johanner	
Verkostungspanels (St. Johann und Weihenstephan) .....	265
Tabelle 111: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie C des St. Johanner	
Verkostungspanels (St. Johann und Weihenstephan) .....	266
Tabelle 112: Analyse der niedermolekularen Polyphenole aller Sude aus St. Johann .....	267
Tabelle 113: Analyse der niedermolekularen Polyphenole aller Sude aus Weihenstephan .....	270
Tabelle 114: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie A, nur Kochbeginn).....	273
Tabelle 115: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (Serie A, nur Kochbeginn).....	274
Tabelle 116: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie A, nur Kochbeginn).....	275
Tabelle 117: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie A, nur Kochbeginn) .....	275
Tabelle 118: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie A, nur Kochbeginn).....	276
Tabelle 119: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Weihenstephaner Panels (Serie A, nur Kochbeginn).....	277
Tabelle 120: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk),	
Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (Serie A, nur Kochbeginn)	277
.....	277

---

Tabelle 121: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner frisch (Serie A, nur Kochbeginn).....	278
Tabelle 122: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie A, nur Kochbeginn) .....	279
Tabelle 123: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie A, nur Kochbeginn).....	279
Tabelle 124: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie B) .....	280
Tabelle 125: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffe frisch (Serie B) .....	281
Tabelle 126: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie B) .....	282
Tabelle 127: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie B).....	282
Tabelle 128: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie B) .....	283
Tabelle 129: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (Serie B) .....	285
Tabelle 130: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten den St. Johanner Panels (Serie B).....	285
Tabelle 131: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner frisch (Serie B) .....	286
Tabelle 132: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie B) .....	287
Tabelle 133: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie B).....	288
Tabelle 134: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie C) .....	288
Tabelle 135: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (Serie C) .....	289
Tabelle 136: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie C) .....	290
Tabelle 137: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie C).....	291
Tabelle 138: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie C) .....	292
Tabelle 139: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (Serie C) .....	293
Tabelle 140: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (Serie C).....	293
Tabelle 141: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner (Serie C).....	294
Tabelle 142: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie C) .....	295
Tabelle 143: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie C) .....	296
Tabelle 144: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (alle Serien) .....	296
Tabelle 145: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (alle Serien) .....	297
Tabelle 146: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (alle Serien) .....	298

---

Tabelle 147: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert.....	298
Tabelle 148: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (alle Serien) .....	299
Tabelle 149: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (alle Serien) .....	300
Tabelle 150: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (alle Serien).....	300
Tabelle 151: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfenverkostung n. Kaltner (frisch) (alle Serien) .....	301
Tabelle 152: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfenverkostung n. Kaltner (forciert) (alle Serien).....	302
Tabelle 153: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (alle Serien) .....	303
Tabelle 154: Würzearomastoffe der Innenkocher-Würzen (Mittelwerte) .....	304
Tabelle 155: Würzearomastoffe der Außenkocher-Würzen (Mittelwerte) .....	305
Tabelle 156: Würzearomastoffe der Würzen mit Vakuumsystem 1 hergestellt (Mittelwerte) .....	306
Tabelle 157: Würzearomastoffe der Würzen mit Vakuumsystem 2 hergestellt (Mittelwerte) .....	307

## 1 Einleitung

Seit Jahrhunderten wird Hopfen als Aromatikum für Bier genutzt. In einem Biermarkt, der wie der deutsche Markt jährlich schrumpft und geprägt ist durch eine Angleichung der Biercharaktere an die relativ erfolgreichen „Fernsehbiere“, ist es für ein Unternehmen wichtig, sich entsprechend zu positionieren und eine gleichbleibende Produktqualität zu liefern. Diese Positionierung kann unter anderem über den Einsatz von Aromahopfen zur Erzielung eines angenehmen Hopfenaromas erfolgen. Durch diesen gezielten Einsatz des Hopfens ist ebenso möglich, neue Aromausprägungen zu kreieren und sich somit deutlich vom Mitbewerber zu unterscheiden. Die bisherige Dosagepraxis von Aromahopfen zu Kochende erfolgt nach dem Bitterstoffgehalt des Hopfenproduktes. Da aber bei einer späten Gabe kaum Bitterstoffe gelöst werden, sondern hauptsächlich Aromastoffe in die Würze gebracht werden, ist diese Vorgehensweise mit großen sensorischen Schwankungen verbunden, da Öle und Bitterstoffe in Abhängigkeit des Jahrganges schwanken. Diese sensorischen Schwankungen bleiben dem Konsumenten nicht verborgen.

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von Aromahopfen auf die Biereigenschaften insbesondere auf die Geschmacksstabilität sowie die Harmonie zu untersuchen. Die Literatur aber auch die Biere aus der Praxis liefern Hinweise, dass bei einer Verwendung von Aromahopfen auch zu Kochbeginn die Biereigenschaften ausgeglichener und das Gesamtprofil des Bieres harmonischer wird. Bei den durchgeführten Untersuchungen ging es auch darum, wie die Einzelkomponenten des Hopfens mit Bestandteilen der Biermatrix reagieren und somit das Geschmacks- und Aromaprofil beeinflussen. Ebenso sollten bisher durchgeführte Dissertationen zum Thema der Hopfenaromastoffe ergänzt werden und der Aromastofftransfer näher untersucht werden, um ein einheitliches Hopfenaroma erzielen zu können.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Wahrnehmung der Grundgeschmacksarten

Die Wahrnehmung des Geschmacks findet mittels Geschmacksrezeptoren statt. Der Mensch hat diese Geschmacksrezeptoren in verschiedenen Gebieten der Mundhöhle, einschließlich Zunge, Gaumen und Rachen. Die Rezeptoren sind in multizellularen rosettenartigen Verbänden angeordnet, den sogenannten Geschmacksknospen. Diese sind mikroskopische Rosenknospen ähnliche Gebilde, die aus 60-120 Zellen bestehen und meist in Verbänden akkumuliert sind [1, 2]. Die an der Signalweiterleitung beteiligten Rezeptorzellen sind durch Mikrovilli in direktem Kontakt mit der Lösung in der Mundhöhle. Diese Mikrovilli haben durch eine kleine Pore den Kontakt zur Mundhöhle. Die meisten Geschmacksknospen sind in pilzförmigen (fungiform), Blätter- (vallate) und Wallpapillen (foliate) untergebracht. Abbildung 1 zeigt diese verschiedenen Typen sowie deren Hauptverbreitungsgebiet auf der Zunge [1, 2]. Die Geschmackswahrnehmung wird u. a. durch Geschlecht [3, 4, 5], Alter [6, 3, 7, 8, 9, 10, 11], Schwangerschaft [12] sowie Krankheit bzw. Medikamentenkonsum [10] beeinflusst. Eine Beeinflussung des Geschmacks durch die Farbe der Lösung [13] ist ebenso bekannt, wie die Beeinflussung

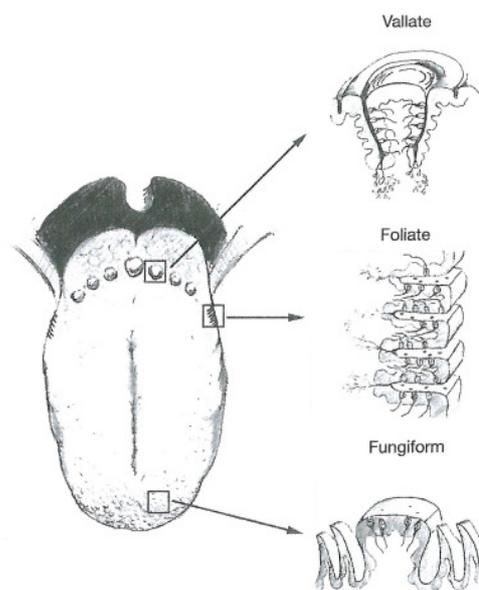


Abbildung 1: Papillentypen und deren Hauptverbreitungsgebiet auf der Zunge [1]

der Wahrnehmung durch die Temperatur der Probe [14].

Im Folgenden soll kurz auf die 5 Grundgeschmacksarten eingegangen werden.

### **2.1.1 Sauer**

Der Sauergeschmack wird durch Säuren hervorgerufen. Die Übertragung erfolgt über Ionenkanäle, wobei es hier die Annahme mehrerer Möglichkeiten gibt. Neben der direkten Blockade von apikalen Kaliumkanälen durch Protonen und die dadurch verursachte Depolarisierung des Membranpotentials wird auch die Protonenpassage durch ENaC, die Aktivierung säureempfindlicher Ionenkanäle uvm. diskutiert [1]. Da organische Säuren saurer wahrgenommen werden, als es der pH-Wert vermuten lässt, ist hier auf einen zusätzlichen Beitrag der undissoziierten Protonen bzw. der Säurerestionen zu schließen [15].

### **2.1.2 Salzig**

Der Salzgeschmack wird von Natrium und anderen Kationen ausgelöst und über Ionenkanäle übertragen. Das Eindringen der Kationen depolarisiert das Membranpotential und löst einen Einstrom von Calciumionen aus, was zur Freisetzung von Neurotransmittern führt. Ein sogenannter Epithelialer Natrium Kanal (ENaC) ist der Rezeptor des salzigen Geschmackes [1].

### **2.1.3 Umami**

Umami wurde 1908 erstmals als Geschmack beschrieben [16]. Für diese Geschmacksart gibt es keine deutsche Übersetzung, umami ist japanisch für „köstlich“. Seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts ist umami aufgrund seiner Unabhängigkeit von anderen Grundgeschmacksarten als eigenständige Grundgeschmacksart anerkannt [17]. Dieser Eindruck wird vor allem durch Mononatriumglutamat und Inosinmonophosphat hervorgerufen [16]. Die Reizinformation für umami wird, ähnlich wie süß, über

G-proteingekoppelte Rezeptorzellen (GPCR) zum Gehirn weitergeleitet. Die GPCRs T1R1 und T1R2 sind als Aminosäurerezeptoren und als umami-Rezeptoren anerkannt [1, 18].

#### 2.1.4 Süß

Der süße Geschmack wird ebenfalls über membrangebundene Proteinrezeptoren übertragen. Als Rezeptoren dienen die T1R2 und T1R3 Untereinheiten [18]. Die Reaktionskaskade, die durch die Detektion süßer Verbindungen ausgelöst wird, ist u. a. von MARGOLSKEE [19] und BRESLIN [1] beschrieben.

#### 2.1.5 Bitter

Der Bittergeschmack ist ein evolutionärer und angeborener Schutzmechanismus, da viele toxische Substanzen bitter schmecken [20, 21, 1, 22, 23, 18]. Aufgrund der Vielzahl strukturell vollkommen verschiedener bitter schmeckender Verbindungen, werden mehrere mögliche Reizweiterleitungswege angenommen. Ein möglicher Weg könnte ein G-Protein einschließen, welches enzymaktiviertes  $IP_3$  anregt und somit  $Ca^{2+}$  freisetzt. Ein anderer Mechanismus geht von einem weiteren G-Protein (co-Gustucin) aus, welches das Enzym Phosphodiesterase aktiviert und den intrazellulären cAMP-Spiegel absenkt. Ein direktes Blocken von Kaliumkanälen durch Bitterstoffe könnte allerdings auch möglich sein [2]. Bisher wurden über 25 verschiedene Bitterrezeptoren (T2R) gefunden, die z. T. spezifisch auf einzelne Substanzklassen ansprechen [24, 25]. Die T2R sind in allen Geschmacksknospen exprimiert [26]. Bezüglich der biochemischen Übertragungswege auf molekularer Ebene soll an dieser Stelle auf die Literatur [1, 27, 2, 26, 28, 19, 23] verwiesen werden. Eine Identifizierung der Bitterrezeptoren für die Hopfenbitterstoffe wurde von INTELMANN et al. [29] durchgeführt. Es zeigte sich, dass die verschiedenen Bitterstoffe auf zum Teil unterschiedliche Rezeptoren wirken.

Im Bier ist die wahrgenommene Bittere von einer Vielzahl verschiedener Faktoren abhängig. Neben den aus dem Hopfen stammenden Bitterstoffen sind auch Maillardprodukte, Magnesiumsalze und verschiedene phenolische Substanzen für die

Bittere verantwortlich [25]. Auf die verschiedenen bekannten Maßnahmen zur Beeinflussung der Bierbittere soll an anderer Stelle in dieser Arbeit näher eingegangen werden.

### **2.1.6 Adstringenz**

Obwohl der adstringente Eindruck keine Grundgeschmacksart ist, sondern ein taktiler Reiz [30], soll an dieser Stelle kurz darauf eingegangen werden, da dieser Eindruck bei Bier von Bedeutung sein kann. Der adstringente Eindruck wird durch ein Ziehen der Wangenmuskulatur bzw. ein trockenes oder raues Empfinden auf der Oberfläche der Mundhöhle wahrgenommen [31, 32]. Dieses Mundgefühl entsteht durch die Reaktion von (prolinreichen) Speichelproteinen mit den o-Diphenolgruppen von Polyphenolen [26, 33, 34, 35]. Durch diese Fällungsreaktion kann auch die  $\alpha$ -Amylase des Speichels gefällt und deren Wirkung behindert werden [36]. Vor allem hochmolekulare Polyphenole rufen Adstringenz hervor [26, 37, 35] aber auch den organischen Säuren werden adstringente Geschmackseigenschaften zugesprochen [38, 39, 30, 32, 35]. Durch Ethanol, welcher ebenfalls adstringente Eigenschaften hat [33, 35] und durch eine Veränderung des pH-Wertes kann das adstringente Mundgefühl verstärkt werden [39, 32, 40]. Hierzu gibt es die These, dass eine pH-Absenkung im Mundraum zu verstärkten Polyphenol-Protein-Wechselwirkungen und somit zu einer stärkeren Adstringenz führt [35].

## **2.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen**

### **2.2.1 Wahrnehmung von Aromastoffen**

Der Geruchssinn ist ein sehr komplexer Sinn, der zwar hochentwickelt, aber im Vergleich zu anderen Tierarten beim Menschen weniger stark ausgeprägt ist. Die involvierten Chemorezeptoren sind olfaktorische Zellen, die in der olfaktorischen Epithelschicht an der Spitze der Nasenhöhle eingebunden sind [41]. Der Geruchssinn ist ein sehr schneller Sinn und einige Gerüche (z. B. schwefelhaltige Verbindungen) können in sehr geringer Konzentration wahrgenommen werden [41].

Der Aufbau des olfaktorischen Systems und die Mechanismen der Geruchswahrnehmung sowie die, ähnlich den Grundgeschmacksarten, über GPCRs erfolgende Reizweiterleitung sind eingehend in der Literatur von MONCRIEFF [42], BEETS [43], MARUNIAK [44] und anderen [45, 46] beschrieben.

Aufgrund von Gehirnverletzungen (z. B. Schädel-Hirn-Trauma) [47] oder anderer Erkrankungen/Entzündungen kann die Geruchswahrnehmung gestört sein. Wie die Geschmackswahrnehmung wird auch der Geruchssinn durch das Alter beeinflusst [46].

### **2.2.2 Kombinatorische Effekte**

Eine einzelne Verbindung in einem reinen Lösungsmittel (z. B. Wasser) wird in ihrer Wahrnehmung nicht beeinflusst. Es wird nur das Aroma dieser Substanz wahrgenommen. Bei Zugabe von weiteren Substanzen zu einer anderen können verschiedene Effekte auftreten. Hierbei ist es gleichgültig, ob es sich um eine Mischung von Geschmacksstoffen oder Aromastoffen handelt. Bei verschiedenen Mischungen können die Eindrücke verstärkt oder auch abgeschwächt werden. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass sich die Aromastoffe unabhängig von einander verhalten und sich gegenseitig nicht beeinflussen. Bei den gegenseitigen Beeinflussungen sind auch synergistische und/oder maskierende Effekte möglich [48]. Maskierung bzw. antagonistische Effekte sind ein sehr alltägliches Phänomen heterogener Mischungen [49], aber auch synergistische Effekte sind bei Mischungen eher die Regel als die Ausnahme [48].

Die Wahrnehmung von Aromastoffen wird auch über Wechselwirkungen mit nichtflüchtigen Matrixbestandteilen beeinflusst [50, 51, 52]. Die Konzentration von Aromastoffen in der Dampfphase über einem Lebensmittel ist für die Wahrnehmung von großer Bedeutung [53, 51]. So ist z. B. bekannt, dass eine 5%ige Glucoselösung die Headspacekonzentration von Diacetyl erhöht und dass Ethanol das fruchtige Aroma von Cider beeinflussen kann [53].

Verstärkende Effekte von Aromastoffmischungen wurden erstmals zu Beginn der 1960er Jahre beim Oxidationsgeschmack von Milch beschrieben [54, 55]. Der Oxidationsgeschmack war erkennbar, obwohl alle relevanten Substanzen unter ihrem jeweiligen Schwellenwert waren [54]. In der Folge wurden auch bei Estern [56], Aldehyden [57] und Wassershadstoffen [58] solche auf die Aromawahrnehmung verstärkend

wirkenden Effekte gefunden. Diese Effekte sind besonders häufig bei Vertretern einer chemischen Klasse zu finden [57]. Laut LILLARD et al. sind diese Effekte v. a. bei äquivalenten Mischungen von Substanzen mit ähnlichen Schwellenwerten von Bedeutung [55]. In Mischungen scheinen die Schwellenwerte von der Gesamtzahl der Mischungskomponenten abhängig zu sein [59].

Aufgrund komplizierter Wechselwirkungen ist das Aroma von einem komplexen Lebensmittel, wie Bier, sehr schwer vorhersagbar. Schwellenwerte von Aromastoffen unterscheiden sich sehr stark davon, ob die Bestimmung in Wasser oder Bier erfolgt [60, 61]. SEGA et al. [52] vermuteten bereits Ende der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts die Existenz additiver/verstärkender Effekte, die aber bisher nicht ausreichend untersucht wurden. ENGAN [62] fand zwischen verschiedenen höheren Alkoholen und deren Mischungen verstärkende Effekte. Jüngere Arbeiten von HERRMANN et al. [63] sowie von SAISON et al. [64] konnten zeigen, dass solche verstärkende Effekte bei Alterungsaromen in Bier auftreten. CULLERÉ et al. fanden für verschiedene Weinaromastoffe ebenfalls synergistische Effekte [65]. Dies bedeutet, dass Aromastoffe auch in Konzentrationen, die unter dem Einzelschwellenwert liegen, einen Aromabeitrag leisten können. PALAMAND et al. [66] fanden ebenfalls, dass Aromastoffe in sub-Schwellenwertkonzentrationen einen Beitrag zum Bieraroma liefern können.

## ***2.3 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung***

### **2.3.1 „Drinkability“ (Genusswert)**

Unter „Drinkability“ bzw. Genusswert wird eine besondere Harmonie und Ausgewogenheit verstanden, die einen Anreiz zum Genuss eines weiteren Bieres/Getränkes schafft. Grundsätzlich wird darunter die Eigenschaft eines Getränkes verstanden, die den Konsumenten von einer Sättigung abhält und ihn ein weiteres Glas dieses Produktes konsumieren lässt [67, 68, 4, 69, 70]. Neben der sozialen Atmosphäre [67] ist auch die Kombination von Speisen und Getränken für den aktuellen Genuss

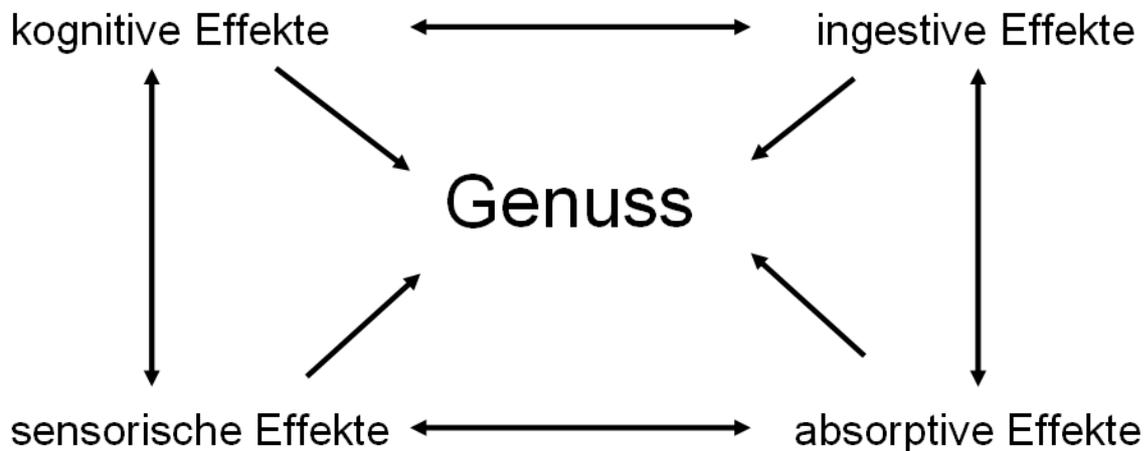


Abbildung 2: Einflüsse auf den Genusswert bzw. die Drinkability nach MATTOS [69]

entscheidend [4]. Für die Beurteilung der „Drinkability“ scheint das zweite Glas wichtiger als der erste Eindruck zu sein. Auf den Genusswert eines Bieres haben nichttechnologische Parameter ebenso wie technologische Parameter einen großen Einfluss. Neben sensorischen Eigenschaften (Aroma, Geschmack, Textur) und kognitiven Einflüssen sind auch ingestive und absorptive Effekte von Relevanz [69] (s. Abb. 2). Kognitive Effekte sind zum Beispiel der Glaube an die Marke bzw. der Glaube an die Qualität einer bestimmten Marke. Hierbei spielen auch Probleme bezüglich persönlicher Entscheidungen und der Prägung durch die Umwelt bzw. das soziale Umfeld eine Rolle [4]. Ingestive und absorptive Effekte sind mit biochemischen Reaktionen nach der Aufnahme in den Verdauungstrakt verbunden. Ingestive Effekte von Bier, d. h. Wirkungen, die mit der Nahrungs- bzw. Getränkeaufnahme verbunden sind (z. B. Harndrang), wurden von japanischen Forschergruppen untersucht. Dabei wurde die Genusseigenschaft von Bier auf den menschlichen Körper analysiert. Es stellte sich heraus, dass eine fortschreitende Magenfüllung das Verlangen nach Bier schwächt. So wurde Bier eine hohe „Drinkability“ zugeschrieben, bei deren Konsum sich der Magen der Probanden relativ zügig entleerte und sich kein Sättigungsgefühl einstellte [71]. Auch bei Bier mit einem Fehlgeschmack konnte diese Theorie bestätigt werden. Diese Biere führten zu einer reduzierten Urinausscheidung und somit zu einem höheren Sättigungsgefühl, so dass kein Verlangen nach diesem Getränk mehr vorhanden war [70]. Zu diesen Fehlgeschmäckern ist auch der Alterungsgeschmack zu zählen, denn laut DOPFER et al. vermindert sich die „Drinkability“ bereits, bevor eine Alterung überhaupt bemerkbar wird [72, 73].

Über die Beeinflussung des Genusswertes mittels technologischer Parameter ist bisher wenig veröffentlicht. Für eine Reihe von alkoholfreien Getränken wurden deren Einflussfaktoren auf die durstlöschende Wirkung untersucht. Es handelte sich hierbei um verschiedene Säfte, Cola-Getränke, Mineralwasser, ein isotonisches Sportgetränk sowie Fruchtmilch. Hier zeigten sich zwischen der Azidität und den durstlöschenden Eigenschaften eindeutige Zusammenhänge, während Kohlendioxidgehalt, Süße und Viskosität („thickness“) des Getränkes keine Korrelation mit durstlöschenden Eigenschaften zeigten [74]. Nach Aussagen von MCEWAN [74] ist daher der ideale Durstlöscher relativ sauer, fruchtig, herb, stark im Aroma aber nicht süß, viskos oder karbonisiert. CO<sub>2</sub> reduziert die Süße von Getränken und erhöht die Säurewahrnehmung. Karbonisierte Proben werden außerdem etwas bitterer wahrgenommen [75]. Im Gegensatz zu MCEWAN haben sich GUINARD und Mitarbeiter [76] mit den durstlöschenden Eigenschaften von Bier beschäftigt. Sie fanden hoch signifikante Zusammenhänge zwischen der „Drinkability“ und den durstlöschenden Eigenschaften von Bier. Die Ergebnisse stehen in gewissem Widerspruch zu den Untersuchungen von MCEWAN. So werden der Kohlendioxidgehalt als positiver Durstlöschfaktor genannt und die Azidität (hauptsächlich von organischen Säuren stammend) als negativer Faktor. Als mögliche Gründe für diese widersprüchlichen Ergebnisse werden die unterschiedlichen Getränke (Bier kontra alkoholfreie Getränke (AfG)) angeführt. Laut GUINARD geht eine hohe Aromakonzentration mit geringeren Durstlöscheigenschaften einher [76].

Inwiefern der Genusswert des Bieres durch technologische Variation verschiedener Parameter beeinflusst werden kann, ist bisher nur in wenigen Arbeiten untersucht. So schrieben FOSTER et al. [77] dem Alter des Hopfens eine Bedeutung zu. Je älter der verwendete Hopfen war, desto schlechter wurde die „Drinkability“ der erhaltenen Biere bewertet. Biere mit frischem Hopfen zeichneten sich durch eine stärkere Bittere und mehr Malzsüsse aus. Neben dem Alterungsgrad und Art des Hopfens ist auch die Menge der Hopfengabe ein wichtiges Kriterium [68]. Werden allerdings nichteuropäische Biere einem solchen Vergleich hinzugezogen, ist keine statistische Korrelation mehr erkennbar [68]. In diesem Zusammenhang spielt die Gewöhnung bzw. das üblicherweise konsumierte Bier eine große Rolle bezüglich der Bewertung der „Drinkability“ [76]. Von anderen Autoren werden dem Restextrakt genussfördernde Eigenschaften zugesprochen [78, 68]. Innerhalb des Restextraktes ist der Maltosegehalt ein wichtiger, aber kein entscheidender Faktor

[68]. Süße scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die „Drinkability“ zu besitzen, ebenso wenig wie der Gehalt an Polyphenolen und niedermolekularen Stickstoffverbindungen [68]. Die Bittere ist die markanteste Biereigenschaft und hat auch einen entscheidenden Einfluss auf den Genusswert. Eine zu kurze Bittere macht das Produkt langweilig, wohingegen eine zu lange Bittere das Bier unangenehm werden lässt [79]. Laut COLLIN et al. [60] sollte die Bierbittere zwischen 17 und 25 BE liegen, wobei die Untersuchung von COLLIN in einem Bier mit 30%igem Reisannteil durchgeführt worden sind. Allmalzbier zeigen dagegen eine deutlich intensivere Geschmacksmatrix [80]. Der Genusswert des Bieres ist aber auch noch von weiteren Faktoren abhängig. So kann CO<sub>2</sub> kleine Aromafehler überdecken [81], was laut NAGAO et al. [70] zu einer besseren „Drinkability“ führt. Ein gut ausbalanciertes BE/CO<sub>2</sub>-Verhältnis wird als positiv betrachtet [81]. Der Einfluss der Polyphenole ist noch nicht ausreichend geklärt aber ein Bier ohne Polyphenole soll wenig harmonisch und leer schmecken [82].

### 2.3.2 Einflüsse auf die Bierbittere

Der durch den Hopfen hervorgerufene Bittergeschmack ist die markanteste Eigenschaft des Bieres. Durch die Zugabe von Hopfen zur Würze im Sudhaus oder außerhalb des Reinheitsgebotes der Einsatz von so genannten Downstream Produkten wird die gewünschte Bittere im Bier eingestellt. Als Hauptbitterträger gelten die iso- $\alpha$ -Säuren, die für einen Bitteranteil von mehr als 85 % verantwortlich sind [83]. Neben des Einflusses der Menge an iso- $\alpha$ -Säuren gibt es noch weitere Faktoren, die die sensorische Wahrnehmung der Bittere beeinflussen [83]. Bier wird, aufgrund seiner komplexen Mischung verschiedenster Inhaltsstoffe, die Fähigkeit zugeschrieben, die Bittere und andere Aroma- bzw. Geschmackskomponenten zu maskieren [50, 79, 84]. In Wein sind phenolische Verbindungen die Hauptbitterträger, deren Bitterwirkung durch steigende Ethanolkonzentration verstärkt wird [85, 86]. Auch MARTIN et al. [87] konnten eine verstärkende Wirkung von Ethanol auf bitternde Substanzen finden. GUINARD et al. [88] fanden ebenfalls, dass Ethanol die Bittere der iso- $\alpha$ -Säuren verstärkt. Andererseits wird von WEISS et al. dem Alkohol eine Verminderung der Bitterwahrnehmung zugesprochen [84]. In Cider verleiht der Ethanol Körper und erhöht durch Reduktion der Säure und

Abschwächung „harter“ Substanzen die Weichheit [89]. Wie sich also Ethanol auf Bier auswirkt bzw. auswirken könnte, geht nicht eindeutig aus der Literatur hervor. Da Zucker den bitteren Eindruck von Ethanol mindern können [90, 91], ist der Gehalt an Restextrakt ein weiterer wichtiger Faktor, um die Bittere zu beeinflussen [78, 92, 68, 86]. Die Bedeutung der Dextrine als Teil des Restextraktes wird in der Abmilderung des bitteren Nachgeschmackes gesehen [78]. Aus der Literatur ist bekannt, dass durch den Konsum von Bier der Speichelfluss angeregt wird. Die mit dem Speichel exkretierte  $\alpha$ -Amylase baut die Dextrine des in der Mundhöhle verbleibenden Bierrestes zu Maltose, Maltotriose und geringen Mengen Glucose ab [78]. Glucose ist in der Lage den bitteren Nachgeschmack abzumildern [88, 79]. Aus der nach dem Schlucken im Mund verbleibenden Restmenge an Kohlenhydraten (Restextrakt), entstehen laut BRÉFORT et al. enzymatisch ca. 5 g Glucose/l in 1 Minute. Diese Menge reicht aus, um die Bittere abzumildern [78]. Eine zu hohe Vergärung und ein daraus resultierender niedriger Kohlenhydratgehalt, erfordern somit auch geringer Gehalte an iso- $\alpha$ -Säuren für eine harmonische Bittere [93]. Der wichtigste Einfluss auf die Bitterwahrnehmung ist anscheinend der pH-Wert. Laut BRENNER et al. [94] wirkt sich ein höherer pH-Wert negativ in Form einer harschen, nachhängenden Bittere des Bieres aus, während ein niedrigerer pH-Wert einen gegenteiligen Effekt auf die Bittere besitzt. MEILGAARD [83] schreibt diese unterschiedlichen Wahrnehmungen den unterschiedlichen Anteilen an dissoziierten und undissoziierten Isohumulonen zu. Bei höheren pH-Werten liegen mehr iso- $\alpha$ -Säuren in anionischer Form vor als bei niedrigeren pH-Werten. Nach MEILGAARDS Theorie kann das Isohumulanion die Geschmackszellen intensiver reizen und daher einen anderen Bittereindruck verursachen. Kohlendioxid und Ethanol lassen den Speichelfluss und den pH-Wert im Mund ansteigen. Durch die aufgrund der pH-Anhebung hervorgerufene Dissoziation der iso- $\alpha$ -Säuren verändert sich die Bitterempfindung, da die Isohumulate eine nachhängende Bittere hervorrufen [95]. Auch COLLIN et al. fanden, dass die nicht ionisierten iso- $\alpha$ -Säuren eine mildere Bittere aufweisen [60]. GUINARD et al. fanden weiterhin, dass der pH-Wert verstärkend auf die Bitterstoffe wirkt [88]. Ein Einfluss des pH-Wertes auf die Geschmacksschwelle der Bittersäuren wird bisher negiert [96].

## **2.4 Bedeutung des Hopfens für die Biereigenschaften**

„Wie früh der Hopfen für die Bierbereitung verwendet wird, ist nicht zu ermitteln“, schrieben die Gebrüder GRIMM in ihrem Deutschen Wörterbuch im 19. Jahrhundert [97]. Hopfen wird also seit alters her für das Bierbrauen verwendet. Urkundlich ist sicher, dass bereits in der Mitte des 9. Jahrhunderts in Oberbayern Hopfengärten verbreitet waren [98, 99]. So ist zum Beispiel für die Zeit um 860 in der Gegend um Nandlstadt bei Freising ein Hopfengarten erwähnt [98]. Ob allerdings zu dieser Zeit der Hopfen bereits für Brauzwecke verwendet wurde, ist nicht überliefert, aber es wird vermutet, dass bereits damals dies der Fall war [98]. Für die Nutzung des Hopfens gibt es mehrere Gründe: Hopfen bringt Bittere und das Hopfenaroma in das Bier. Er hat antibakterielle Eigenschaften und hilft somit, dass Bier frei von pathogenen Keimen zu halten [100]. Seit der Bekanntmachung des Reinheitsgebotes 1516 ist der Hopfen das alleinige Aromatikum für Bier. Auf die speziellen Eigenschaften des Hopfen bzw. seiner Inhaltsstoffe soll im Folgenden näher eingegangen werden.

### **2.4.1 Mikrobiologie**

Bier ist aufgrund seines beschränkten Nährstoffangebotes, des Ethanols und Kohlendioxids sowie der gelösten Hopfenbestandteile ein schlechtes Wachstumsmedium [101]. Bereits 1888 wurde von HAYDUCK die antiseptische Wirkung des Hopfens beschrieben und den mit Ether extrahierbaren Bitterstoffen zugeschrieben [102]. Lupulone werden außerhalb der Brauindustrie gegen gram-(+)-Keime eingesetzt [103]. Gegen gram-(-)-Keime zeigen die Hopfenbitterstoffe keine Wirksamkeit [101, 104]. Das Wachstum pathogener Keime wird durch die Hopfenharze ebenfalls gehemmt und EMSLANDER beschreibt Bier als gutes Abwehrmittel gegenüber Infektionskrankheiten [105].

Die Bitterstoffe verursachen Fehlstellen in der Zytoplasmamembran, so dass die aktiven Zucker- und Aminosäuretransporter gehemmt werden. Hierfür ist die undissoziierte Form verantwortlich [101]. Die in die Mikroorganismenzellen eindiffundierenden Moleküle dissoziieren in der Zelle und beeinflussen somit den Metabolismus [106]. Bereits 10 mg/l

iso- $\alpha$ -Säuren zeigen antibiotische Wirkung, wobei die iso- $\alpha$ -Säuren sehr viel schwächer wirken als die  $\alpha$ -Säuren und die reduzierten Formen der iso- $\alpha$ -Säure [106, 103, 104].

In einer jüngeren Arbeit wurde ein weiterer hemmender Wirkmechanismus des Hopfens als transmembrane Redoxreaktion bei niedrigem pH-Wert und in Gegenwart von Mangan identifiziert [107, 108]. Die antibakterielle Wirkung beruht somit auf einer Senkung des intrazellulären pH-Wertes sowie aus der Redoxreaktivität der Bitterstoffe, die einen oxidativen Zelltod herbeiführen [107].

## 2.4.2 Schaum

Der Schaum ist neben Farbe und Glanzfeinheit die Biereigenschaft, die der Verbraucher zuerst wahrnimmt. Daher sollte der Schaum möglichst feinporig und stabil sein. Auch ungehopfte Biere besitzen einen Schaum, welcher auch in gewissen Grenzen stabil ist [109, 110]. Die überragende Rolle des Hopfens für den Schaum, wurde schon 1926 von GEYS [111] beschrieben und in der Folgezeit mehrfach bestätigt [112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122]. GEYS stellte außerdem fest, dass das Schaumbier höhere Stickstoffgehalte aufweist und dass Humulone stabile Schäume erzeugen [111].

Schaum entsteht durch Dipol- und hydrophobe Wechselwirkungen zwischen Proteinen und Hopfenbitterstoffen, die den Schaum stabilisieren [117]. Bezüglich der Schaumbildung und Schaumstabilisierung gibt es verschiedene Meinungen, aber die Bedeutung von Proteinen und Bitterstoffen ist allgemein anerkannt [112, 113, 123, 116, 117, 118, 120, 124, 125, 122]. Als biereigene Schaumförderer neben den Bitterstoffen gelten u. a. Metallionen,  $\beta$ -Glucan und Proteine [116, 124]. Schaumnegativ wirken basische Aminosäuren, Lipide und Ethanol [116, 118], da durch diese Substanzen die Verbindung zwischen Proteinen und Bitterstoffen gelöst/geschwächt wird. Auch über einen negativen Einfluss eines deutlichen Hopfenaromas wird berichtet [126].

Die einzelnen Homologe wirken alle schaumpositiv aber aufgrund der unterschiedlichen Hydrophobizität reichern sich naturgemäß die n- und ad-Humulone stärker im Schaum an und bilden somit tendenziell stabilerer Schäume [113, 115, 127]. Von den Stereoisomeren der jeweiligen Homologe bildet die trans-Form stabilere Schäume [119]. Ein weiterer wichtiger Faktor, der das Schaumpotential beeinflussen kann, ist die Kochung. Zu langes bzw. zu intensives Kochen vermindert die schaumpositiven Eiweißfraktionen, wobei aber

bei einem zu kurzen Kochen eine ungenügende Extraktion der Hopfenharze stattfinden kann [109, 80]. Die gelöste Gasmenge ist ebenfalls von Bedeutung, da die Gasblasen eine Grenzfläche bilden können, an der sich hydrophobe Teilchen anlagern und miteinander zum Schaum reagieren können [112, 114, 124].

Die bei der Reduktion der iso- $\alpha$ -Säure entstehenden Downstreamvarianten tetra-hydro-iso- $\alpha$ -Säure und hexa-hydro-iso- $\alpha$ -Säure erzeugen aufgrund ihrer höheren Hydrophobizität sehr stabile, bei Überdosage unecht wirkende, Schäume [80]. Humulone besitzen ein höheres Schaumpotential als iso-Humulone [128] und können durch späte Hopfengaben im Bier angereichert werden.

### 2.4.3 Polyphenole

Polyphenole sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe mit zum Teil pharmakologischen Wirkungen. Ihnen wird das so genannte French-Paradoxon, d. h. eine geringere Mortalität aufgrund von Herz-Kreislaufkrankungen im Vergleich zu Ländern mit ähnlichen Ernährungsgewohnheiten, zugeschrieben. Als Polyphenolquelle dient hier Rotwein [129]. Im Wein sind Polyphenole die primäre Bitterquelle [85] und geben einen entsprechenden Beitrag zur Vollmundigkeit [130]. Der Geschmackseindruck der Polyphenole ist zum einen abhängig von der Einzelsubstanz und zum anderen vom Polymerisierungsgrad, so schmeckt Epicatechin bitterer als Catechin [130]. Monomere Formen sind eher bitter, während hochmolekulare Formen der Polyphenole eher Adstringenz verursachen [26, 131]. Hopfen gehört zu den wenigen Pflanzen, die Prenylflavonoide bilden [132]. In den letzten Jahren wurde dem Prenylflavonoid Xanthohumol besondere Bedeutung zuteil, da es ein hohes anticancerogenes Potential besitzt [129, 133, 132]. Durch spezielle Brauverfahren ist es gelungen, Xanthohumol im Bier anzureichern [134].

Das Verhältnis zwischen Malz- und Hopfenpolyphenolen liegt laut BELLMER bei ca. 3,7:1 [135], so dass Hopfen verglichen mit Malz eine eher untergeordnete Polyphenolquelle darstellt. Die Eigenschaften der Hopfenpolyphenole sind andererseits sehr interessant und technologisch bedeutend. Hopfengerbstoffe sind gut wasserlöslich und antioxidativ und verhalten sich anders als Malzgerbstoffe [136, 137]. Der oftmals verwendete Begriff „Gerbstoffe“ umfasst nicht alle Polyphenole, da nicht alle Polyphenole eine

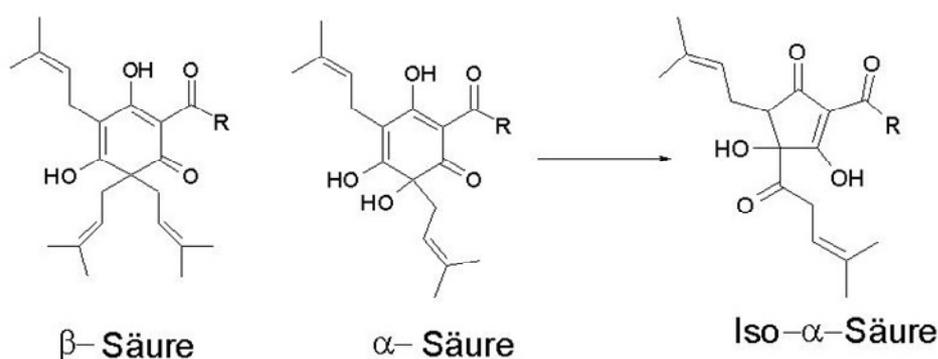
gerbende/proteinfällende Wirkung haben. Unter „Tanninen“ werden Substanzen verstanden, die bestimmte Proteine fällen können [138].

Der Eintrag von Polyphenolen kann über die Wahl des Hopfensorte und des Hopfenproduktes beeinflusst werden. Bei der Extraktion von Hopfen mit CO<sub>2</sub> verbleiben polare Substanzen und Polyphenole in den Hopfentrebern, während bei der ethanolischen Extraktion diese Bestandteile teilweise mit extrahiert werden [139]. Bei Untersuchung der Abhängigkeit des Polyphenolgehaltes von der Hopfensorte stellte KAMMHUBER fest, dass offenbar der  $\alpha$ -Säuregehalt negativ mit den Polyphenolgehalten korreliert [140], was erklärt, warum Aromahopfensorten höhere Polyphenolgehalte aufweisen als Bitterhopfensorten [139, 141]. Im Bier werden den Polyphenolen, neben der Beeinflussung der Geschmacksstabilität, verschiedene Wirkungen zugeschrieben. Ein hoher Polyphenolgehalt im Bier soll positiv für Körper und Vollmundigkeit desselben sein [142, 141, 137], so dass von KOWAKA et al. [142] darin der positive Beitrag von Aromahopfungaben gesehen wird. Biere, die aus proanthocyanidinfreien Gerstenmalzen gebraut und mit reinem Harz gebittert wurden, waren „lack“ und ohne Körper [143]. Auch SCHUR spricht den Polyphenolen einen gewissen Einfluss auf die Bierbittere zu [144]. Durch den Eintrag hauptsächlich niedermolekularer Polyphenole wirken sich diese positiv auf die Alterungsstabilität des Bieres aus [135, 145], während Malzpolyphenole keinen Einfluss auf die Alterung haben sollen [145]. Durch das Würzekochen werden die Flavanole gelöst [146] und bei kürzeren Kochzeiten steigt die reduzierende Kraft [147]. Polyphenole sind auch beim Kochen aktiv [145]. Dies beeinflusst die Geschmacksstabilität positiv, da die Polyphenole aktive Sauerstoffformen quenchen [148] und somit Lipide und auch Bitterstoffe vor einer Oxidation schützen [149]. Allerdings kann dadurch auch die Trübungsneigung des Bieres erhöht werden [147], obwohl ein hoher Polyphenolgehalt nicht zwangsläufig zu einer schlechteren chemisch-physikalischen Stabilität führen muss [150].

MUNEKATA et al. schreiben den Polyphenolen (speziell den Anthocyanogenen) gushingfördernde Eigenschaften zu, so dass aufgrund ihrer Untersuchungen das Gerbstoff/Humulon-Verhältnis wichtig für die Gushingtendenz eines Bieres ist [151]. Die gushingfördernden Eigenschaften von Polyphenolen werden auch an anderer Stelle in der Literatur erwähnt [100, 152].

## 2.4.4 Bittere

Neben den Polyphenolen und Hopfenölen sind die Bitterstoffe die wichtigste wertgebende Stoffgruppe des Hopfens. HAYDUCK beschrieb 1888 erstmals die  $\alpha$ - und die  $\beta$ -Säure [102]. Da weder die  $\alpha$ - noch die  $\beta$ -Säure echte Carbonsäuren sind, gaben LINTNER und SCHNELL der  $\alpha$ -Säure den Namen Humulon, während WÖLLMER der  $\beta$ -Säure analog dazu den Namen Lupulon verlieh (nach *Humulus Lupulus*: lat. Hopfen) [153]. Die chemischen Eigenschaften des Humulons und Lupulons wurden von HAYDUCK [102], WÖLLMER [153, 154, 155], WIELAND [156, 157] und KOLBACH [158, 159, 160, 161, 162, 163] beschrieben. Die Humulone und Lupulone sind keine einheitliche Substanz. In den 1950er Jahren wurde die Heterogenität dieser Stoffgruppe von RIGBY und BETHUNE [164] entdeckt. Die Haupthomologen sind die co-, n- und ad-Form, die sich jeweils in der Struktur der Seitenkette unterscheiden. Von den Humulonen unterscheiden sich die Lupulone durch eine Dimethylallyl-Gruppe anstelle einer Hydroxylgruppe am C<sub>4</sub>-Atom. In Abbildung 3 sind die Strukturformeln der  $\alpha$ -, iso- $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren sowie die Seitenketten der Homologen dargestellt. Daneben gibt es noch weitere Homologe, die aber nur in relativ geringen Mengen vorkommen [121].



Name	Struktur
co-Humulon / co-Lupulon	-CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Humulon / Lupulon	-CH <sub>2</sub> -CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
ad-Humulon / ad-Lupulon	-CH(CH <sub>3</sub> )-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
prä-Humulon / prä-Lupulon	-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
post-Humulon / post-Lupulon	-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>

Abbildung 3: Strukturformel der  $\alpha$ -, iso- $\alpha$ - und  $\beta$ -Säure

#### 2.4.4.1 Humulone und Isohumulone

Die Humulone sind die Vorläufersubstanzen für die iso-Humulone, die für mehr als 85 % der wahrgenommenen Bittere im Bier verantwortlich gemacht werden [83]. Die Isoform ist löslicher und deutlich bitterer als die originäre  $\alpha$ -Säure [165]. Aufgrund der schwachen Bitterkraft hat die unisomerisierte  $\alpha$ -Säure keinen direkten Bitterbeitrag [166]. Während der Isomerisierung entstehen aus jeder  $\alpha$ -Säure zwei Strukturisomere [167]. Die Bezeichnung „cis“ und „trans“ bezieht sich bei den iso- $\alpha$ -Säuren auf die räumliche Anordnung der Hydroxylgruppe am C<sub>4</sub>-Atom in Bezug auf die Isoprenyl-Seitenkette am C<sub>5</sub>-Atom [168]. Aufgrund der stereochemischen Eigenschaften ist die trans-Form instabiler als die cis-Form [169, 170]. Die Bitterintensität der Isomere wird als gleich [171, 170, 172] mit einer Tendenz zu etwas stärker bitteren cis-Formen beschrieben [173, 174, 175, 176]. INTELMANN et al. fanden in ihrer Arbeit für die trans-Form höhere Schwellenwerte als für die cis-Form [29]. Bei der normalen Isomerisierung bei der Würzekochung entstehen rund 70 % der cis-Form [143, 169, 177]. Durch die Wahl der Isomerisierungsbedingungen kann das Verhältnis bis zu 100 % trans-iso- $\alpha$ -Säuren verschoben werden [178, 179]. Durch die höhere Instabilität der trans-Form [143, 169, 180, 179] kann aufgrund des cis/trans-Verhältnisses auf den Alterungszustand der Bitterstoffe geschlossen werden [181, 169]. Während der Würzekochung entsteht eine Vielzahl von Oxidationsprodukten [182] (z. B.: allo-, abeo- bzw. anti-iso- $\alpha$ -Säuren), denen auch ein Beitrag zur Bierbittere zugesprochen wird [143, 183, 184, 185].

Die iso- $\alpha$ -Säuren sind in der anionischen Form anfällig gegenüber oxidativen Vorgängen und bauen in Gegenwart geeigneter Elektronenakzeptoren ab [184]. Ein bekannter Abbauweg ist die Bildung des Lichtgeschmackes. Dieser ist eine sensorische Veränderung von Getränken, die durch nichtenzymatische, photochemische Reaktionen entsteht. Ein solcher Fehlgeschmack tritt nicht nur in Bier, sondern auch in Milch und Wein auf und wird meist auf schwefelhaltige Verbindungen zurückgeführt [186, 187]. In Bier wurde dieser Fehlgeschmack bereits 1875 in Verbindung mit hellem Glas beschrieben [188]. 1908 wurden von BRAND [189] auch grüne Flaschen als ungeeignet betrachtet. Zu Beginn der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde von KUROIWA et al. [190, 191] die Substanz 3-Methyl-2-buten-1-thiol (MBT) als Leit aromakomponente des Lichtgeschmackes identifiziert. Als Ursache für den Fehlgeschmack fanden sie damals die Abspaltung der

Isoprenseitenkette der Isohumulone und die Reaktion dieser mit einer Schwefelquelle. GUNST et al. [192] haben 3-Methyl-2-buten-1-thiol als Träger des Lichtgeschmacks bestätigt. KUROWA et al. [190] definierten den Lichtgeschmack als eine Mischung verschiedener schwefelhaltiger Verbindungen, Schwefelwasserstoff sowie Abbauprodukten der Isohumulone und Kohlenmonoxid. KATTEIN et al. [193] beschrieben den Lichtgeschmack als ein Zusammenspiel von Methylmerkaptan (Methanthiol) und 3-Methyl-2-buten-1-thiol, auch Schwefelwasserstoff wurde von ihnen als Teil des Lichtgeschmacks vermutet. KOMAREK et al. [194] stellten fest, dass neben 3-Methyl-2-buten-1-thiol auch Phenylacetaldehyd und 3-Methylthiopropional in belichteten Bieren vorkommen. Da die Isohumulone bei der für die Entstehung des Lichtgeschmacks schädlichen Wellenlänge von 350–500 nm transparent sind, wurde auf der Suche nach einem Photokatalysator die Rolle des Riboflavins entdeckt [195, 191, 196]. Riboflavin (RF) wird durch UV-Licht angeregt und in den energiereichen Triplettzustand ( $^3\text{RF}^*$ ) überführt. Dieses angeregte Riboflavin ist ein sehr starker Elektronenakzeptor und induziert einen Elektronenübergang vom  $\beta$ -Tricarbonylchromophor des Isohumulatanions auf das angeregte Riboflavin. Dieser Elektronenübergang ist eine Schlüsselreaktion bei der Bildung von 3-Methyl-2-buten-1-thiol [197, 198, 199]. Durch intra- oder intermolekulare  $\text{H}^+$ -Abspaltung wird das freie Elektron am  $\text{C}_4$ -Atom des Moleküls lokalisiert. Aufgrund der Schwäche der angrenzenden Bindung

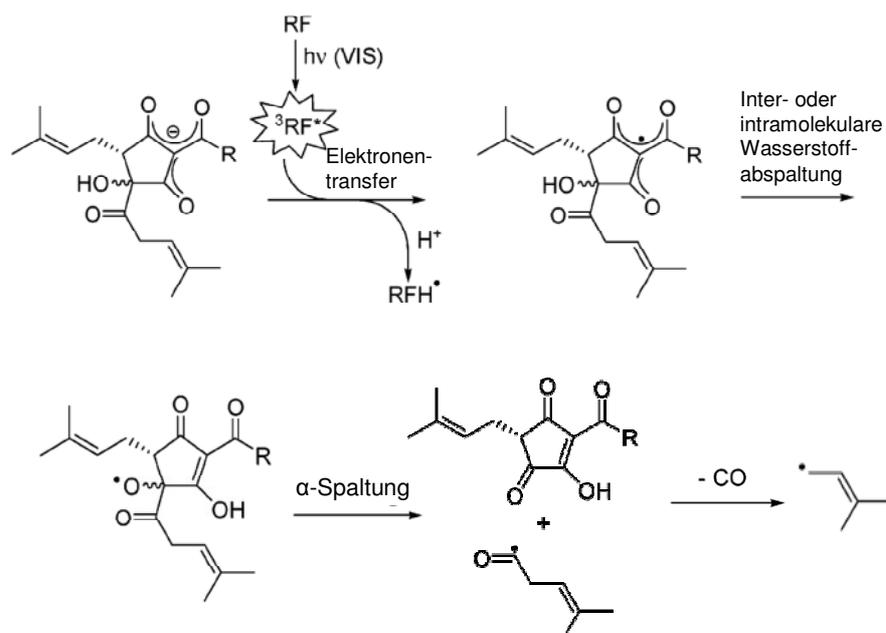


Abbildung 4: Entstehungsweg des 3-Methyl-2-butenyl-Radikals

kommt es zur Abspaltung des 4-Methyl-pent-3-enoyl-Radikals, welches in einer Folgereaktion durch Decarbonylierung zum 3-Methyl-2-butenyl-Radikal stabilisiert wird [197]. Der Entstehungsweg dieses Radikals ist in Abbildung 4 nochmals graphisch gezeigt [192, 197]. Als weiteres Reaktionsprodukt konnte die in Abbildung 4 ebenfalls dargestellte Dehydrohumulinsäure identifiziert werden [200]. In Flavinadeninindinukleotid und Flavinmononukleotid gebundenes Riboflavin ist genauso photochemisch wirksam wie frei vorliegendes Riboflavin [201, 202]. In Bieren, die durch Licht geschädigt wurden, konnte auch Kohlenmonoxid nachgewiesen werden [203, 204, 190], was den hier angegebenen Entstehungsweg bestätigt. Bei Vorhandensein einer geeigneten Schwefelquelle reagiert das 3-Methyl-2-butenyl-Radikal mit einer Sulfhydryl-Gruppe zum 3-Methyl-2-buten-1-thiol [205, 192, 195, 196]. Als geeignete Schwefelquellen werden v. a. Cystein Schwefelwasserstoff angesehen, wobei ein Abbau von Aminosäuren als wahrscheinlicher angesehen wird als eine Reduktion von Schwefelwasserstoff [202], da dieser in Modellversuchen sich als ineffektiv bei der 3-Methyl-2-buten-1-thiol-Bildung erwiesen hat [196]. Der Lichtgeschmack ist bereits erkennbar, wenn noch kein Bitterstoffabbau detektierbar ist [206]. Es bedarf nur des photochemischen Abbaus eines Isohumulonmoleküls von einer Million Molekülen, um einen Lichtgeschmack zu bemerken [207]. Das 3-Methyl-2-buten-1-thiol gehört zu den aromaaktivsten Verbindungen, die bekannt sind. Diese Verbindung hat eine Geruchsschwelle in Wasser von 0,2–0,4 ng/l [208] und in Bier 4–35 ng/l [195]. Mit der Entstehung des Lichtgeschmackes geht auch ein Abfall des Redoxpotentials im Bier einher [209, 202]. Neben Riboflavin, Isohumulonen, Licht der entsprechenden Wellenlänge und der Schwefelquelle gibt es weitere Faktoren, die die Ausbildung dieses speziellen Fehlgeschmackes beeinflussen. KNORR [210, 211] beschrieb eine Anfälligkeit gegenüber Strahlungsschäden in Abhängigkeit von Hefe und Rohstoffen, da Hefe Disulfidbindungen reduzierende Enzyme enthält und die Malzlösung sich auf das Lichtgeschmackspotential auswirkt. Ein Bier aus einem überlöstem Malz ist laut Knorr empfindlicher gegenüber Strahlung. Anscheinend haben die Zusammensetzung eines Bieres und die verwendete Technologie entsprechende Auswirkungen auf das Lichtgeschmackspotential eines Bieres [196]. Die Bildung schwefelhaltiger Verbindungen, die in Weißwein und Champagner den dort typischen Lichtgeschmack verursachen, wird durch die Gegenwart von Gerbstoffen verzögert [186]. Auch für Bier gibt es Hinweise darauf, dass Catechin als Quencher für den Triplettzustand des Riboflavins

fungiert und somit die 3-Methyl-2-buten-1-thiol-Bildung verzögert [212]. Ebenso ist die Ascorbinsäure, die Aminosäure Tryptophan [212] sowie Schwefeldioxid und Melanoidine [196] in Verdacht die 3-Methyl-2-buten-1-thiol-Bildung zu hemmen. 3-Methyl-2-buten-1-thiol entsteht aber nicht nur durch photochemische Reaktionen im Bier. KOBAYASHI et al. [213] fanden bereits geringe Gehalte an 3-Methyl-2-buten-1-thiol in frischen unbelichteten Bieren. Dabei waren die Würzezusammensetzung und die Gärtemperatur für die 3-Methyl-2-buten-1-thiol-Bildung verantwortlich. In den von KOBAYASHI et al. verwendeten stickstoffarmen und trüben Würzen wurde die 3-Methyl-2-buten-1-thiol- und Schwefelwasserstoffbildung durch den Schwefelmetabolismus der Hefe anscheinend gefördert.

Ob die einzelnen Homologen der Bittersäuren unterschiedlich sensibel auf Licht reagieren und somit ein unterschiedliches Lichtgeschmackspotential besitzen, ist noch nicht geklärt. Außerhalb des Reinheitsgebotes ist die Verwendung chemisch modifizierter

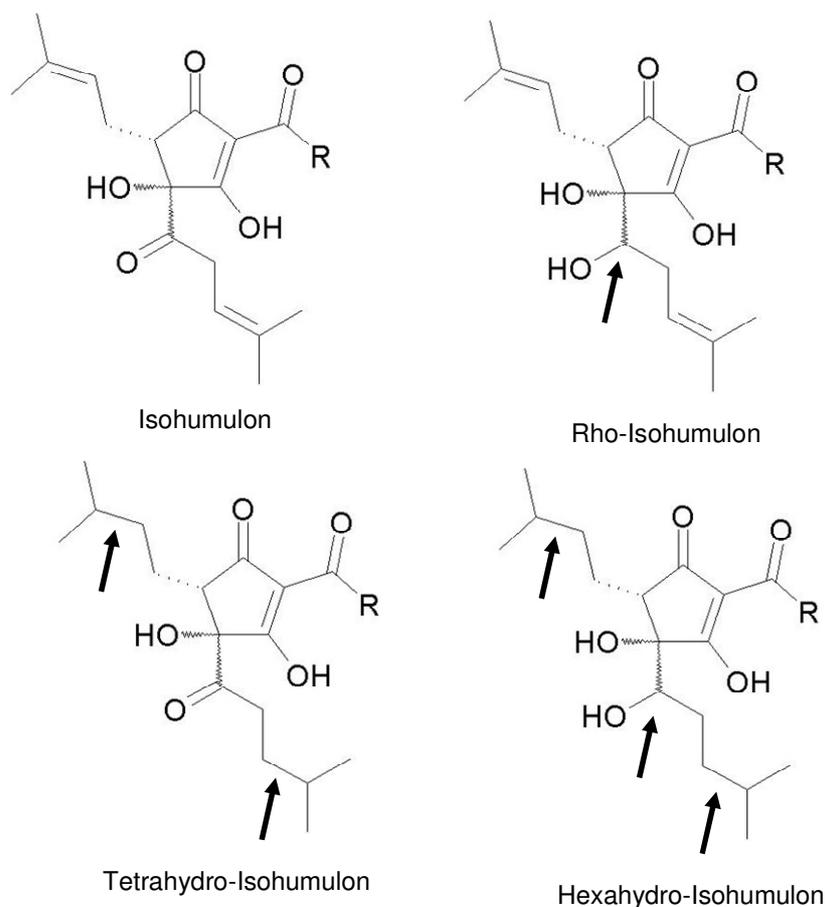


Abbildung 5: Strukturformeln der reduzierten iso- $\alpha$ -Säuren

Isohumulonderivate zulässig. Durch Reduktion von bis zu 3 Doppelbindungen entstehen Rho-, Tetrahydro- bzw. Hexahydro-Isohumulone. Deren Strukturen sind in Abbildung 5 mit Kennzeichnung der reduzierten Doppelbindung dargestellt. Diese Bitterstoffe zeichnen sich durch eine z. T. größere Bittere [214, 215] und eine verbesserte Schaumstabilität [80, 216, 84] aus. Eine Ausnahme bildet hier das rho-Isohumulon. Durch Reduktion der Ketogruppe reduziert sich die Bittere gegenüber der iso- $\alpha$ -Säure [215]. Da alle Bitterstoffe durch Licht abgebaut werden, unterliegen auch die reduzierten Formen einer Photodegradation [217]. Durch die chemische Modifikation entsteht aber nicht wie bei den unbehandelten Isohumulonen das „Stinktieraoma“, sondern es bilden sich andere Aromen, die eher brotartige Eindrücke hervorrufen und somit den Alterungsgeschmack verstärken [217, 199, 218].

Aber auch durch andere Reaktionen bauen Bitterstoffe im Bier ab. Durch die Bildung von Aceton, Alkanonen, Alkanalen und einer Vielzahl von Carbonylen aus den Bitterstoffen sind die iso- $\alpha$ -Säuren somit wesentlich an der Bildung des Alterungsaromas beteiligt [181, 219, 220, 221, 222, 223]. Auch bestimmte Fettsäuren wie 3-Methylbuttersäure (Isovaleriansäure), 2-Methylbuttersäure und Isobuttersäure können durch Abspaltung von den Bitterstoffen entstehen [223]. Laut HASHIMOTO et al. weist ein ungehopftes Bier nicht den typischen Alterungsgeschmack auf, was auf einen entsprechenden Beitrag des Hopfens bzw. der Hopfenbitterstoffe schließen lässt [219]. Während der Bieralterung ist ein sensorischer und analytischer Abbau der Bittere bemerkbar [224, 225], welcher auf den angeführte Reaktionen beruht.

Die Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren werden im Bereich 1-2 mg/l für Wasser [226, 29, 84] und ca. 8 mg/l für Bier [84] angegeben.

Unter den 3 Hauptomologen ist das co-Humulon eine sehr umstrittene Verbindung. Kurz nach seiner Entdeckung 1952 durch RIGBY [164] führte dieser Verkostungen mit den Homologen durch. Dabei fand er keine bedeutenden Unterschiede. Bei Brauversuchen mit den Reinformen ergab das mit co-Humulon hergestellte Bier eine unangenehme und strenge Bittere, die RIGBY dem co-Humulon zuschrieb. Allerdings wies dieses co-Humulonbier ca. 13 mg/l mehr Bitterstoffe auf [227], so dass dieser Vergleich nicht zulässig

war. Darauf aufbauend gab es in der Folge eine Vielzahl von Aussagen, dass die co-Form zu einer schlechten, unangenehmen Bittere führen würde und somit ein hoher co-Anteil im Hopfen mit einer schlechteren Hopfenqualität verbunden ist [228, 147, 229, 230]. Dies schlug sich auch in den Züchtungszielen der Hopfenforschung nieder.

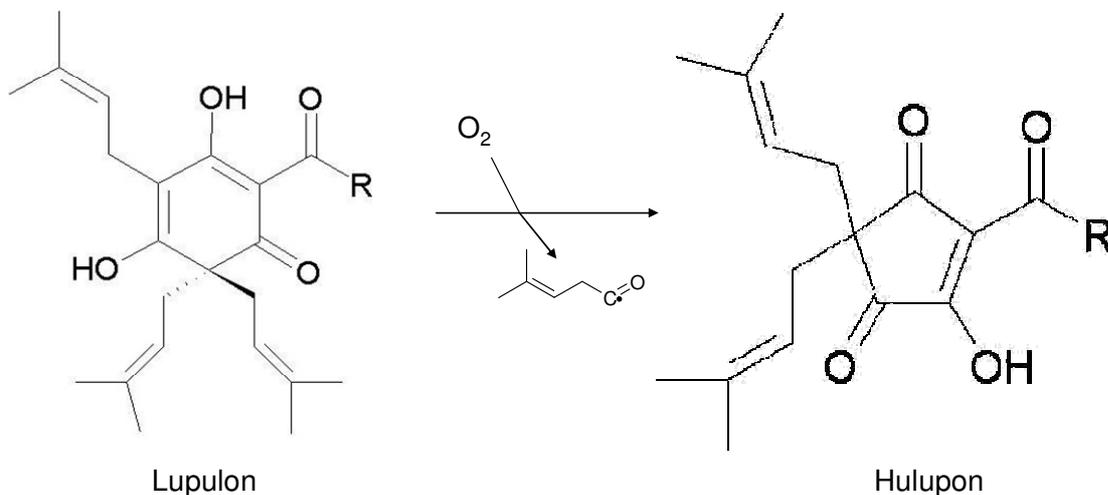
In der Literatur gibt es aber auch eine Vielzahl von Aussagen, die der schlechteren Bittere der co-Form widersprechen. So wurde bei Versuchen von WACKERBAUER und BALZER das mit reinem co-Humulon hergestellte Bier in der Bittergüte gleich dem n-/ad-Bier bewertet und diesem sogar vorgezogen [231, 232]. Zur gleichen Aussage kam SCHELLER in seinen Versuchen [233, 230]. In weiteren jüngeren Arbeiten, bei denen gezielt Hopfen mit höheren co-Anteilen verarbeitet wurden, zeigten sich keine negativen Einflüsse auf die Bitterqualität [234, 235, 236, 237].

Aufgrund der besseren Ausbeute des co-Humulones während der Kochung und die geringeren Verluste während der Gärung und Lagerung [231, 228, 238, 239, 83, 240, 241, 242, 227, 230, 243] wird aus wirtschaftlichen Gründen die Verwendung von co-Humulonreichen Sorten von WACKERBAUER et al. [231, 232] und IRWIN et al. [238] empfohlen. Der co-Anteil ist genetisch festgelegt [242] und eine Korrelation zwischen Myrcen und co-Humulon wurde von RIGBY [242] vermutet, die aber später nicht eindeutig bestätigt werden konnte [244].

#### *2.4.4.2 Lupulone und Hulupone*

Die Lupulone sind wie die Humulone in den Lupulindrüsen konzentriert. Aufgrund ihrer geringen Löslichkeit [245] werden sie allerdings in Bier nicht gefunden [246]. Laut WÖLLMER hat die  $\beta$ -Säure praktisch keinen Brauwert [158]. Andere Autoren schreiben der  $\beta$ -Fraktion ebenfalls keinen Brauwert zu [228, 165]. Daneben werden die  $\beta$ -Säuren teilweise auch als negativer Faktor gesehen, da sie sehr oxidationsanfällig sind und somit Verbindungen mit schlechten sensorischen Eigenschaften entstehen können [228]. Die bekanntesten Oxidationsprodukte sind die Hulupone [182, 247], die oftmals als der eigentliche Bitterbeitrag der  $\beta$ -Säuren bezeichnet werden [143, 248, 249, 250, 251, 136]. Durch Oxidation der  $\beta$ -Säuren während der Hopfenlagerung beziehungsweise der Würzekochung werden Hulupone gebildet [251]. Normalerweise sind Hulupone nur in geringen Mengen im Hopfen enthalten. Nachfolgende Abbildung 6 zeigt den

Entstehungsweg der Hulupone. SPETSIG et al. [252] berichten Gehalte von bis zu 3 % in Hopfendolden. Gehalte kleiner 1 % sind aber als wesentlich realistischer anzusehen [251, 253]. Es wird berichtet, dass 10 % der Lupulone während der Würzekochung zu Huluponen reagieren [253]. Aufgrund ihrer Polarität überstehen Hulupone die Würzebereitung und gelangen bis ins fertige Bier [254]. Die Konzentration von Huluponen im fertigen Bier dürfte im Bereich einiger Milligramm pro Liter (1–5 mg/l) liegen [143, 255, 253, 256]. Der Geschmack der Hulupone wird als bitter und den Isohumulonen ähnlich beschrieben. Die Bittere soll früher auftreten und etwas länger anhalten als bei den Isohumulonen [257, 258]. Daher werden die Hulupone in der Literatur als eine gute Ergänzung zur Isohumulonbittere beschrieben [259, 260, 258]. Bezüglich der Bitterkraft der Hulupone gibt es verschiedene Aussagen. Zum Einem wird den Huluponen eine Bitterkraft zugesagt, die geringer (0,5–0,7fach) ist als die der Isohumulone [260, 255]. Zum Anderen gibt es die Aussage, dass sie eine mindestens gleichstarke bis doppelte Bitterkraft gegenüber den Isohumulonen besitzen [259]. Eine genaue sensorische Beurteilung muss daher noch erfolgen, um den sensorischen Einfluss der Hulupone zu bewerten.



**Abbildung 6: Bildungsweg der Hulupone**

Es ist aber davon auszugehen, dass die Geschmacksschwelle über der durchschnittlichen Konzentration in Bier liegt und somit kein direkter Bitterbeitrag vorliegt. In der Literatur wird den Huluponen ein Beitrag zur Bittere von ca. 5 % zuerkannt [261]. Durch ihre oberflächenaktiven Eigenschaften beeinflussen Hulupone auch den Schaum des Bieres [112, 113]. Unter der Berücksichtigung der realen Gehalte in Bier (Hulupone <5 mg/l;

Isohumulone 15–50 mg/l) ist der Einfluss der H lupone auf den Bierschaum als nicht vordergründig einzuschätzen.

## 2.4.5 Erzeugung eines Hopfenaromas

Die Hopfenaromastoffe sind als Bestandteile des Hopfenöls in den Lupulindrüsen der Hopfendolde lokalisiert und werden ebenfalls zu den sekundären Pflanzeninhaltsstoffen gezählt. Bisher konnten mehrere hundert flüchtige Verbindungen im Hopfenöl identifiziert werden [262]. Sowohl der Gehalt an Hopfenöl als auch der relative Anteil der einzelnen Komponenten variiert in Abhängigkeit der Hopfensorte, dem Anbaugebiet, dem Erntezeitpunkt und der Lagerung [263, 264, 244, 265]. Auch innerhalb eines Anbaugebietes können sich die Ölgehalte einer Sorte stark unterscheiden [128]. Die Aromastoffe des Hopfenöles lassen sich in Kohlenwasserstoffe, sauerstoff- und schwefelhaltige Verbindungen einteilen (s. Abb. 7). Die oxidierten Verbindungen können bis zu 30 % Anteil am Gesamtöl besitzen [266]. Da Bitterhopfen höhere Gesamtölgehalte als Aromahopfen besitzen [264], untersuchte KAMMHUBER diese auf Korrelationen. Er fand

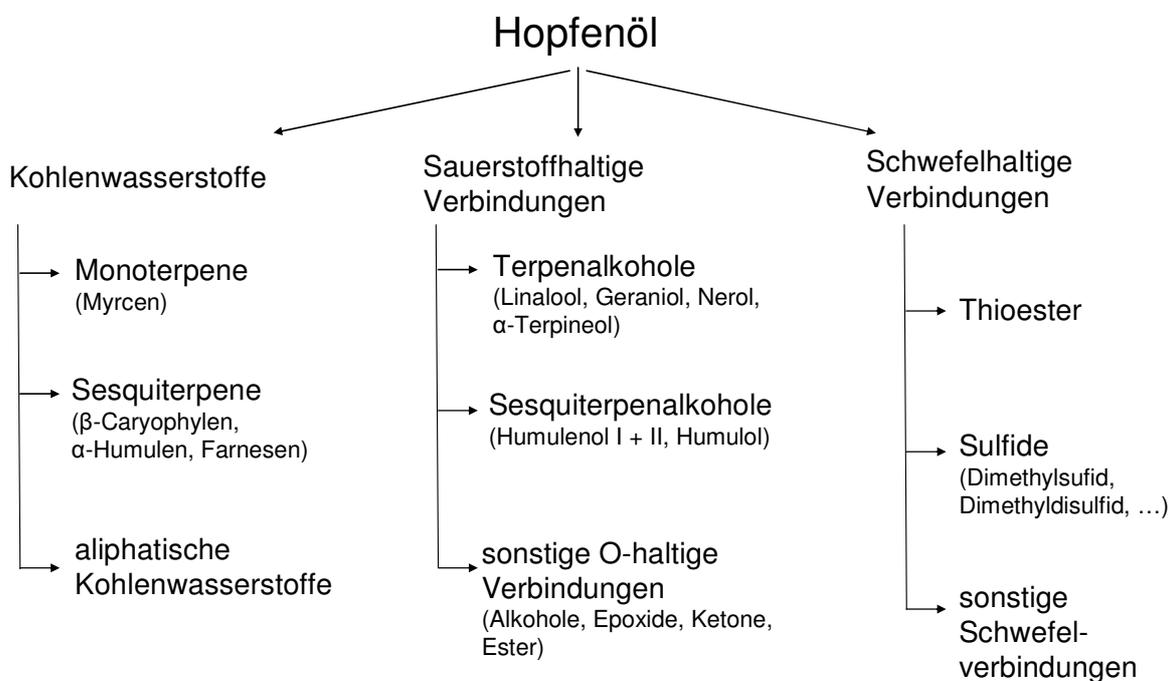


Abbildung 7: Unterteilung der Hopfenöle nach SHARPE und LAWS [266]

heraus, dass nur Terpenöle miteinander korreliert sind und dass es zwischen Bitterstoffen und Ölen keine Korrelationen gibt [244].

Im Folgenden sollen die wichtigsten Hopfenaromastoffe kurz beschrieben werden. In Abbildung 8 sind diese mit ihren Strukturformeln dargestellt.

### Myrcen

Mit bis zu 30 % Anteil am Gesamtöl ist Myrcen der am häufigsten vorkommende Aromastoff in Hopfen. Aufgrund seiner relativ hohen Flüchtigkeit ist es für das Hopfenaroma in Bier allerdings nicht ausschlaggebend. Für Biere die kalt gehopft wurden (sog. „dry hopping“) ist Myrcen allerdings ein wichtiger Aromastoff. In der Literatur werden Schwellenwerte von 30 [267] bis 1000 µg/l [266] angegeben. Das Aroma von Myrcen wird als krautig, metallisch beschrieben [242]. Auf die wahrgenommene Bittere hat Myrcen eine verstärkende Wirkung [268].

### β-Caryophyllen

Obwohl das Aroma von β-Caryophyllen als angenehmes Hopfenaroma von SILBEREISEN et al. [269] beschrieben wurde, hat es keinen bedeutenden Einfluss auf selbiges [270]. Es wurde aber eine Abmilderung der Bittere durch β-Caryophyllen beobachtet, die so stark ist, dass sie die Bitterverstärkung durch Myrcen kompensieren kann [268]. Der Schwellenwert von β-Caryophyllen wird mit 450 µg/l [268] in der Literatur angegeben. β-Caryophyllen ergibt ein holzig-würziges Aroma [271]

### α-Terpineol

Der Aromaeindruck von α-Terpineol wird als flieder- und koniferenartig beschrieben. Als Schwellenwert in Bier wird von MOIR 2000 µg/l [272] angegeben. Aufgrund dieser hohen Schwellenwerte und der relativ geringen Konzentrationen in Bier hat α-Terpineol keinen direkten Beitrag für das Hopfenaroma [272].

### Farnesen

Farnesen kommt nur in Hopfensorten des Saazer Formenkreises (z. B. Spalter, Tettmanger) vor und kann bei diesen einen Anteil von bis zu 17 % am Gesamtöl

ausmachen [266, 268]. In der Literatur konnten keine Angaben für einen Schwellenwert dieser Substanz gefunden werden.

#### Geraniol

Geraniol ist das trans-Isomer von Nerol und ruft ein rosenartiges Aroma hervor. Der in der Literatur gefundene Schwellenwert schwankt zwischen 29 bis 36 µg/l [272, 273]. Während der Gärung wird Geraniol teilweise von der Hefe zu Citronellol hydrogeniert oder in Nerol umgewandelt. Dieser Prozess ist abhängig vom verwendeten Hefestamm [274]. An anderer Stelle wurde gezeigt, dass aus Geraniol und Nerol in saurer Umgebung Linalool und  $\alpha$ -Terpineol gebildet werden kann [275].

#### Nerol

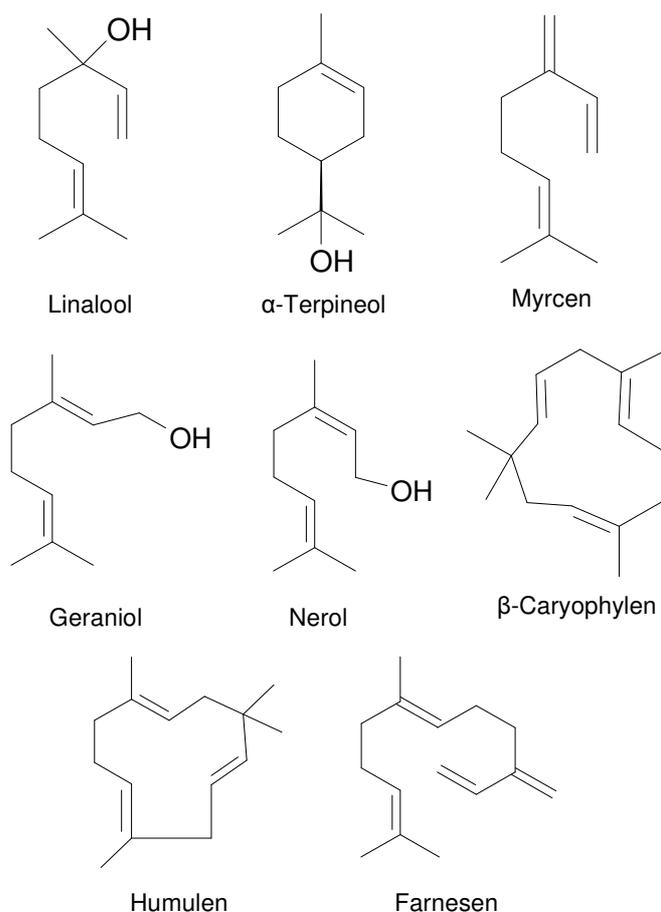
Nerol weist ein blumiges, limetten- bzw. zitrusartiges Aroma [276] auf. Aufgrund des relativ hohen in der Literatur zu findenden Schwellenwertes von 500 µg/l [276] kann kein direkter Beitrag zum Hopfenaroma in Bier erwartet werden. Nerol besitzt eine enge strukturelle Verwandtschaft zum Geraniol.

#### Linalool

Linalool wird als Schlüsselkomponente/Indikatorsubstanz für das Hopfenaroma gesehen. Zum einen gibt es eine gute Korrelation zwischen dem Linaloolgehalt und dem wahrgenommenen blumig-fruchtigen Hopfenaroma [277, 278, 128, 279], zum anderen übersteigt die Linaloolkonzentration in hopfenaromatischen Bieren den Schwellenwert und trägt aktiv zum Aroma bei [128, 280]. Somit ist Linalool der einzige Hopfenaromastoff, der einen direkten Aromaeindruck in Bier bewirkt. Für Linalool werden in der Literatur sehr unterschiedliche Schwellenwerte im Bereich 8 [281] bis 80 µg/l [276] angegeben. KALTNER schreibt, dass ab einer Konzentration von etwa 20 µg/l ein Hopfenaroma wahrgenommen wird [128]. Linalool ist eine chirale Verbindung und liegt überwiegend in der deutlich geruchsaktiveren (R)-Form vor (92–94 %) [128, 282, 283]. Es wurde festgestellt, dass die chirale Verteilung von Linalool in Aromahopfen ausgehend von Rohhopfen bis hin zu sämtlichen konventionellen Hopfenprodukten annähernd stabil bei 94 % (R)-Linalool bleibt [277, 284].

Jede Hopfensorte bringt im fertigen Bier eine andere Aromausprägung hervor und gibt somit ein individuelles Aromabild [285, 286, 287, 273, 288]. Aus diesem Grund kann Linalool nicht als alleinige Substanz des Hopfenaromas definiert werden, sondern eher als eine Indikatorsubstanz für selbiges. Alle anderen erwähnten und nicht erwähnten Bestandteile des Hopfenöls bzw. deren Derivate können über additive sub-Schwellenwerteffekte das Hopfenaroma zusätzlich beeinflussen. Solche Effekte werden seit längerem für komplexe Aromamischungen (wie Bier) vermutet [52] und konnten für verschiedene Aromastoffe bereits bestätigt werden (s. Abschnitt 2.2.2.).

Im Bier kann das Hopfenaroma sehr unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Grasig-grüne Eindrücke sind auf Aldehyde, wie Hexanal und Hexenal zurückzuführen [287]. Citrusnoten werden durch Ester, Nerol und Linalool hervorgerufen [287]. Blumige und



**Abbildung 8: Strukturformeln einiger Hopfenaromastoffe**

fruchtige Eindrücke werden u. a. durch Linalool, Geraniol,  $\beta$ -Ionon, Citronellol sowie einer Vielzahl von weiteren Ketonen, Epoxiden und Estern hervorgerufen [287, 262, 289]. Die Ausprägung dieser Eindrücke ist sortenabhängig. So kann z. B. der Einsatz der amerikanischen Sorte Cascade zu einem Aroma nach schwarzer Johannisbeere führen, welches durch 4-Methyl-4-sulfanyl-2-pentanon hervorgerufen wird und auch im Bier von STEINHAUS et al. [273, 288] als sehr aromaaktiv bezeichnet wird. Krautig-hopfenwürzige Noten (engl. herbal) werden hauptsächlich von oxidierten Sesquiterpenen hervorgerufen. KOWAKA et al. fanden sehr gute Korrelationen zwischen Humulenepoxid II und dem hopfenwürzigen Aroma [142], welches bei Einsatz von Aromahopfen stärker ist als bei Verwendung von Bitterhopfen .

Über die Substanzen, die ein Hopfenaroma in Bier beschreiben, gab es in der Vergangenheit unterschiedliche Ansichten. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Aroma eines Hopfens bei der Handbonitierung sich deutlich von einem Hopfenaroma im Bier unterscheidet [290]. Das vom Hopfen eingebrachte fruchtige und blumige Aroma wurde teilweise als parfümartiges Fremdaroma abgelehnt und negativ beurteilt [291, 268]. Für das Hopfenaroma wurden eine Vielzahl oxidierter Verbindungen verantwortlich gemacht [142, 292, 293, 280, 294, 295]

In den 80er Jahren wurde von KOWAKA und FUKUOKA [142] das Hopfenaroma in Bier in drei Aromausprägungen („dry-hop“, Hopfenöl, „kettle hop“) eingeteilt. Wobei die Ausprägung „kettle hop“ v. a. eine hopfenwürzige Ausprägung ist, wenn Hopfen in der Pfanne gekocht wird. Dieses hopfenwürzige Aroma bezeichneten sie als ein essentielles Hopfenaroma und fanden Humulenepoxid II als Schlüsselkomponente [142]. In weiteren Versuchen bestätigte sich Humulenepoxid II allerdings nicht als die Schlüsselsubstanz für das hopfenwürzige Aroma [296]. In späteren Arbeiten wurde Linalool als wichtige Substanz für das Hopfenaroma in Bier erkannt und zusätzlich als Indikatorsubstanz für dieses definiert [128, 279]. Der Einfluss oxidierter Verbindungen konnte somit nicht bestätigt werden [281]. Die unterschiedlichen Auffassungen über die am Hopfenaroma beteiligten Substanzen könnten, wie schon erwähnt, auf unterschiedlichen Auffassungen zur sensorischen Ausprägung des Hopfenaromas beruhen. Das Vorkommen der Hopfenaromastoffe ist zum Teil nicht nur auf den Hopfen beschränkt. So entsteht das fruchtige Aroma von Riesling und Muskatweinen durch das Zusammenspiel von  $\alpha$ -Terpineol, Geraniol, Citronellol, Nerol

und Linalool mit 2-Phenylethanol, Ethylacetat und Isoamylacetat [297, 298, 61, 299]. Der Linaloolgehalt in diesen Weinen wird mit 120-230 µg/l angegeben [299].

Bereits 1901 wurde von BRAUNGART ein umfassendes Werk über den Hopfen als Brauzutat verfasst und er erläutert darin, wie ein angenehmes Hopfenaroma im Bier zu erreichen sei. So postulierte er damals, dass die im Hopfenöl zu findenden leichtflüchtigen Substanzen, die für das Aroma verantwortlich sind, durch späte Hopfengaben in das Bier gebracht werden könnten [98]. In den folgenden Jahren wurde dies durch verschiedenste Untersuchungen von KOLBACH [291], RIGBY [242], SILBEREISEN et al. [269] und KALTNER [128] bestätigt. Während der Kochung werden Aromastoffe wie Myrcen,  $\beta$ -Caryophyllen und Humulen sehr schnell ausgetrieben und sind im fertigen Bier kaum mehr zu finden [300, 242]. Somit dienen späte Gaben einer Kompensation des Ölverlustes durch die Kochung [263, 128, 291, 269]. Durch diese späten Hopfengaben werden fast keine Bitterstoffe mehr in Lösung gebracht, so dass diese Gabe überwiegend der Aromatisierung dient [128, 126, 265].

In den letzten Jahren sind auf dem Markt verschiedene neue Kochsysteme erschienen, die sich zum Teil beträchtlich von der herkömmlichen Technologie mit Innen- bzw. Außenkocher unterscheiden. So wurden z. B. Systeme eingeführt bei denen im Anschluss an eine Heißhaltephase eine Ausdampfung von unerwünschten Aromastoffen durch Stripping als Dünnschichtverdampfer oder im Vakuum erreicht wird [80]. Durch eine veränderte Verfahrensweise nach einem Sudhausumbau bzw. durch eine verbesserte Ausdampfung durch neuere Technik wird auch das Hopfenaroma beeinflusst. So zeigen z. B. Anlagen mit einer Nachverdampfung erhebliche Verluste an positiven Aromastoffen [265, 301]. Eine Anlagenumrüstung kann somit zu Veränderungen im Bieraroma führen, die auch leicht für den Konsumenten bemerkbar sind.

In jüngeren Arbeiten wurde ein Anstieg der Indikatorsubstanz Linalool während der Gärung beobachtet [302, 128]. Dies könnte auf eine enzymatische Spaltung von sogenannten Glykosiden zurückzuführen sein [302]. Glykoside sind Produkte einer Schutzreaktion der Pflanze und bestehen aus einem Zuckerrest (meist  $\beta$ -D-Glucose) und einem nicht-

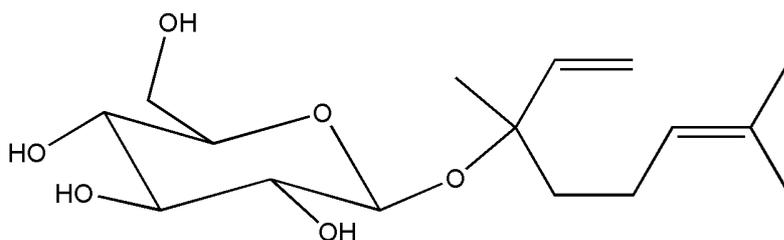


Abbildung 9: Glykosid aus  $\beta$ -D-Glucose und Linalool

Zuckerrest, dem Aglykon (s. Abb. 9). Als Aglykone können verschiedene Aromastoffe auftreten und der Gehalt der verschiedenen Glykoside ist sortenspezifisch [303, 304]. Glykoside sind wasserlöslich [302], geruchlos und können enzymatisch oder durch Einwirkung von Hitze oder Säure in den geruchsaktiven Aromastoff (z. B. Linalool, Geraniol) und den Zuckerrest gespalten und somit aromawirksam werden [303]. Die Glykoside von Nerol und Geraniol sind in schwacher Säure und Hitze stabil [305]. DAENEN et al. konnten zeigen, dass verschiedene Hefestämme unterschiedliche Enzymaktivitäten hinsichtlich der Spaltung von Glykosiden aufwiesen und somit eine unterschiedliche Aromafreisetzung bewirkten [302]. Weiterhin gibt es Untersuchungen, dass während der Gärung Aromastoffe umgewandelt werden. Zum einen wird Geraniol durch die Hefe zu Citronellol und Nerol umgewandelt [274, 273]. Andererseits kann aus Linalool  $\alpha$ -Terpineol gebildet werden. Linalool ist auch ein Produkt des Geraniolabbaus durch die Hefe [275, 274, 305]. STEINHAUS et al. [288] fanden, dass Kohlenwasserstoffe während der Gärung entfernt werden.

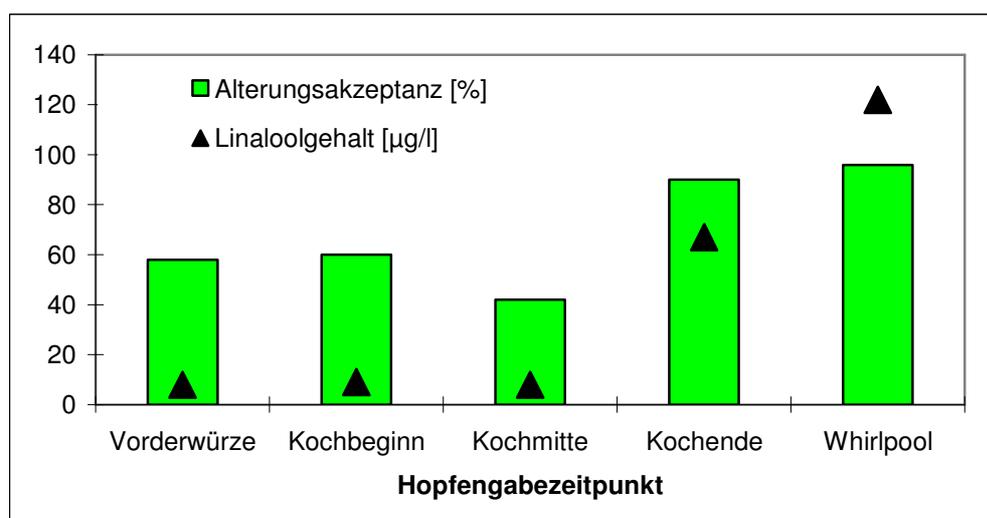


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Alterungsstabilität und Linaloolgehalt der Biere [128]

Ein deutlich wahrnehmbares Hopfenaroma kann die Biereigenschaften positiv beeinflussen. Obwohl SCHUR angibt, dass Biere mit einem Hopfenaroma unter einer schlechteren Geschmacksstabilität leiden [144], konnte dies an anderer Stelle nicht bestätigt werden. KALTNER fand in seiner Arbeit, dass ein Hopfenaroma den Alterungsgeschmack maskieren kann und somit zu einer besseren Alterungsakzeptanz führt [128]. Dieser Zusammenhang zwischen Linaloolgehalt und Alterungsakzeptanz nach EICHORN ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Linaloolgehalt bleibt während der Alterung stabil [293]. Die Art und Weise der Hopfung kann somit die Alterungsstabilität eines Bieres stark beeinflussen.

#### **2.4.6 Einfluss des Hopfenalters auf die Biereigenschaften**

Das Alter bzw. der Oxidationszustand des verwendeten Hopfens spielen eine große Rolle für Geschmack und Aroma des Bieres. Während der Lagerung/Alterung von Hopfen erfolgt in Abhängigkeit von Sorte und Lagerbedingungen ein Abbau von Bitterstoffen, Ölen und Polyphenolen [306, 307, 308, 309, 136, 310]. Ein Hinweis auf den Alterungsgrad des Hopfens liefert der Anteil der Hartharzfraktion [309, 310]. Diese Hartharzfraktion, erstmals 1888 von HAYDUCK [102] entdeckt, entsteht aus den Hopfenölen und den Weichharzen besonders unter Luftzutritt [311] und verringert den Brauwert des Hopfens. Weich- und Hartharze können aufgrund ihres unterschiedlichen Lösungsverhaltens in Petrolether analytisch bestimmt werden [102, 157, 153, 312]. Neben dem Hartharzanteil ist der Hop Storage Index (HSI) eine weitere Möglichkeit den Alterungszustand zu bestimmen. Der HSI ist der Absorptionsquotient einer alkalischen Methanollösung bei 275 und 325 nm. Oxidationsprodukte haben ihr Absorptionsmaximum im Bereich 255-280 nm, während die Humulone und Lupulone bei 325 bzw. 355 nm ihr Maximum und bei 275 nm ihr Absorptionsminimum besitzen [309]. Während der Alterung steigt der HSI und gibt in etwa Auskunft über die  $\alpha$ -Säureverluste [309]. Ein HSI von 0,28-0,31 gilt als frischer Hopfen und Werte  $<0,5$  zeigen einen gut behandelten Hopfen an. Bei Werten  $>0,6$  ist von einer Verwendung als Braumaterial abzuraten [313]. Die Verwendung eines gealterten Hopfens verursacht eine nachhängende und unangenehme Bittere [136], während der Einsatz von frischem Hopfen laut FOSTER et al. [77] eine bessere „Drinkability“ bringt. Laut WHITEAR bringt ein gealterter Hopfen mehr Bittere ein als der aktuelle  $\alpha$ -Gehalt vermuten lässt [310].

Obwohl weniger iso- $\alpha$ -Säuren in die Würze eingebracht werden, werden höhere BE-Werte erreicht [136, 314]. VIRANT et al. [313] machen bei Verwendung eines alten Hopfens die  $\alpha$ -Säure nur für etwa 20 % der Bittere verantwortlich. Dass der Verlust der sensorischen Bittere nicht so stark ist, wird v. a. den Oxidationsprodukten [313] und den Hartharzen zugeschrieben [310]. Während LEBERLE [315], KOLBACH [163], WÖLLMER [316] und HAYDUCK [102] die Hartharze als geschmack- und damit für den Brauvorgang wertlos betrachteten, schreiben WHITEAR [310] und ASHURST [306] den Hartharzen bitternde Eigenschaften zu. Der Einsatz eines Hopfenproduktes, welches die komplette Hartharzfraktion enthielt, zeigte bei den Versuchen von BIENDL et al. [317] eine hohe Bittere, die nicht auf iso- $\alpha$ -Säuren zurückzuführen war. Da während der Hopfenalterung auch Hopfenöle oxidiert und weitere unangenehme Aromen durch Sauerstoff gebildet werden, empfiehlt WHITEAR eine lange Kochung von altem Hopfen, um das unangenehme Aroma wieder auszutreiben [310]. So kann bei der Hopfenalterung durch Luftzutritt ein käsiges Aroma entstehen, welches durch Isovaleriansäure hervorgerufen wird [136].

Eine Möglichkeit den Brauwert eines Hopfen zu konservieren, stellt die Extraktion mit Kohlendioxid dar, da hierdurch die Alterungsprozesse „eingefroren“ werden und der Extrakt lange Zeit stabil bleibt [318].

#### **2.4.7 Einflussfaktoren auf die Ausbeute der Bitterstoffe**

Durch die thermische Behandlung beim Würzekochen werden die optisch aktiven hexacyclischen  $\alpha$ -Säuren in die pentacyclischen iso- $\alpha$ -Säuren umgewandelt. Die Ausbeute dieser für die Würzekochung zentralen Reaktion ist allerdings nicht hoch. Nurmehr 10-40 % der eingesetzten Humulone können als iso-Humulone im fertigen Bier wieder gefunden werden [319]. Während in den ersten zehn Minuten die Isomerisierungsreaktion nur von der Konzentration und der Zeit abhängt [319], ist sie danach eine Reaktion erster Ordnung [319, 320]. Die Aktivierungsenergie ist für alle Homologen ungefähr gleich und wird mit 98,6 kJ/mol angegeben [319, 320]. Während JASKULA et al. [319] eine schnellere Isomerisierung von co-Humulon finden, konnten MALOWICKI et al. [320] keine Unterschiede feststellen und schieben die in der Literatur zu findenden Angaben bezüglich einer

besseren co-Humulonnutzung [239, 242] einer besseren Löslichkeit des co-Humulones zu [320]. Eine Ursache für Bitterstoffverluste ist die Trubbildung während der Würzekochung, welche für fast 40 % der Verluste verantwortlich gemacht wird [321]. Dieser so genannte Heiß- oder Kochtrub wird nach der Kochung meist im Whirlpool abgeschieden, da eine weitgehende Heißtrubabtrennung positiv für die Bierqualität ist [322]. Laut BIERMANN [323] erfolgt bei der Erhitzung eine Auffaltung der Wasserstoffbrückenbindungen bei nativen Proteinen, die in der heißen Würze durch Quervernetzung mit anderen Proteinen oder niedermolekularen Substanzen reagieren. Hierbei ist der Thiol/Disulfid-Austausch sulfhydrylgruppenhaltiger Proteine und die Bildung ionischer Bindungen wichtig. Je mehr Hopfen einer Würze zugegeben wird, desto mehr Trub entsteht [322], da Heißtrub neben denaturierten Proteinen auch unlösliche Hopfenbestandteile enthält [324]. Die Bitterstoffe können über ionische Wechselwirkungen auch direkt an der Trubbildung beteiligt sein [323], wobei die Trubbildung nicht proportional zur Bitterstoffdosage ist [323]. Die These, dass die Stickstoffausfällung durch Hopfengerbstoffe über die Bildung von Eiweiß-Gerbstoff-Komplexen verstärkt wird [322, 325], konnte an anderer Stelle nicht belegt werden, da Eiweiß-Gerbstoffverbindungen in der Hitze nicht stabil sind [323]. Neben dem Gehalt an koagulierbarem Stickstoff und der Hopfendosage ist die Trubbildung auch vom pH-Wert der Würze, der Kochdauer, Kochintensität sowie der Stammwürze abhängig [323, 326, 321, 324, 316]. Bei einer 12%igen Würze entstehen ca. 400-650 mg Trub TrS/l [326, 321], bei Spezialwürzen mit höherer Stammwürze entsteht entsprechend mehr Trub [321, 324].

Darüber wie viele Bitterstoffe durch den Trub verloren gehen, gibt es unterschiedliche Angaben. Die Werte schwanken zwischen 3 und 20 % [323, 327, 324]. Die Verluste der Bitterstoffe können daher nur unzureichend durch Trubverluste beschrieben werden, so dass es auch Abbaureaktionen geben muss. DJURTOFT et al. [328] fanden, dass ca. 35 % der  $\alpha$ -Säuren beim Kochen innerhalb der ersten zwanzig Minuten verloren gehen und vermuteten eine Umwandlung in nicht bittere Abbauprodukte. MEILGAARD et al. [327] beschrieben die Bildung von Humulinsäure aus iso- $\alpha$ -Säuren und verzeichneten während des Kochprozesses fast 90 % der Verluste. MALOWICKI et al. konnten zeigen, dass die Aktivierungsenergie für die Abbaureaktionen nur ca. 10 kJ/mol über der Aktivierungsenergie der Isomerisierung liegt [320], so dass die Isomerisierung schneller

stattfindet als der Abbau aber bei längerem Energieeintrag der Abbau überhand nehmen würde.

Ein weiterer, die Ausbeute beeinflussender Faktor ist der pH-Wert der Würze. Schon WÖLLMER [316] und KOLBACH [161] erkannten, dass die Löslichkeit der Bitterstoffe stark vom pH-Wert abhängt, wie SPETSIG [245] später bestätigte. Die Löslichkeit der Humulone und Lupulone in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert ist in Abbildung 11 dargestellt. Durch niedrige pH-Werte werden weniger Bitterstoffe gelöst [329, 321, 245, 316] und dadurch die Ausbeute beeinflusst.

Wichtig für die Ausbeute ist auch das verwendete Hopfenprodukt sowie die Höhe der Hopfengabe. MITTER et al. [330, 331] zeigten, dass es zwischen Pellets und Extrakt zu Unterschieden in der Ausbeute kommen kann. Während Pellets kurz nach der Dosage eine bessere Isomerisierung zeigten, ergab der Hopfenextrakt bei längerer Kochdauer eine etwas bessere Ausbeute [330, 331]. Außerhalb des Reinheitsgebotes erlaubte

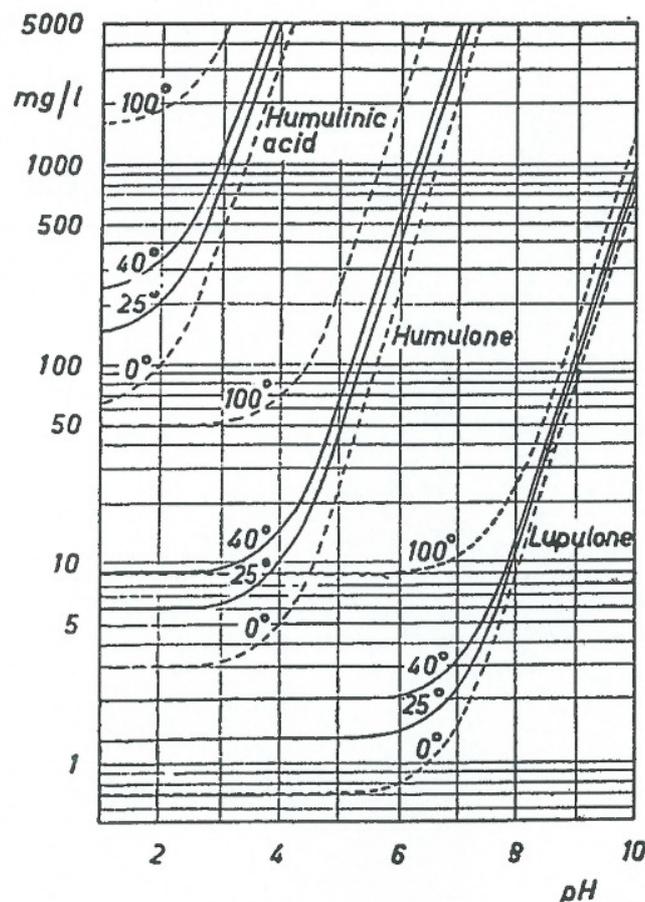


Abbildung 11: Löslichkeit der Bitterstoffe in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur [245]

vorisomerisierte Varianten der Hopfenprodukte erzielen bessere Ausbeuten als konventionelle Hopfenprodukte [332].

Der Zusammenhang zwischen Hopfengabe und resultierender Ausbeute ist nicht linear. Eine Verdopplung der Gabe erbrachte stets eine nicht adäquate Erhöhung der Bitterstoffe und die Ausbeute sank somit [329, 242, 144].

Da die Hopfenausbeute von der Verteilung der Bitterstoffe in der Würze abhängt [333] und auch durch die Kochzeit beeinflusst wird [319, 320, 331], ist der Zeitpunkt der Gabe ebenfalls ein wichtiger Ausbeutefaktor. Für eine größtmögliche Ausbeute sollte die Hopfengabe möglichst früh erfolgen [80, 333], wobei aber eine Maischehopfung auch bei Dekoktionsmaischverfahren keinen positiven Effekt bringt [334, 144].

Der Würzezusammensetzung kommt, wie bereits am Beispiel des pH-Wertes gezeigt, eine große Bedeutung zu. Würzen mit hohen Eiweiß- oder Stammwürzegehalten zeigen schlechtere Ausbeuten [143, 321, 144, 316] ebenso können verschiedene Ionen (z. B.  $Ca^{2+}$ ) die Isomerisierungsrate beeinflussen [335, 321]. Laut SCHUR [144] haben Rohfruchtwürzen verbesserte Ausbeuten.

Ein Großteil der Verluste findet bei der Würzekochung statt, eine Auswahl der Einflussfaktoren auf die Ausbeute ist in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Hopfenausbeute nach Schur [144]**

Maischehopfung	-	längere Kochdauer	+
niedriger pH-Wert	-	schnelle Dispergierung des Hopfenproduktes	+
erhöhter Trübunggrad der Läuterwürze	-	Kochen der Würze vor der Hopfung	+
hoher Extraktgehalt	-	zunehmende Kochintensität	+
hohe Hopfengabe	-	Anwesenheit von Partikeln mit hoher Oberfläche	+
steigende Gärtemperatur	-	Druckgärung	+
steigende Hefegabe	-	Kieselguranschwemmung	o
starke Würzebelüftung	-	Zentrifugation	o
Bentonitbehandlung	-		
neue Filterschichten	-		
- = negativ; + = positiv; o = neutral			

Nur ca. 2/3 der Bittereinheiten der Würze sind später im fertigen Bier zu finden [330]. Die Verluste an iso- $\alpha$ -Säuren während der Gärung sind relativ gering [336]. Zum einen sorgt die Kräusenbildung für eine Anreicherung der Bitterstoffe in der Schaumdecke, was zu einer starken Abreicherung von Humulonen und in geringen Mengen Isohumulonen führt [336, 227]. Zum anderen ist die pH-bedingte Löslichkeit ein Grund für die Bitterstoffverluste bei der Gärung (s. Abb. 11). Die Gärverluste werden auch durch die Art der Gärführung

beeinflusst. Eine zu warme Gärführung führt zu stärkeren Bitterstoffverlusten, da die Kräusenbildung laut WEINFURTNER stärker ist und die Eiweißkolloide stärker und schneller bei niedrigen pH-Werten ausfallen können und Bitterstoffe durch Adsorption mitreißen können [337]. Die Vielzahl der die Ausbeute beeinflussenden Faktoren zeigt an, dass die Hopfenausbeute eine Brauereieigenschaft ist, die von Betrieb zu Betrieb schwankt [239].

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung

#### 3.1.1 Verwendete Chemikalien

Die Schwellenwerte von Bitterstoffen wurden in destilliertem Wasser bestimmt, um Einflüsse durch Ionen auszuschließen. Folgende Chemikalien kamen hierbei zum Einsatz:

Isohop (30%), Fa. Barth & Sohn

Ethanol p. A.

L-(+)-Lactat, Fa. Sigma-Aldrich, Steinheim

Zitronensäure Monohydrat, Fa. Sigma-Aldrich, Steinheim

L-(-)-Äpfelsäure, Fa. Sigma-Aldrich, Steinheim

Natronlauge, 50 %, Fa. Mallinckrodt Baker, Griesheim

Maltodextrin M150 und M180, Grain Processing Corporation, Muscatine, USA

Das Maltodextrin wurde als äquivalente Mischung beider Produkte verwendet, da diese ungefähr dem Dextrinprofil in einem Bier entspricht [338, 339, 340]. In Tabelle 2 sind die Herstellerangaben für beide Maltodextrinprodukte prozentual dargestellt.

**Tabelle 2: Zusammensetzung des Maltodextrins**

prozentuale Zusammensetzung (TrS.)	M 150	M 180
Monosaccharide	1,3	1,6
Disaccharide	4,8	5,8
Trisaccharide	6,7	7,8
Tetrasaccharide	5,5	6,1
Pentasaccharide und höher	81,7	78,7

Zur pH-Einstellung wurde ebenso eine Mischung der drei organischen Säuren verwendet. Das relative Verhältnis betrug Lactat:Citrat:Malat 2:2:1, da dies ein realistisches Verhältnis der organischen Säuren in Bier [341] widerspiegelt.

### 3.1.2 Herstellung der wässrigen Lösungen

Für die einzelnen Verkostungen musste jeweils eine unterschiedliche Grundmatrix in ausreichender Menge hergestellt werden. Dazu wurden die jeweils benötigten Komponenten in den entsprechenden Mengen in Wasser gelöst. Dieser Matrix wurden dann Isohumulone in Form der 30%igen Iso-Hop-Lösung zugesetzt, so dass sechs verschiedene Konzentrationsstufen erreicht wurden. Die angestrebten Konzentrationen in den Verkostungslösungen waren 0,5-16 mg/l. Die wirklichen Konzentrationen der Isohumulone wurden mittels HPLC-Methode EBC 7.8 bestimmt. Neben den monomeren Gemischen wurden auch die Geschmacksschwellenwerte in binären Gemischen getestet. Folgende Versuchsreihen wurden durchgeführt:

**Tabelle 3: Versuchsanordnung Schwellenwertbestimmung von Isohumulonen in wässrigen Lösungen**

monomere Gemische			binäre Gemische		
Dextrine [%mas]	Ethanol [%vol]	pH-Wert	Dextrine [%mas]	Ethanol [%vol]	pH-Wert
0,5	-	-	0,5	0,5	-
5,0	-	-	5,0	5,0	-
-	0,5	-	0,5	5,0	-
-	2,0	-	5,0	0,5	-
-	-	5,0 (Zitronensäure)	-	0,5	3,6
-	-	5,0 (Äpfelsäure)	-	5,0	3,6
-	-	5,0 (Milchsäure)	-	5,0	5,0
-	-	5,0 (Mischung)	-	0,5	5,0
-	-	3,6 (Zitronensäure)	0,5	-	3,6
-	-	3,6 (Äpfelsäure)	5,0	-	3,6
-	-	3,6 (Milchsäure)	0,5	-	5,0
-	-	3,6 (Mischung)	5,0	-	5,0
			0,5	0,5	-
			5,0	5,0	-
			0,5	5,0	-
			5,0	0,5	-
			-	0,5	3,6
			-	5,0	3,6
			-	5,0	5,0
			-	0,5	5,0
			0,5	-	3,6
			5,0	-	3,6
			0,5	-	5,0
			5,0	-	5,0

### 3.1.3 Herstellung des ungehopften Bieres

Zur Herstellung des ungehopften Bieres wurde helles Pilsner Handelsmalz im Schüttungsverhältnis 1:4 verwendet. Das Maischverfahren war ein Hochkurzmaisverfahren mit dem in Tabelle 4 dargestellten Temperaturprofil.

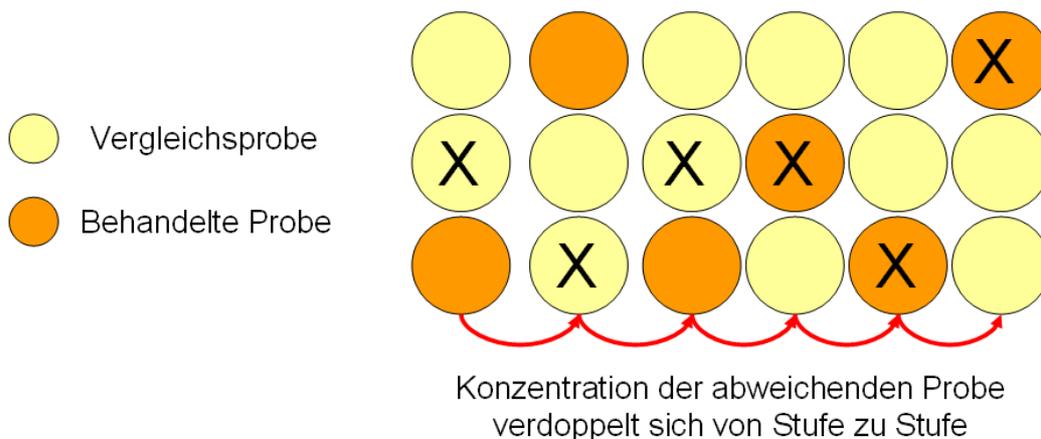
**Tabelle 4: Maischverfahren**

Einmaischen	62 °C
1. Rast	20 min
Aufheizen auf	65 °C
2. Rast	20 min
Aufheizen auf	72 °C
3. Rast	30 min
Aufheizen auf	78 °C
4. Rast	1 min
Abmaischen	

Nach 15minütiger Läuterruhe erfolgte die Abläuterung in einem Läuterbottich und es wurden insgesamt 30 Liter Nachguss gegeben, so dass sich eine Pfanne-Vollwürzekonzentration von 10,4 GG% ergab. Nach einer 60minütigen Kochung ohne Hopfen wurden 65 Liter mit 11,2 GG% ausgeschlagen und innerhalb von 20 Minuten im Whirlpool weitgehend vom Heißtrub befreit. Die gekühlte Würze wurde mit 12 Mio. Zellen/ml untergäriger Reinzuchtheefe angestellt und bei 12 °C vergoren. Die Nachgärung/Reifung erfolgte über 2 Tage bei 18 °C. Vor der Filtration lagerte das Jungbier 2 Wochen bei 0 °C. Dieses Bier diente als Ausgangsbasis für die Schwellenwertsbestimmungen. Bevor das Bier in Flaschen abgefüllt werden konnte, wurden bei Teilmengen die entsprechenden Komponenten zur Matrixveränderung zugemischt. Dabei wurde der Alkoholgehalt von ursprünglich 4,8 %vol auf 5,5 sowie 7 %vol angehoben. Durch die Dosage von Dextrinen wurde der Restextraktgehalt von 3,9 GG% auf 5,4 und 8,9 GG% erhöht. Der pH-Wert wurde durch Zugabe von NaOH auf 5,5 angehoben und durch Zugabe der Mischung organischer Säuren auf 3,5 abgesenkt. Die Dosage der Bitterstoffstammlösungen zur Einstellung der Isohumulonkonzentration erfolgte in die abgefüllte Flasche wenige Stunden vor der Verkostung.

### 3.1.4 Durchführung der Verkostungen

Zur Ermittlung der Schwellenwerte wurde die EBC-Methode 13.9 [342] verwendet. Bei dieser Methode werden, wie in Abb. 12 gezeigt, sechs Dreieckstests präsentiert, wobei die Konzentration der abweichenden Probe sich von Reihe zu Reihe verdoppelt. Die abweichende Probe ist vom Verkoster zu kennzeichnen (in Abb. 12 mit „X“ dargestellt). Auf die Methode DIN 10959 [343] zur Bestimmung von Schwellenwerten wurde in diesem Fall nicht zurückgegriffen, da bei der DIN-Methode sofort nach der Nullprobe behandelte Proben kommen. Bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Verkostungen hätten alle Verkoster mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit sofort „angeschlagen“. Im Unterschied dazu schließt die EBC-Methode solche psychologischen Faktoren aus, da der behandelten Probe immer zwei unbehandelte Proben gegenüberstehen und die Position der behandelten Probe zufällig über alle Position verteilt ist.



**Abbildung 12:** Schwellenwertbestimmung nach EBC-Methode 13.9

Alle Proben wurden in neutralen, braunen Gläsern bei Raumtemperatur präsentiert und die einzelnen Positionen durch dreistellige Zufallszahlen codiert. Die Vorbereitung der Verkostung erfolgte durch eine Person, die nicht an der Prüfung teilnahm. Die Teilnehmer waren alle zwischen 20 und 45 Jahren und das Panel setzte sich aus überwiegend geschulten Personen zusammen. An den Verkostungen nahmen mindestens 9 Personen teil.

### 3.1.5 Auswertung der Schwellenwertbestimmungen

Die Auswertung erfolgte gemäß der EBC-Vorschrift 13.9. Dabei wird für einen Verkoster der Individual Best Estimate Value (Einzelschwellenwert) aus dem geometrischen Mittel der Konzentrationen der höchsten nicht erkannten und der niedrigsten (in einer Reihe) erkannten Probe ermittelt. Um den Guppenschwellenwert (Gruppen BET) zu erhalten, wird das arithmetische Mittel (mean) der logarithmierten Einzelschwellenwerte bestimmt. Der Gruppen BET ist dann  $10^{\text{mean}}$ . Abbildung 13 zeigt eine beispielhafte Auswertung zur Ermittlung eines Schwellenwertes (die Auswertung der Geschmacksschwelle für Aroma- und Geschmacksstoffe ist identisch).

Schwellenwertbestimmung von: 3-methylbutanal

Konzentration	[ $\mu\text{g/l}$ ]	10,8	21,5	43,0	86,1	172,2	344,3	Individual Best Estimate	Schwellenwert log10
1	Verkoster 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	243,5	2,39
2	Verkoster 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	60,9	1,78
3	Verkoster 3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	60,9	1,78
4	Verkoster 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	60,9	1,78
5	Verkoster 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30,4	1,48
6	Verkoster 6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	60,9	1,78
7	Verkoster 7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7,6	0,88				
8	Verkoster 8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30,4	1,48
9	Verkoster 9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	243,5	2,39
Sum									15,76
mean									1,751
<b>Gruppen BET</b>								<b>56,4 [<math>\mu\text{g/l}</math>]</b>	

Abbildung 13: Auswertungsbeispiel zur Ermittlung eines Schwellenwertes,

Die Bitterstoffkonzentration wurde durch HPLC (EBC 7.8) [342] bestimmt. Extrakt- und Alkoholgehalte wurden mit einem Anton Paar Alcozyler ermittelt.

## **3.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen**

### **3.2.1 Verwendete Chemikalien**

Die nachfolgend aufgeführten Aromastoffe wurden, soweit nicht anders angegeben, über Sigma-Aldrich, Steinheim in höchster Reinheit bezogen.

Hopfenaromastoffe: Linalool, Geraniol, Humulen,  $\alpha$ -Terpineol,  $\beta$ -Caryophyllen, Farnesen (Chemos GmbH, Regensburg), Nerol, Myrcen

Gärungsnebenprodukte: Ethylacetat, Isoamylacetat, 2-Phenylethanol

Fehlaromen: Diacetyl, Dimethylsulfid, Isovaleriansäure

Apfelfruchttester: Butylacetat, Hexylacetat, Ethylbutyrat, Ethyl-2-Methylbutyrat

Bananenfruchttester: Butylbutyrat, Isoamylisobutytrat, Isoamylacetat, Butylacetat

Orangenfruchttester: Ethylhexanoat, Ethyl-3-Hydroxyhexanoat, Ethylbutyrat, Ethyl-2-Methylbutyrat.

Das Basisbier für die Schwellenwertsbestimmungen war handelsübliches, helles Vollbier ohne ausgeprägtes Hopfen- bzw. Alterungsaroma.

### **3.2.2 Durchführung der Verkostungen**

Die Durchführung der Verkostungen erfolgte analog der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Vorgehensweise. Die Aromastoffe wurden in handelsübliches, helles Vollbier gegeben. Dazu wurden entsprechende alkoholische Stammlösungen hergestellt, die in 1 ml die benötigte Aromastoffmenge enthielten. Dieser Milliliter wurde wenige Stunden vor der Verkostung in die Flasche dosiert.

Abweichend von den Verkostungen mit Bier- bzw. Hopfenaromen wurden die Fruchttester in Leitungswasser (Wasserhärte > 20 °dH) verkostet. Die Stammlösungen der Ester wurden mit Leitungswasser hergestellt. Bei Fällen, in denen die Ester schwer löslich waren, wurden 2 % Ethanol p. A. hinzugegeben.

Um den Einfluss von Aromastoffmischungen zu untersuchen, wurden zwei oder mehr Aromastoffe in einer Stammlösung gelöst und diese in die Verkostungsmatrix eingebracht.

### 3.2.3 Auswertung

Die Auswertung der Aromastoffverkostungen/ Bestimmung der Schwellenwerte von Aromastoffen ist analog zu der in Abschnitt 3.1.3 beschriebenen Vorgehensweise.

## 3.3 Einflüsse auf die Ausbeute von Bitterstoffen

### 3.3.1 Verwendete Rohstoffe

Als Grundlage für diese Versuche diente helles Pilsner Handelsmalz mit den in Tabelle 5 angegebenen Malzdaten.

**Tabelle 5: Malzdaten für Hopfenausbeuteversuche**

Analyse	Wert
Extrakt, wfr. [%]	82,1
Mürbigkeit [%]	91,8
Ganzglasigkeit [%]	0,4
pH-Wert	5,84
Rohprotein, wfr. [%]	10,6
Eiweißlösungsgrad	42,6

**Tabelle 6: Analysendaten der Hopfenprodukte**

Analyse	CO <sub>2</sub> -Extrakt	Pellets P90
KW EBC 7.5 [%]	-	16,6
KW EBC 7.6 [%]	61,0	-
$\alpha$ -Säuren EBC 7.7 [%]	55,1	16,01
$\beta$ -Säuren EBC 7.7 [%]	17,6	5,24

Als Hopfenprodukte wurden Pellets Typ 90 und CO<sub>2</sub>-Extrakt der Sorte Hallertauer Taurus der Ernte 2005 verwendet. Die Analysendaten der verwendeten Hopfenprodukte sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Zur pH-Einstellung wurde technische Milchsäure (~90 % Fa. Merck, Darmstadt) verwendet.

### 3.3.2 Sudherstellung

#### 3.3.2.1 Herstellung der Pfanne-Voll-Würzen

Die Versuche zur Ausbeute der Hopfenbitterstoffe wurden im 10-L-Masstab im Kleinsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I durchgeführt. Als Ausgangswürze diente Pfanne-Voll-Würze (PfV-Würze), die im 60-L-Sudwerk des Lehrstuhls hergestellt und bis zur Verwendung bei 0 °C aufbewahrt wurde. Zur Herstellung der PfV-Würze wurde 10 kg Malz mit 40 L Brauwasser nach den in Tabelle 7 aufgeführten Maischverfahren gemischt. Daran schloss sich die Abläuterung im Läuterbottich an. Es wurden 2 Nachgüsse mit je 15 L gegeben. Die PfV-Würze wurde auf 75 °C erwärmt und in sterile Behälter abgefüllt. Die mit Würze gefüllten Behälter wurden sofort mit kaltem Wasser gekühlt.

**Tabelle 7: Maischverfahren zur Herstellung der PfV-Würzen**

	Pilotsude 1-5	Pilotsude 6+7
Einmaischen	62 °C	62 °C
1. Rast	30	20 min
Aufheizen auf	72 °C	65 °C
2. Rast	30	20 min
Aufheizen auf	78 °C	72 °C
3. Rast	5	30 min
Aufheizen auf	-	78 °C
4. Rast		1 min
Abmaischen	78 °C	78 °C

### 3.3.2.2 Kochversuche

In einen tarierten 20-L-Rundkolben wurden 10 kg homogenisierte PfV-Würze (0 °C) eingewogen und innerhalb von 40 min auf Kochtemperatur aufgeheizt. Der Zeitpunkt „Kochbeginn“ wurde als der Zeitpunkt des ersten Aufwallens der Würze definiert. Der Hopfen wurde entweder direkt (Pellets) oder indirekt mithilfe eines Spatels (Extrakt) dosiert. An die variable Kochzeit schloss sich stets eine 20minütige Heißtrubsedimentation an. Während des Abziehens der blanken Würze wurden die Würzeproben für die Analysen heiß genommen und sofort abgekühlt.

Der im Kolben verbliebene Heißtrub und ein unvermeidlicher Rest Würze wurde gewogen und quantitativ in Zentrifugenbecher überführt und zentrifugiert.

Folgende Trubgewichte wurden bestimmt

- Gewicht (nass) = Heißtrub + unvermeidbarer Rest an Würze
- Gewicht (feucht) = abzentrifugierter Heißtrub nach Abgießen der überstehenden Würze
- Gewicht TrS = getrockneter Heißtrub nach 3 h bei 105 °C

Um das Ausbeuteverhalten der Bitterstoffe zu bestimmen wurden die in Tabelle 8 dargestellten Versuchsparameter gewählt. Es wurden Hopfenkochdauer, Höhe der Hopfengabe und der Einfluss des pH-Wertes getestet. Weiterhin wurden vergleichend Versuche ohne Hopfengabe durchgeführt, um den Einfluss des Hopfens auf die Trubbildung zu beobachten.

In Tabelle 8 sind die Hopfengaben für diese Versuche dargestellt.

**Tabelle 8: Hopfengabe**

<b>Gesamthopfengabe</b>	<b>„15 BE“</b>	<b>„30 BE“</b>
$\alpha$ -Säure-Gabe		
nach KW	0,450 g	0,900 g
nach HPLC bei Extrakt	0,409 g	0,818 g
nach HPLC bei Pellets	--	0,868 g
Hopfengabe nach KW:		
- CO <sub>2</sub> -Extrakt	0,743 g	1,485 g
- Pellets	--	5,422 g

**Tabelle 9: Übersicht der Kochungen zur Ausbeute von Bitterstoffen**

<b>Parameter</b>		<b>Konst. Parameter</b>
Steigerung der Hopfengabe	0 BE	Extrakt
	15 BE	60 min kochen
	30 BE	pH-Wert
Hopfenprodukt	30 BE Pellets	60 min kochen
	30 BE Extrakt	normaler pH
Kochzeit mit Hopfengabe	5 min	30 BE
	10 min	Extrakt
	30 min	pH-Wert
	60 min	
Kochzeit ohne Hopfengabe	5 min	0 BE
	10 min	pH-Wert
	30 min	
	60 min	
Würzesäuerung	4,8 pH Ende	30 BE (Extrakt)
	4,8 pH Beginn	60 min kochen

### 3.3.3 Trubanalyse

Die Bitterstoffe wurden aus dem Heißtrub mit Methanol p. A. nach unten beschriebener Methode extrahiert.

- ca. 1 g des abzentrifugierten feuchten Trubes (15 min bei  $3000 \text{ min}^{-1}$ ) in ein Zentrifugenröhrchen einwiegen
- mit ca. 20 ml Methanol versetzen und schütteln
- diese Lösung über einen Schwarzbandrundfilter in ein 50 ml Messkolben quantitativ überführen
- Filter mit Methanol spülen, Trichter mit Methanol spülen
- 50 ml Messkolben mit Methanol zur Marke auffüllen
- diese Stammlösung 1:10 verdünnen und nach EBC 7.8 analysieren

Grundlage für die Berechnung der Ausbeuten sind die HPLC-Ergebnisse der Hopfenprodukte, Würzen und des Trubes. Die Ausbeute ist somit der Quotient aus wiedergefundenen Bitterstoffen und dosierten Bitterstoffen.

Der Wassergehalt des Trubes wurde nach der Trockenschrankmethode bestimmt [344].

Der Gesamtstickstoffgehalt des Trubes wurde mittels Kjeltach<sup>TM</sup> 2400 der Firma Foss (Dänemark) ermittelt. Dazu wurden 0,3 g zerkleinerter, getrockneter Heißtrub eingewogen und entsprechend analysiert.

### 3.3.4 Analysen

Alle weiteren für diese Versuchsreihe benötigten Analysen sind Standardanalysen und sind im Abschnitt 3.10 aufgelistet.

### 3.4 Einfluss des Hopfenalters auf die Bierqualität

#### 3.4.1 Verwendete Rohstoffe

Für diese Versuche wurde handelsübliches helles Pilsner Malz verwendet. Als Hopfen diente Hopfen der Sorte Hallertau Taurus. Dieser wurde in einem geschlossenen Beutel bei 40 °C für 1 und 3 Monate aufbewahrt und somit gealtert. Im Anschluss an die Alterung wurde der aktuelle  $\alpha$ -Säuregehalt mit HPLC (EBC 7.7) bestimmt. Die Bitterstoffgehalte und der HSI-Wert der verwendeten Hopfen sind in Tabelle 10 dargestellt.

**Tabelle 10: Hopfenanalysen der gealterten Hopfenproben**

	$\alpha$ -Säuren [%]	$\beta$ -Säuren [%]	iso- $\alpha$ -Säuren [%]	HSI
HTU frisch	16,5	5,5	0,1	0,32
HTU 1 Monat 40 °C	14,4	4,8	0,9	0,40
HTU 3 Monate 40 °C	10,4	5,0	3,0	0,56

#### 3.4.2 Bierherstellung

Die Bierbereitung erfolgte mit einigen Ausnahmen analog zu der in Abschnitt 3.5.2 beschriebenen Verfahrensweise. Die komplette Hopfendosage erfolgte jedoch immer bei Kochbeginn. Die Höhe der Hopfengabe variierte jedoch. So wurde zum einen die Hopfengabe aufgrund der aktuellen Bitterstoffgehalte berechnet und zum anderen der Bitterstoffgehalt des Hopfens vor der Alterung. Somit ergaben sich unterschiedliche Mengen an dosierten Bitterstoffen bzw. dosiertem Hopfenprodukt. Die genauen Hopfengaben sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Würzen wurden nur bei 12 °C nach dem oben beschriebenen Verfahren vergoren und weiter behandelt.

Tabelle 11: Hopfengabe bei den Versuchen zum Einfluss des Hopfenalters

	Hopfengabe [mg $\alpha$ /L]	Hopfengabe [g Hopfen/L]	Hopfengabe [mg iso- $\alpha$ -Säuren/l]
HTU frisch	100,2	0,607	0,61
HTU 1 Monat 40 °C original $\alpha$ -Gehalt	86,7	0,607	5,52
HTU 3 Monate 40 °C original $\alpha$ -Gehalt	63,1	0,607	15,6
HTU 1 Monat 40 °C aktueller $\alpha$ -Gehalt	100,1	0,700	6,37
HTU 3 Monate 40 °C aktueller $\alpha$ -Gehalt	99,9	0,960	24,67

### 3.4.3 Analysen

Die von dieser Versuchsreihe angefertigten Analysen sind in Abschnitt 3.10 dargestellt.

## 3.5 Einflussfaktoren auf den Transfer von Hopfenaromastoffen

### 3.5.1 Verwendete Rohstoffe

Als Malz wurde Pilsner Handelsmalz mit den in Tabelle 12 aufgeführten Analysenwerten verwendet.

Die für diese Versuche verwendeten Hopfen stammten allesamt aus der Ernte 2006 und waren alle bis auf die Sorte Spalt Spalter Pellets Typ 90. Die Sorte SSP wurde als 45er Pellet eingesetzt. Die Hopfen wiesen die in Tabelle 13 aufgeführten Gehalte an Bitter- und Aromastoffen auf.

**Tabelle 12: Malzanalyse**

<b>Analyse</b>	<b>Wert</b>
Wassergehalt [%]	5,0
Extrakt lftr [%]	77,8
Extrakt wfr [%]	81,9
Viskosität auf 8,6 % ber. [mPa*s]	1,451
Viskosität auf 8,6 % 65 °C ber. [mPa*s]	1,478
Mürbigkeit [%]	92,8
Ganzglasige [%]	0,4
Farbe [EBC]	3,9
Kochfarbe [EBC]	5,3
pH-Wert	5,7
Rohprotein Malz [%]	12,1
Lösl. N MalzTrS [mg/100g MTrS]	775
ELG [%]	40
β-Glucan [mg/l]	125
β-Glucan VZ 65 °C [mg/l]	203
Verkleisterungstemperatur [ °C]	64,2

**Tabelle 13: Bitterstoff- und Aromastoffgehalte der verwendeten Hopfensorten**

	<b>Hallertau Opal</b>	<b>Spalt Spalter</b>	<b>Hallertau Taurus</b>	<b>Hallertau Saphir</b>
	<b>HOL</b>	<b>SSP</b>	<b>HTU</b>	<b>HSR</b>
<b>Geraniol [µg/g]</b>	11,0	13	11	4,1
<b>α-Terpineol [µg/g]</b>	5,4	5,3	12	3,8
<b>β-Caryophyllen [µg/g]</b>	15	38	60	14
<b>Nerol [µg/g]</b>	1,5	2,0	2,7	0,7
<b>Humulen [µg/g]</b>	35	93	134	32
<b>Linalool [µg/g]</b>	77	50	103	29
<b>α-Säure [%]</b>	4,9	4,1	13,1	2,3
<b>β-Säure [%]</b>	5,0	8,0	6,0	5,6

### 3.5.2 Bierherstellung

Die Versuchsdurchführung fand im Pilotsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I statt. 10 kg des oben beschriebenen Malzes wurden mit 40 L Wasser nach dem in Tabelle 14 beschriebenen Maischverfahren gemischt. Die Abtrennung der Treber erfolgte im Läuterbottich nach einer 15minütigen Läuerruhe. Nach Ablauf der Vorderwürze wurden insgesamt 31 L Nachguss gegeben, so dass sich eine Pfanne-Voll-Menge von 66 Litern mit 10,8 GG% ergab. Im Anschluss an die 60minütige Kochung ohne Hopfengabe erfolgte während des Ausschlagens die Hopfengabe in den Whirlpool. Der Whirlpool wurde auf 85 °C temperiert, da in einer früheren Arbeit gezeigt werden konnte, dass durch dieses Vorgehen die Spaltung von DMS-P in DMS reduziert und der Transfer der Aromastoffe verbessert werden kann [128]. Die tatsächliche Whirlpooltemperatur betrug 88-90 °C. Im Whirlpool verblieb die Würze 20 Minuten zur Heißtrubabtrennung. Die Probenahme erfolgte bei ca. halber Kühlzeit heiß und die Proben wurden direkt nach Probenahme gekühlt. Zur Gärung wurde die Würze auf zwei Chargen aufgeteilt. Ein Teil wurde bei 12 °C vergoren, der andere bei 8 °C. Die Hefegabe betrug ca. 12 Mio. Zellen untergärige Reinzuchthefer/ml Würze, beim Anstellen der Würze wurde diese mittels Venturidüse belüftet. Nach der Hauptgärung erfolgte eine zweitägige Reifung bei 16 °C und eine zweiwöchige Lagerung bei 0 °C, bevor das fertige Bier über Schichten (Typ K150, Fa. Pall) filtriert und abgefüllt wurde.

**Tabelle 14: Maischverfahren**

Einmaischen	62 °C
1. Rast	20 min
Aufheizen auf	65 °C
2. Rast	20 min
Aufheizen auf	72 °C
3. Rast	30 min
Aufheizen auf	78 °C
4. Rast	1 min
Abmaischen	

Tabelle 15: Hopfengaben für die Versuche zur Bestimmung der Transferrate von Hopfenaromastoffen

Sorte	Hallertau Opal (HOL)			Spalt Spalter (SSP)		
	g Hopfen/L	µg Linalool/L	mg α/L	g Hopfen/L	µg Linalool/L	mg α/L
<b>Stufe 1</b>	0,37	28	18	0,4	20	16
<b>Stufe 2</b>	0,74	57	36	0,8	40	33
<b>Stufe 3</b>	1,47	113	72	1,6	80	66
Sorte	Hallertau Taurus (HTU)			Hallertau Saphir (HSR)		
	g Hopfen/L	µg Linalool/L	mg α/L	g Hopfen/L	µg Linalool/L	mg α/L
<b>Stufe 1</b>	0,19	20	25	0,69	20	16
<b>Stufe 2</b>	0,39	40	51	1,38	40	32
<b>Stufe 3</b>	0,77	80	101	2,76	80	63

Die Hopfengabe erfolgte bei diesen Versuchen auf Basis des in den Pellets gemessenen Linaloolgehaltes. Diese wurden so berechnet, dass sich ein theoretischer Linaloolgehalt von 20 µg/l, 40 µg/l und 80 µg/L heißer AW erreicht werden sollte. Abweichend von diesen Werten wurde bei Sorte Opal eine höhere Dosage verwendet. In Tabelle 15 sind die einzelnen Hopfengaben für die verwendeten Stufen und Sorten dargestellt.

### 3.5.3 Versuche im Industriemasstab

Im Rahmen dieser Versuchsreihe wurden in zwei Brauereien Versuche zur Bestimmung der Transferrate der Hopfenaromastoffe bei einer späten Hopfengabe durchgeführt. Hierfür wurden jeweils der verwendete Hopfen, Würzproben vor und nach der letzten Hopfengabe sowie das fertig abgefüllte Bier untersucht. Die Brauereien unterschieden sich sehr deutlich in der Technologie der Würzebehandlung. Brauerei A arbeitet mit einem Nachverdampfungssystem SCHOKO® während Brauerei B mit einem Aussenkocher kocht. Bei Brauerei A wurde die letzte Hopfengabe 20 min vor dem Ausschlagen gegeben.

10 Minuten vor Ausschlagen begann eine „wirkliche“ Kochphase, vorher wurde die Würze bei 98 °C heiß gehalten.

In Brauerei B wurde die letzte Hopfengabe 5 min vor Ausschlagen gegeben. Sorte und Höhe der letzten Hopfengabe in beiden Brauereien ist in Tabelle 16 dargestellt.

**Tabelle 16: Letzte Hopfengabe bei den Industrierversuchen**

	Sorte der letzten Gabe	letzte Hopfengabe in g/l	Letzte Hopfengabe in g $\alpha$ /L	Linaloolkonzentration im Hopfen in $\mu$ g/g	letzte Hopfengabe in $\mu$ g Linalool/L
<b>Brauerei A</b>	HHT	0,2756	18,75	67	18,47
<b>Brauerei B</b>	TTE	0,1196	9,57	103	12,32

### 3.5.4 Analysen

Die von dieser Versuchsreihe angefertigten Analysen sind in Abschnitt 3.10 dargestellt.

## 3.6 Einfluss des Hopfengabezeitpunktes auf die Bierqualität

### 3.6.1 Verwendete Rohstoffe

Für diese Versuche wurde handelsübliches helles Pilsner Malz verwendet. Als Hopfen diente der Tettnang Tettnanger der Ernte 2006 mit den in Tabelle 17 dargestellten Analysenwerten.

**Tabelle 17: Hopfenanalysen**

Bitterstoffe	Tettnang Tettnanger	Hopfenaromastoffe	Tettnang Tettnanger
KW (EBC 7.5)	3,85	Geraniol	8,21
$\alpha$ -Säuren (EBC 7.7)	3,11	$\alpha$ -Terpineol	2,43
$\beta$ -Säuren (EBC 7.7)	5,57	$\beta$ -Caryophyllen	137,23
		Nerol	2,15
		Humulen	n.a.
		Linalool	12,89

### **3.6.2 Bierbereitung**

Die Bierbereitung erfolgte mit einigen Ausnahmen analog zu der in Abschnitt 3.5.2 beschriebenen Verfahrensweise. Die komplette Hopfendosage erfolgte entweder bei Kochbeginn, Kochmitte oder in den Whirlpool, so dass sich unterschiedliche Kontaktzeiten des Hopfens mit der Würze ergaben. Die Hopfengabe betrug in allen Fällen 3 g Hopfen/L AW. Die Würzen wurden nur bei 12 °C nach dem oben beschriebenen Verfahren vergoren und weiter behandelt.

### **3.6.3 Analysen**

Die von dieser Versuchsreihe angefertigten Analysen sind in Abschnitt 3.10 dargestellt.

## ***3.7 Einfluss der Hopfensorte und mehrerer Hopfengaben auf die Bierqualität und Harmonie des Bieres***

Diese Versuche wurden in zwei verschiedenen Versuchsbrauereien durchgeführt. Zum einen in der Pilotanlage des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I und zum anderen in der Forschungsbrauerei St. Johann. In beiden Braustätten wurden dieselben Rohstoffe verwendet sowie die Versuche nach denselben Versuchsvorschriften durchgeführt.

### **3.7.1 Verwendete Rohstoffe**

Für diese Versuchsreihe wurde eine homogene Charge Pilsner Malzes mit der in Tabelle 18 Spezifikation. Für Serie C in der Forschungsbrauerei St. Johann musste ein anderes Malz verwendet werden. Die Analysendaten der verwendeten Hopfenprodukte sind in Tabelle 19 dargestellt. Eine ausführliche analytische Beschreibung der Hopfenprodukte seitens der niedermolekularen Polyphenole sowie des Gesamtölspektrums der Hopfenprodukte sind in Tabelle 79-81 im Anhang gegeben.

**Tabelle 18: Malzanalyse des verwendeten Malzes**

<b>Analyse</b>	<b>Wert</b>
Extrakt Malz [%]	78,3
Extrakt Malz TrS [%]	81,5
Viskosität (8,6 %) [mPa*s]	1,507
Viskosität VZ 65 °C (8,6 %) [mPa*s]	1,561
Mürbigkeit [%]	88,6
Ganzglasigkeit [%]	1,4
Teilglasigkeit [%]	1,0
Farbe [EBC]	4,4
Kochfarbe [EBC]	6,8
pH-Wert	5,8
Rohprotein [%]	10,7
Lösl. Stickstoff [mg/100 MalzTrS]	788
Eiweisslösungsgrad [%]	46
β-Glucan [mg/l]	270
β-Glucan VZ 65 °C [mg/l]	357
Verkleisterungstemperatur [ °C]	62,6

**Tabelle 19: Analyse der verwendeten Hopfenprodukte**

	<b>HTU</b>	<b>HHT</b>	<b>HSR</b>	<b>TTE</b>	<b>HTU X</b>
<b>Geraniol [µg/g]</b>	6,2	3,0	5,0	10	-
<b>α-Terpineol [µg/g]</b>	24	6,1	5,9	4,2	-
<b>β-Caryophyllen [µg/g]</b>	58	9,1	16	5,7	-
<b>Nerol [µg/g]</b>	4,1	1,6	1,8	3,3	-
<b>Humulen [µg/g]</b>	151	64	63	16	-
<b>Linalool [µg/g]</b>	68	54	62	55	-
<b>KW EBC 7.5 [%]</b>	15,5	6,6	4,0	4,1	-
<b>HSI</b>	0,35	0,28	0,37	0,34	-
<b>α-Gehalt (EBC 7.7) [%]</b>	13,8	5,9	3,3	3,5	54,0

## 3.7.2 Bierherstellung

### 3.7.2.1 Weihenstephan

10 kg des oben beschriebenen Malzes wurden mit 40 L Wasser nach dem in Tabelle 20 beschriebenen Maischverfahren gemischt. Die Abtrennung der Treber erfolgte im Läuterbottich nach einer 15minütigen Läuerruhe. Nach Ablauf der Vorderwürze wurden insgesamt 31 L Nachguss gegeben, so dass sich eine Pfanne-Voll-Menge von 66 Litern mit 10,5 GG% ergab. Im Anschluss an die 60minütige Kochung folgte die Heißtrubabtrennung im auf 85 °C temperierten Whirlpool für 30 Minuten. Die tatsächliche Whirlpooltemperatur betrug 88-90 °C. Direkt vor dem Ausschlagen in den Whirlpool wurde die Würze mit technischer Milchsäure auf einen pH von 5,1 eingestellt. Die Hopfengabe erfolgte nach dem in Abschnitt 3.7.3 beschriebenen Schema. Zur Gärung wurde die Würze mit untergäriger Reinzuchtheffe (Zellzahl: ca. 12 Mio. Zellen/ml) aus der lehrstuhleigenen Assimilationsanlage angestellt und bei 12 °C vergoren. Beim Anstellen der Würze wurde diese mittels Venturidüse belüftet. Nach der Hauptgärung erfolgte eine zweitägige Reifung bei 16 °C und eine zweiwöchige Lagerung bei 0 °C, bevor das fertige Bier über Schichten (Typ K250, Fa. Pall) filtriert und abgefüllt wurde.

**Tabelle 20: Maischverfahren**

Einmaischen	62 °C
1. Rast	20 min
Aufheizen auf	65 °C
2. Rast	20 min
Aufheizen auf	72 °C
3. Rast	30 min
Aufheizen auf	78 °C
4. Rast	1 min
Abmaischen	

### 3.7.2.2 Forschungsbrauerei St. Johann

In der Forschungsbrauerei St. Johann wurden diese Versuche ebenfalls durchgeführt. Abweichend dazu kam bei Serie C (s. 3.7.3) ein anderes Malz zum Einsatz. In dieser Braustätte wurden dasselbe Maischverfahren und dieselben Rohstoffe verwendet. Die Forschungsbrauerei ist mit einem Innenkocher und einem Außenkocher ausgestattet, wobei für diese Versuche nur der Innenkocher zum Einsatz kam. Alle Zeiten sind mit denen bei der Sudhausarbeit in Weihenstephan identisch. Als Hefe kam Erntehefe einer Regensburger Brauerei zum Einsatz. Die Anstellzellzahl betrug auch hier ca. 12 Mio. Zellen/ml. Gärführung sowie Reifung und Lagerung waren mit denen in Weihenstephan vergleichbar. Die Filtration erfolgte mittels Kieselgurfiltration.

### 3.7.3 Hopfung

In dieser Versuchsreihe sollte untersucht werden inwiefern sich eine Aromahopfung im Bierbereitungsprozess auswirkt. Dazu wurden drei Versuchsserien durchgeführt. Die Hopfung wurde auf Basis des  $\alpha$ -Gehaltes (HPLC) berechnet und es wurden für jedes Hopfenprodukt eigene spezifische Ausbeuten angenommen. Diese beruhen auf Erfahrungswerten der Forschungsbrauerei St. Johann wonach die Ausbeute bei Hopfenprodukten mit einem geringeren  $\alpha$ -Säuregehalt niedriger ist als bei Hopfenprodukten mit einem höheren  $\alpha$ -Säuregehalt. Bei Serie A wurde der komplette Hopfen zu Kochbeginn gegeben. Dabei kamen drei Aromahopfensorten (Hallertau Saphir, Tettnang Tettnanger und Hallertau Tradition) als Pellets sowie die Sorte Hallertau Taurus als Pellets und als CO<sub>2</sub>-Extrakt zum Einsatz. Die Hopfung variierte dabei von 100 % Extrakt über 50 % der  $\alpha$ -Gabe Extrakt/Pellets bis 100 % Pellets zu Kochbeginn. Die Zielkonzentration betrug 22 mg iso- $\alpha$ -Säuren/L

In Serie B wurde zu Kochbeginn 50 % der Bierbittere durch den CO<sub>2</sub>-Extrakt eingestellt. Die restlichen 50 % der Bierbittere ergaben sich durch eine Pelletgabe zu Kochmitte. Die durch die verringerte Kochzeit bedingte schlechtere Ausbeute wurde durch eine höhere Hopfung kompensiert, um die gewünschten 22 mg iso- $\alpha$ -Säure/L zu erreichen. Serie C unterschied sich von A und B dadurch, dass hier eine dritte Hopfung in den Whirlpool erfolgte. Dabei sollte in der Würze eine Linaloolkonzentration von 50  $\mu$ g/L eingestellt

werden. Hierfür wurde auf Transferraten aus früheren Versuchen (s. o.) zurück gegriffen. Die Höhe der mittleren Hopfengabe ergab sich durch die erste Gabe zu Kochbeginn, welche mit der Gabe bei Serie B gleich war, und der angenommenen Ausbeute bei der Aromagabe in den Whirlpool.

Die genaue Aufstellung der Hopfengaben ist in den folgenden 3 Tabellen zu sehen.

**Tabelle 21: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie A (Hopfengabe zu Kochbeginn)**

Braustätte	Code	Klartext	Extraktgabe Kochbeginn	Pelletgabe Kochbeginn
St. Johann	HAPHT	HHT 100	-	1,712
Weihenstephan	TAPHT	HHT 100	-	1,836
St. Johann	HAXPHT	HHT 50	0,091	0,878
Weihenstephan	TAXPHT	HHT 50	0,096	0,881
St. Johann	HAPSR	HSR 100	-	3,046
Weihenstephan	TAPSR	HSR 100	-	3,581
St. Johann	HAXPSR	HSR 50	0,101	1,646
Weihenstephan	TAXPSR	HSR 50	0,097	1,575
St. Johann	HAX	HTU Extrakt	0,231	-
Weihenstephan	TAX	HTU Extrakt	0,126	-
St. Johann	HAPTU	HTU P	-	0,665
Weihenstephan	TAPTU	HTU P	-	0,573
St. Johann	HAPTE	TTE 100	-	2,979
Weihenstephan	TAPTE	TTE 100	0,000	3,374
St. Johann	HAXPTE	TTE 50	0,091	1,433
Weihenstephan	TAXPTE	TTE 50	0,096	1,476

**Tabelle 22: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie B (Pelletgabe Kochmitte)**

Braustätte	Code	Klartext	Extraktgabe Kochbeginn	Pelletgabe Kochmitte
St. Johann	HBXPHT	HHT KM	0,089	1,216
Weihenstephan	TBXPHT	HHT KM	0,089	1,574
St. Johann	HBXPSR	HSR KM	0,103	2,939
Weihenstephan	TBXPSR	HSR KM	0,089	3,283
St. Johann	HBXPTU	HTU KM	0,075	0,377
Weihenstephan	TBXPTU	HTU KM	0,077	0,572
St. Johann	HBXPTE	TTE KM	0,094	2,248
Weihenstephan	TBXPTE	TTE KM	0,089	3,095

**Tabelle 23: Hopfengabe in g Hopfen/L für Serie C (Pelletgabe Kochmitte und Kochende)**

Braustätte	Code	Klartext	Extraktgabe Kochbeginn	Pelletgabe Kochmitte	Pelletgabe Kochende
St. Johann	HCXPHT	HHT KE	0,115	1,287	1,166
Weihenstephan	TCXPHT	HHT KE	0,090	1,434	1,161
St. Johann	HCXPSR	HSR KE	0,115	3,002	1,016
Weihenstephan	TCXPSR	HSR KE	0,089	3,03	1,01
St. Johann	HCXPTU	HTU KE	0,115	0,278	0,959
Weihenstephan	TCXPTU	HTU KE	0,090	0,364	0,936
St. Johann	HCXPTE	TTE KE	0,107	2,351	1,066
Weihenstephan	TCXPTE	TTE KE	0,089	2,86	1,14

### 3.7.4 Analysen

Die von dieser Versuchsreihe angefertigten Analysen sind in Abschnitt 3.10 dargestellt.

### 3.8 Untersuchung zum Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Würzequalität und die Hopfenaromastoffe

#### 3.8.1 Verwendete Rohstoffe

Für diese Versuche wurde eine einheitliche Charge Pilsner Handelsmalz bezogen. Die Analysenwerte sind in Tabelle 24 aufgeführt. Als Hopfen dienten angereicherte (Typ 45) Pellets der Sorte Saphir (HSR) der Ernte 2008 mit den in Tabelle 25 dargestellten Analysenwerten.

**Tabelle 24: Analyse des Malzes für die Kochsystemversuche**

Wassergehalt	[%]	4,1
Extrakt lftr.	[%]	78,8
Extrakt wfr.	[%]	82,2
Viskosität	[mPa*s]	1,499
Viskosität VZ 65 °C	[mPa*s]	1,548
Friabilimeter	[%]	94,1
Ganzglasigkeit	[%]	0,5
Endvergärungsgrad	[%]	82,5
Farbe	[EBC]	3
Kochfarbe	[EBC]	5,3
pH-Wert		5,93
Rohprotein	[%]	10,5
lösl N	[mg/100g MalzTrS]	633
Eiweißlösungsgrad	[%]	37,7

**Tabelle 25: Analyse des Hopfens (Sorte HSR) für die Kochsystemversuche**

	Wert
α-Säuren [%]	4,7
rel Anteil co-Humulon [%]	14,8
β-Säuren [%]	8,7
rel. Anteil co-Lupulon [%]	45,7
Geraniol [µg/g]	6,5
α-Terpineol [µg/g]	15
β-Caryophyllen [µg/g]	249
Nerol [µg/g]	17
Humulen [µg/g]	338
Linalool [µg/g]	96

### 3.8.2 Versuchsbeschreibung

Diese Versuche wurden in der Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan unter Variation des Kochsystems durchgeführt. Alle dem Kochprozess vor- und nachgelagerte Herstellungsprozesse wurden nicht verändert. Eine Beschreibung der Versuchs- und Lehrbrauerei mit den vorhandenen Anlagen kann der Literatur [345] entnommen werden. Als Kochsystem kamen bei diesen Versuchen der installierte Innenkocher, Außenkocher sowie zwei Vakuumverdampfungssysteme zum Einsatz. Nach Beendigung des Abläutervorganges wurden bei 80 °C jeweils die Pfanne-Voll-Würzeproben genommen und bei 90 °C erfolgte die erste Hopfengabe (2 g Pellets pro Liter AW). Ab Erreichen einer Temperatur von 98,5 °C in der Pfanne wurde jeweils 60 min atmosphärisch gekocht, bei jeweils ca. 10facher Umwälzung lag die Temperatur beim Außenkocheraustritt bei 102 °C, und anschließend in einer 15minütigen Whirlpoolrast der Heißtrub abgetrennt. Die zweite Hopfengabe (1 g Pellets pro Liter AW) wurde bei allen Suden in den Whirlpool vorgelegt. Nach der Whirlpoolrast wurde die Würze über einen einstufigen Würzekühler auf 8-10 °C Anstelltemperatur gekühlt.

Abweichend von der Verfahrensweise mit Innen- und Außenkocher wurde beim Vakuumsystem 1 die Würze nicht gekocht, sondern 60 Minuten bei 98 °C unter periodischem Rühren heiß gehalten. An diese Heißhaltephase schloss sich die Whirlpoolrast an. Zwischen Whirlpool und Würzekühler wurde bei diesem System ein Vakuumgefäß zwischengeschaltet, wobei eine Gesamtverdampfung von 4 % sowie eine Vorkühlung der Würze erreicht wurde. Die restliche Verfahrensweise war gleich der des Innen- bzw. Außenkochers. Das zweite Vakuumsystem unterschied sich vom ersten durch eine 60minütige Kochphase mittels Außenkocher und nur ca. 6facher Umwälzung. Nach dem Außenkocher durchlief die Würze mit 102 °C ein Entspannungsgefäß, welches während der Kochphase atmosphärische Druckverhältnisse aufwies. Im Anschluss an die Kochphase wurde das Entspannungsgefäß unter Vakuum gesetzt und die Würze 20 Minuten durch das Vakuumgefäß im Kreislauf gepumpt. Durch die stattfindende Verdampfung kühlte die Würze auf 85-88 °C ab. Nach dieser Verdampfungsphase wurde die Würze in den Whirlpool transferiert und die weitere Würzebehandlung war gleich der des Innenkochers. Die nachfolgenden vier Abbildungen 14-18 zeigen die Schaubilder der verwendeten Kochsysteme. Der Verlauf der Würze ist jeweils durch die schwarzen

Leitungen gekennzeichnet. Die genauen Funktionsweisen der einzelnen Kochsysteme können der entsprechenden Literatur entnommen werden (Innenkocher/Außenkocher [346], Vakuumverdampfungssystem 1 [347, 348, 349, 346], Vakuumverdampfungssystem 2 [350, 346]).

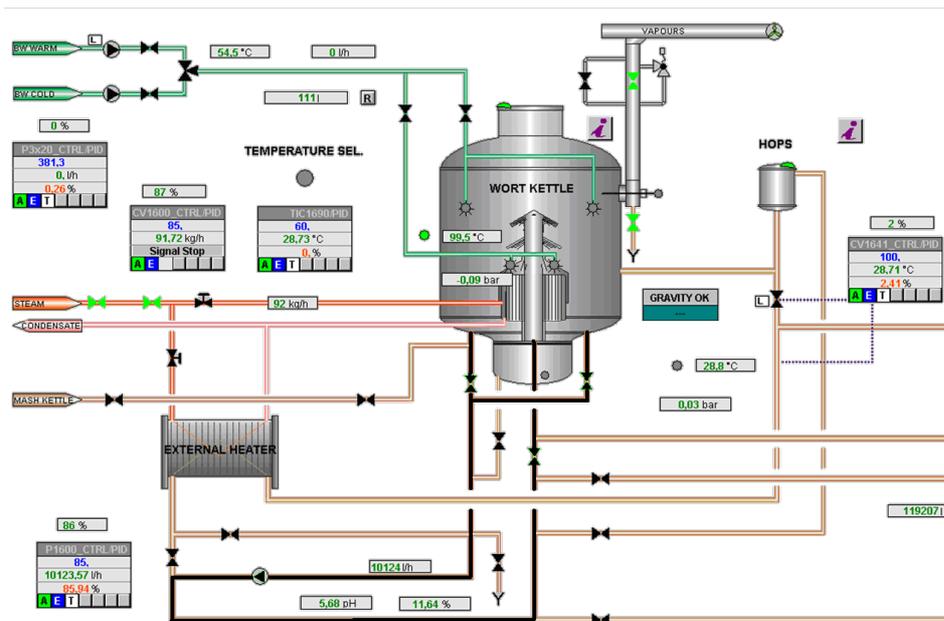


Abbildung 14: Schaubild des Innenkochers

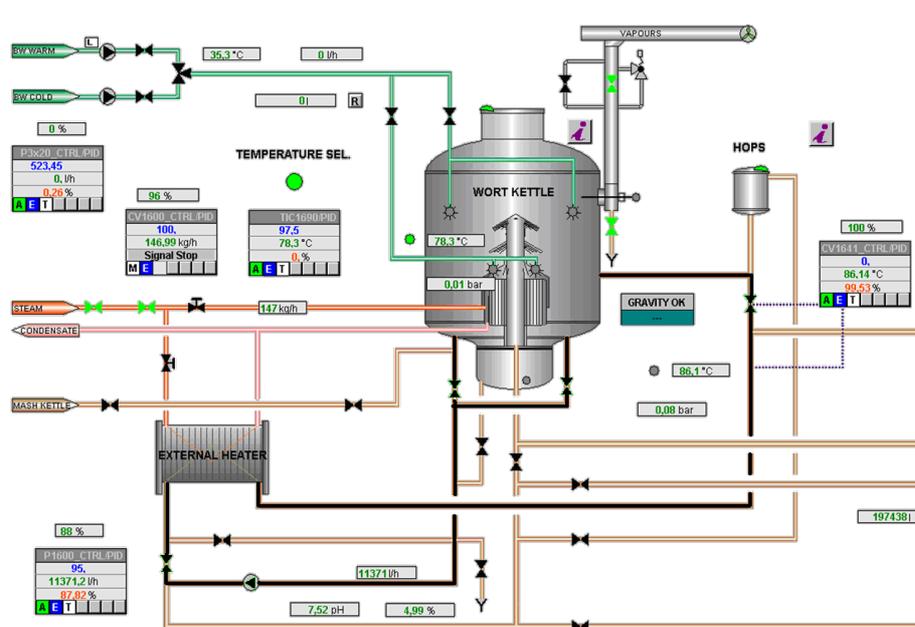


Abbildung 15: Schaubild des Außenkochers

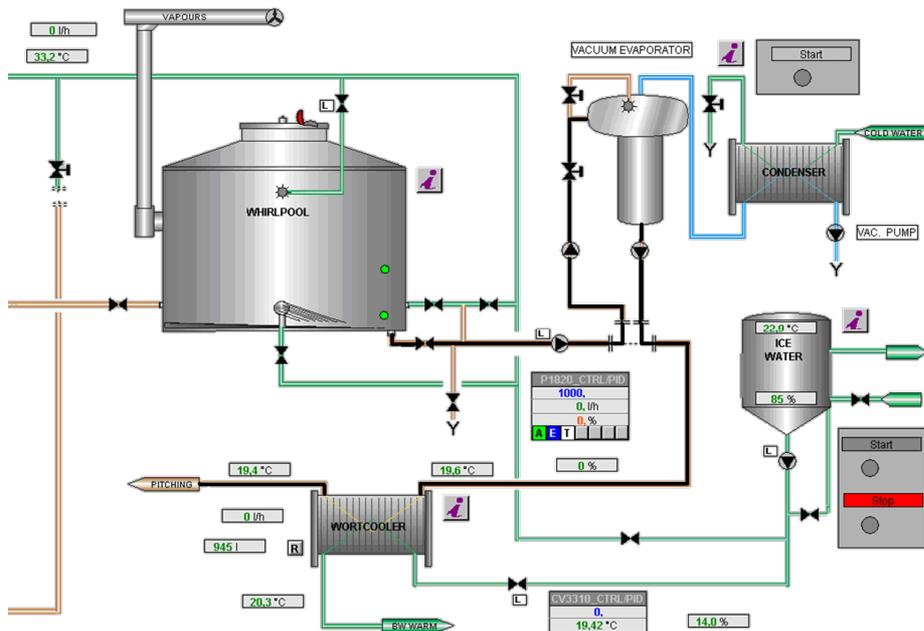


Abbildung 16: Schaubild des Vakuumverdampfungs-systems 1

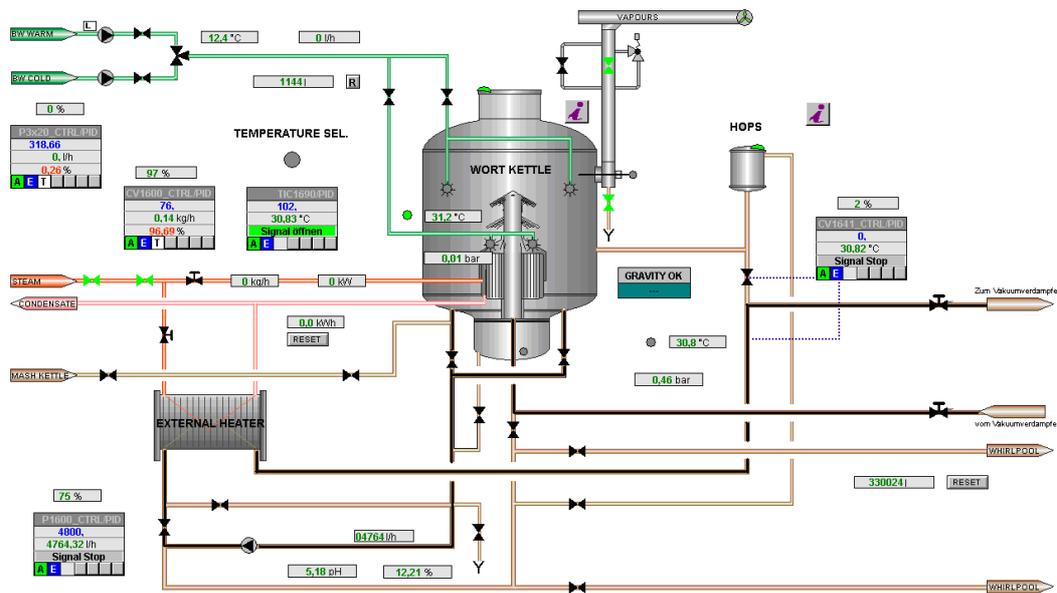


Abbildung 17: Schaubild des Vakuumverdampfungs-systems 2

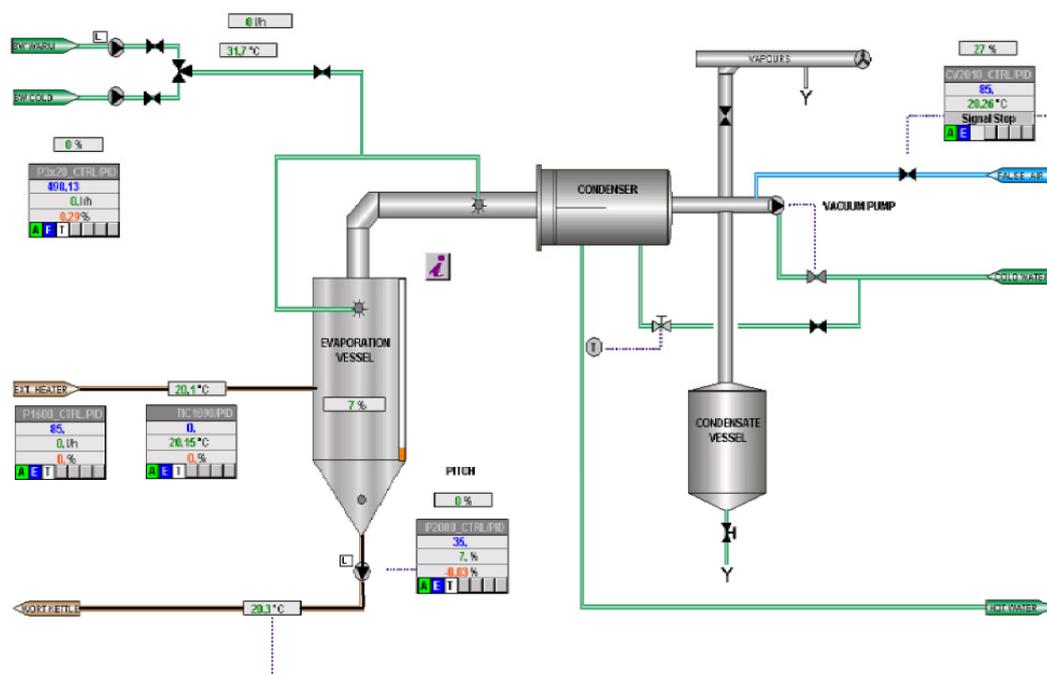


Abbildung 18: Schaubild des Vakuumverdampfungs-systemes 2- Vakuumeinheit

### 3.8.3 Analysen

Zusätzlich zu den in Abschnitt 3.10 aufgeführten Analysen wurde von den Ausschlagwürzen und den Kühlmittewürzen jeweils das Antiradikalische Potential mittels Elektronenspinresonanz (ESR) nach der Methode von Wurzbacher [351] ermittelt.

## 3.9 Reproduzierbarkeitsversuche

Um die Reproduzierbarkeit des Pilotsudwerkes und der verwendeten Analytik zu bestimmen wurden Mehrfachversuche durchgeführt. Die Sudherstellung erfolgte nach der bereits in Abschnitt 3.1 aufgeführten Vorgehensweise. Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitstest sind in Tabelle 26 dargestellt. Aufgrund der niedrigen Werte für den Variationskoeffizienten ist die Reproduzierbarkeit des Pilotsudwerkes gut.

**Tabelle 26: Reproduzierbarkeitsergebnisse für Pilotsudwerk und Analytik**

Reproversuche für das Pilotsudwerk				
n=5		Mittelwert	StabW	VK [%]
Extrakt AW	GG%	11,6	0,08	0,7
Volumen AW heiß	Liter	62,0	0,00	0,0
Volumen PfV heiß	Liter	67,6	0,48	0,7
Extrakt PfV	GG%	10,7	0,17	1,6
Sudhausausbeute	%	72,2	0,53	0,7
Gesamtverdampfung	%	8,3	0,65	7,8
Verdampfungsziffer	%/h	9,1	0,77	8,5
Bittereinheiten Würze	BE	51	2,55	5,0
iso- $\alpha$ -Säuren HPLC Würze	mg/l	30,9	1,20	3,9
Bittereinheiten Bier	BE	25	2,77	11,0
iso- $\alpha$ -Säuren HPLC Bier	mg/l	22,5	1,57	7,0
Reproversuche zur Analytik				
n=10		Mittelwert	StabW	VK [%]
Extrakt	GG%	11,94	0,01	0,12
Alkohol	%vol	5,3	0,01	0,18
scheinbarer Extrakt	GG%	1,98	0,01	0,63
scheinbarer Vergärungsgrad	%	84,1	0,11	0,13
pH-Wert		4,57	0,01	0,19
Farbe	EBC	6,8	0,15	2,23
Bittereinheiten (photometrisch)	BE	23	1,65	7,29
Gesamtpolyphenole	mg/l	173	9,21	5,32
Anthocyanogene	mg/l	55	1,83	3,32
Tannoide	mg/l	20	1,27	6,51

### 3.10 durchgeführte Analysen

#### 3.10.1 Rohstoffanalysen

**Tabelle 27: Aufstellung der durchgeführten Rohstoffanalysen**

	Methode	Quelle
Wassergehalt	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.1	[352]
Extrakt	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.2.2	[352]
Viskosität	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.4.2	[352]
Mürbigkeit	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.3.6	[352]
Farbe	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.2.8.2	[352]
Kochfarbe	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.2.9	[352]
pH-Wert	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.2.7	[352]
Rohprotein Malz	MEBAK Bd. Rohstoffe 1.5.2.1	[352]
Löslicher Stickstoff	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.5.2.1	[352]
Eiweisslösungsgrad	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.5.3	[352]
$\beta$ -Glucan	MEBAK Bd. Rohstoffe 3.1.4.9.1.2	[352]
Verkleisterungstemperatur	MEBAK Bd. Rohstoffe 2.7	[352]
Konduktometerwert	EBC 7.5	[342]
$\alpha$ -Säuregehalt	EBC 7.7	[342]
Hopfenaromastoffe	HERRMANN et al.	[353]
Hop Storage Index	ASBC Hops 6-12	[354]

Von den Hopfenproben der Versuche zum Einfluss der Sorte und der Hopfengaben auf die Bierqualität wurde von der Fa. NateCO<sub>2</sub> das Spektrum der niedermolekularen Polyphenole mittels HPLC und das komplette Ölspektrum mittels GC analysiert.

### 3.10.2 Würze- und Bieranalysen

**Tabelle 28: Aufstellung der Analysen für Würze und Bier**

Versuch Analyse	Abschnitt 3.3 (Ausbeute von Bitterstoffen)	Abschnitt 3.4 (Hopfenalter und Bierqualität)	Abschnitt 3.5 (Hopfenaromastofftransfer)	Abschnitt 3.6 (Hopfengabezeitpunkt)	Abschnitt 3.7 (mehrere Hopfengaben)	Abschnitt 3.8 (Kochsysteme)	Methode	Referenz
Analyse								
Stammwürze	X	X	X	X	X	X	MEBAK II 2.10	[355]
Alkohol	X	X	X	X	X	X	MEBAK II 2.10	[355]
pH-Wert	X	X	X	X	X	X	MEBAK II 2.14	[355]
Farbe	X	X	X	X	X	X	MEBAK II 2.13.2	[355]
Gesamtpolyphenole		X	X	X	X	X	MEBAK II 2.17.1	[355]
Anthocyanogene		X	X	X	X	X	MEBAK II 2.17.2	[355]
Tannoide		X	X	X	X	X	MEBAK II 2.17.3	[355]
BE	X	X	X	X	X	X	MEBAK II 2.17.3	[355]
Bitterstoffe HPLC	X	X	X	X	X	X	EBC 7.8	[342]
niedermolekulare Polyphenole (HPLC)					X		wurde durch NateCO <sub>2</sub> analysiert	
Bieraromastoffe		X	X	X	X	X	interne Methode	[356]
Würzearomastoffe		X	X	X	X	X	interne Methode	[357]
Alterungsindikatoren					X	X	interne Methode	[128]
Gesamtstickstoff	X					X	MEBAK II 2.8.1.1	[355]
koagulierbarer Stickstoff	X					X	MEBAK II 2.8.2	[355]
TBZ	X					X	MEBAK II 2.4	[355]

### 3.10.3 Verkostung

Die Verkostung der Biere fand durch geschulte Verkoster (mind. 7 Verkoster pro Verkostung) nach dem DLG-Schema sowie nach dem Alterungsschema von EICHHORN [358] statt. Die Forcierung der Proben erfolgte durch 24stündiges Schütteln bei Raumtemperatur und einer 4tägigen Warmlagerung bei 40 °C.

Hopfenaromatische Biere wurden zusätzlich nach dem Verkostungsschema von KALTNER [80, 128] verkostet und bewertet. Dieses Verkostungsschema ist in Abbildung 19 dargestellt. Biere, die im Rahmen der Kooperation mit der Forschungsbrauerei St. Johann entstanden, wurden außerdem auch vom Verkosterpanel in St. Johann verkostet. Die Proben wurden vor der Verkostung verschlüsselt, so dass kein Verkoster von der Probenbezeichnung auf die Zusammensetzung/Hopfung der zu verkostenden Probe schließen konnte.

Hopfenverkostungsschema nach Kaltner

**Hopfenaroma**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Spur		etwas		wahrnehmbar		deutlich		intensiv		

Geruch

Intensität												
Qualität	unangenehm											angenehm

Trunk

Intensität												
Qualität	unangenehm											angenehm

Diese Eindrücke beziehen sich **ausschließlich** auf das Hopfenaroma

**Beschreibung des Hopfenaromas**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Spur		etwas		wahrnehmbar		deutlich		intensiv		

Geruch

fruchtig											
blumig											
citrus											
grün-grasig											
hopfenwürzig/krautig											
sonstige											

Trunk

fruchtig											
blumig											
citrus											
grün-grasig											
hopfenwürzig/krautig											
sonstige											

Wenn kein Aromaeindruck festgestellt werden kann, ist zwingend 0 anzukreuzen

**Wahrnehmung der Bittere**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	mild					kräftig					

Gesamtintensität

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Antrunk

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Trunk

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Nachtrunk

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

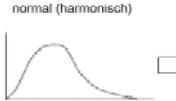
Harmonie

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Harmonie beschreibt den persönlichen Gesamteindruck für diesen Biertyp.  
0 = überhaupt nicht, 10 = entspricht voll

**Bitterprofil**

normal (harmonisch)



kratzig



schwach



hart



hart und breit



harmonisch, aber lang im Nachtrunk



Antrunk abgerundet, aber nachhängend



Bemerkungen:

Abbildung 19: Verkostungsschema für hopfenaromatische Biere nach KALTNER

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einfluss der Matrix auf die Geschmackswahrnehmung

#### 4.1.1 Wässrige monomere Lösungen

Der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren in Wasser wurde mit 2,2 mg/l bestimmt. Dieser Wert ist konform mit den in der Literatur zu findenden Schwellenwerten für diese Bitterstoffe [226, 84].

##### 4.1.1.1 pH-Einfluss

Zur Einstellung des pH-Wertes in Wasser wurden Zitronensäure, Milchsäure und Äpfelsäure sowie eine Mischung dieser drei organischen Säuren verwendet. Abbildung 20 zeigt die jeweils ermittelten Schwellenwerte. Dabei ist zu erkennen, dass die Einstellung des pH-Wertes mittels einzelner organischer Säuren eine zum Teil deutliche Anhebung des Schwellenwertes der iso- $\alpha$ -Säuren zur Folge hat. MEILGAARD [83] und BRENNER [94] berichten, dass die anionische Form der iso- $\alpha$ -Säuren die Geschmackszellen intensiver reizt als die protonierte Form. Daraus würde folgen, dass die Proben mit einem niedrigerem pH-Wert höhere Schwellenwerte aufweisen, wie dies hier der Fall ist. Andererseits besitzen organische Säuren neben dem Sauergeschmack noch weitere Nebengeschmackseindrücke, die hier zum Tragen kommen könnten und den Bittergeschmack der iso- $\alpha$ -Säuren überdeckt haben. Für diese Annahme spricht, dass die Mischung der organischen Säuren keinen unterdrückenden Effekt aufwies und mit 2 mg/l im Bereich der Nullprobe liegt. Somit könnten in der Mischung die verschiedenen Effekte durch die verschiedenen Säuren ausgeglichen worden sein. Die Proben mit pH 5 zeigten, bis auf Citrat, keinerlei Effekt. Auch hier kann ein Einfluss des Citrataniones nicht ausgeschlossen werden.

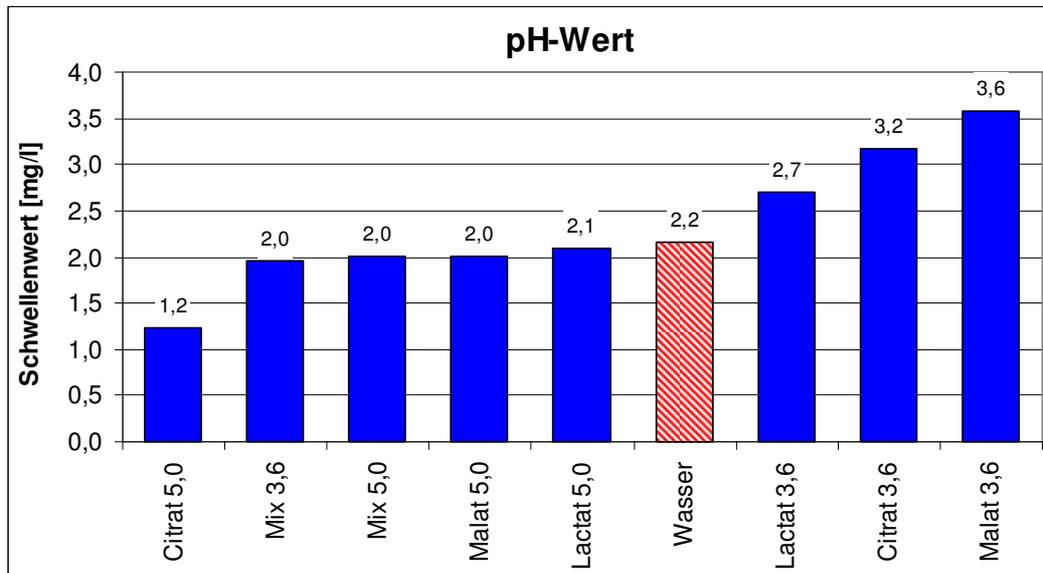


Abbildung 20: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren bei verschiedenen pH-Werten

#### 4.1.1.2 Dextrine

In einer Lösung mit 5 GG% Dextrinzugabe wird der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren erwartungsgemäß unterdrückt. Dies bestätigt die Ergebnisse von BRÉFORT et al. [78], die dem Restextrakt der nach dem Bierkonsum in der Mundhöhle verbleibt, verminderte Effekte auf die Bittere zuschreiben. Allerdings sind für solche Effekte anscheinend große Mengen an Dextrinen notwendig, da die 0,5%ige Lösung keinen unterdrückenden Effekt aufzeigte. Bei dieser Lösung liegt der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren rund 10 % unter dem der Vergleichslösung. In Abbildung 21 sind die Schwellenwerte nochmals dargestellt.

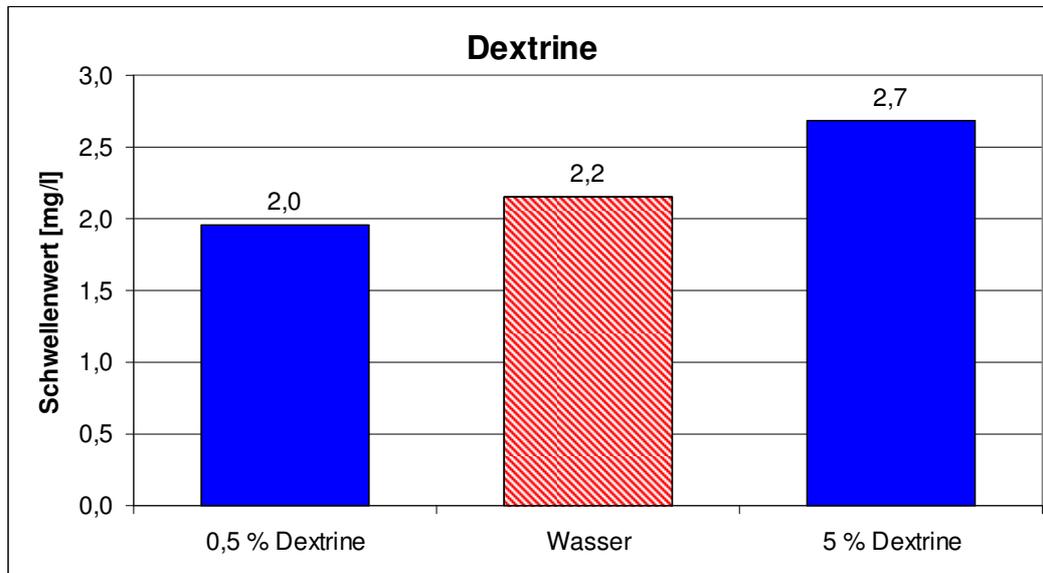


Abbildung 21: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in verschiedenen Dextrinlösungen

#### 4.1.1.3 Ethanol

Wie in Abschnitt 2.3.2 bereits dargestellt, werden dem Ethanol unterschiedliche Einflüsse auf die Bierbittere zugeschrieben. In Abbildung 22 sind die Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in einer 0,5%igen und einer 2%igen Ethanollösung dargestellt. Ethanol zeigt hier einen starken unterdrückenden Effekt. Der Schwellenwert für Ethanol selbst wurde mit 1,05 %vol

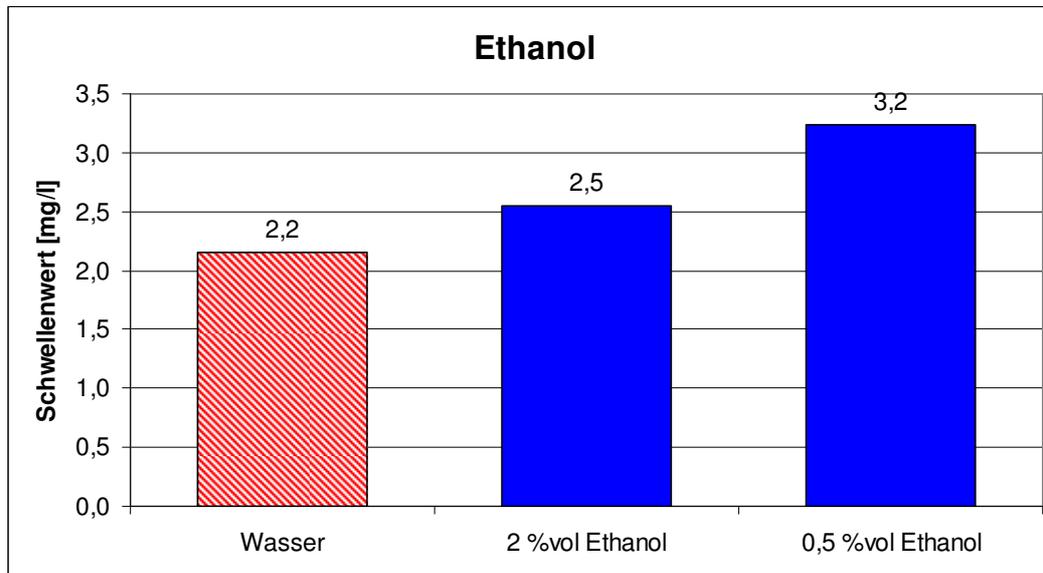


Abbildung 22: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in ethanolischer Lösung

ermittelt. In der Lösung mit einer Konzentration, die dem halben Schwellenwert des Ethanols entspricht, zeigt dieser sehr starke Unterdrückungseffekte. Bei Konzentrationen, die über dem Schwellenwert liegen, scheint sich dieser Einfluss zu verringern. Erklärbar ist dies eventuell mit den sensorischen Eigenschaften des Ethanols. Bei der Bestimmung des Schwellenwertes von Ethanol gaben viele Verkoster einen bitteren Geschmackseindruck der Lösung an. Dies bestätigt die Aussage von MATTES et al., die ebenfalls einen bitteren Geschmack von Ethanol v. a. nahe des Schwellenwertes beobachteten [359]. Auch SCINSKA et al. fanden, dass Ethanol bittere und süße Geschmackseindrücke beim Menschen hervorrufen kann [91]. Anscheinend hat eine sub-Schwellenwertkonzentration von Ethanol eine stärkere Wirkung als eine Ethanolkonzentration über dem Schwellenwert. Bei der Konzentration über dem Schwellenwert könnte aber der ethanolische Bittereindruck den Bittereindruck der iso- $\alpha$ -Säuren leicht verstärken, so dass der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren im Vergleich zur 0,5%igen Lösung absinkt. Dahingehend konnte eine verstärkende Wirkung des Ethanols, wie bereits von GUINARD et al. [88] beschrieben, gefunden werden. Aber im Ganzen betrachtet, hatte der Ethanol bei diesen Versuchen eine unterdrückende Wirkung.

### 4.1.2 Wässrige, binäre Lösungen

Bei den wässrigen Lösungen mit zwei dosierten Komponenten (binäre Mischung) konnten die Dextrinversuche bei pH 5 nicht untersucht werden, da nach der Dosage der Dextrine der pH-Wert der Grundmatrix bereits auf einen pH-Wert kleiner 5 abgesunken war.

Zur pH-Einstellung wurde in dieser Versuchsreihe nur die Mischung der organischen Säuren verwendet. In Abbildung 23 zeigt sich der Einfluss des Ethanols bei pH 5. Auch hier ist erkennbar, dass die 0,5%ige Lösung den größten unterdrückenden Effekt bringt. Dieser Effekt reduziert sich aber ebenfalls wieder mit der steigenden Ethanolkonzentration. Bei einer Verringerung des pH-Wertes auf 3,6 ergibt sich ein etwas anderes Bild (s. Abb. 24). Hier zeigt die Lösung mit 5 % Ethanol die größte unterdrückende Wirkung. Die

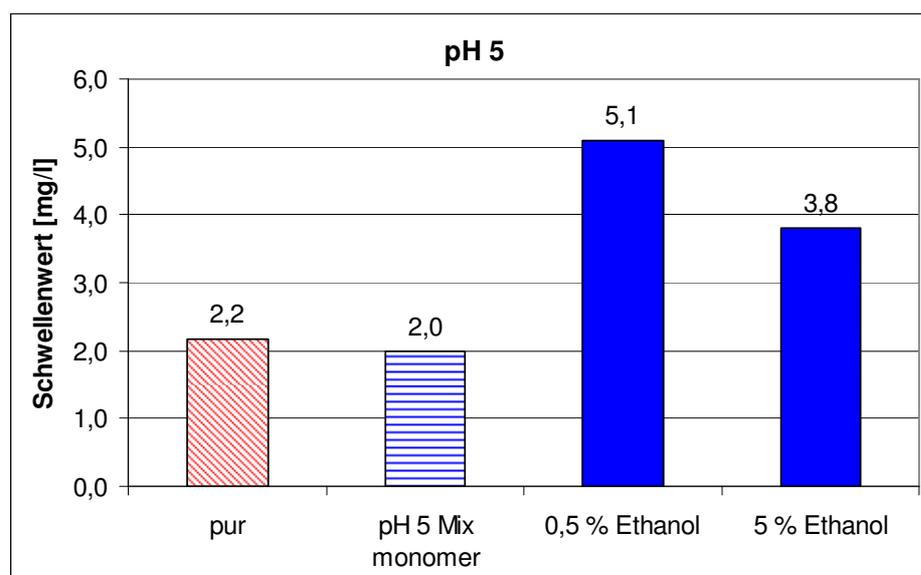


Abbildung 23: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen bei pH 5,0

0,5%ige Lösung ergibt hier einen niedrigeren Schwellenwert als bei pH 5. Es ist außerdem auffällig, dass die Paare pH 3,6/0,5 % Ethanol und pH 5/5 % Ethanol ähnliche Schwellenwerte für die iso- $\alpha$ -Säuren ergeben. Sind die Konzentrationen von Säure und Ethanol nicht mehr entgegengesetzt, sondern gleichen sich in gewisser Weise an (z. B. mehr Ethanol und mehr Säure  $\rightarrow$  niedrigerer pH-Wert) erhöhen sich die Schwellenwerte

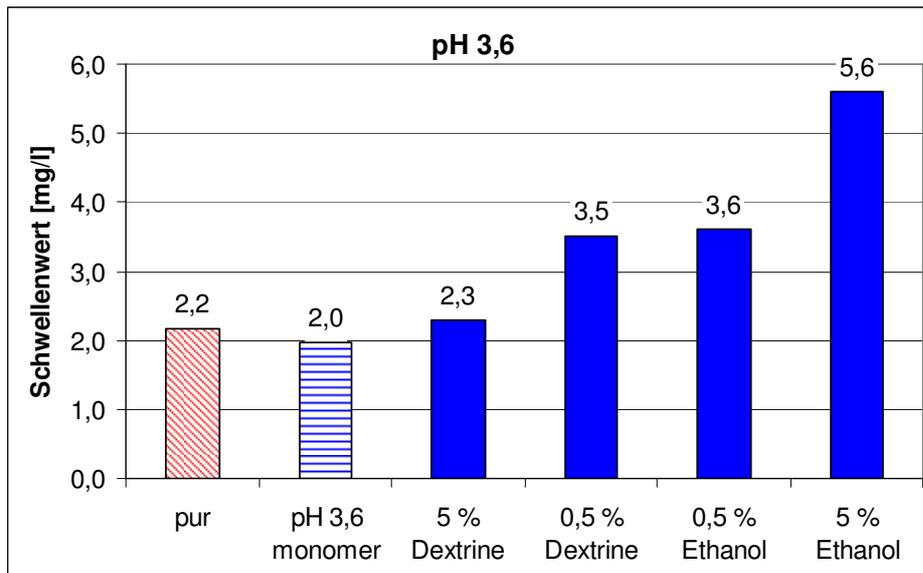


Abbildung 24: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen bei pH 3,6

der iso- $\alpha$ -Säuren. Eine mögliche Erklärung könnte in den Nebengeschmackseindrücken der organischen Säuren liegen. Wie unter Abschnitt 2.1.6 berichtet, zeigen organische Säuren auch adstringente Eindrücke. Durch Ethanol kann dieser adstringente Eindruck verstärkt werden [33, 35]. Wahrscheinlich führt diese Verstärkung der Adstringenz zu einer Reduktion der unterdrückenden Eigenschaften des Ethanols.

Ein unerwartetes Bild zeigt auch die Dextrinlösung mit einem pH-Wert von 3,6. Hier besitzt die schwächer konzentrierte Dextrinlösung stärker unterdrückende Eigenschaften als die 5%ige Lösung. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die protonierten iso- $\alpha$ -Säuren eine mildere Bittere aufweisen [60] und dadurch höhere Schwellenwerte hervorrufen. Monomere Mischungen einzelner organischer Säuren zeigten deutlich höhere Schwellenwerte bei niedrigeren pH-Werten.

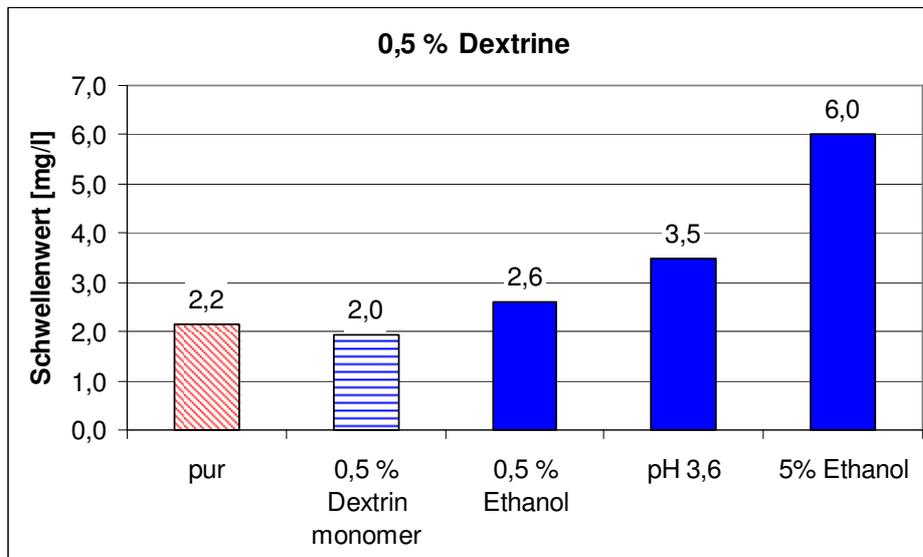


Abbildung 25: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 0,5 % Dextrinen

In Abbildung 25 sind die Auswirkungen der Parametervariation in einer 0,5%igen Dextrinlösung gezeigt. Bei Zugabe von 0,5 %vol Ethanol zeigt sich eine Zunahme des Schwellenwertes im Vergleich zur rein wässrigen Vergleichslösung und zur monomeren Dextrinvergleichslösung. Auch die monomere Ethanollösung zeigt stark unterdrückende Effekte, die in der binären Lösung durch die Dextrine abgemildert wurden. Bei der 5%igen Ethanollösung überwiegt ein maskierender Effekt des Ethanols, der sich in einem hohen Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren niederschlägt. Durch Erhöhung der Dextrinkonzentration (auf 5 GG%) wird dieser unterdrückende Effekt wieder reduziert, wie aus Abbildung 26 ersichtlich wird. Dextrine und Ethanol sind anscheinend sensorische Gegenspieler, die die Wirkung des anderen jeweils reduzieren. Dies spricht für unterschiedliche unterdrückende

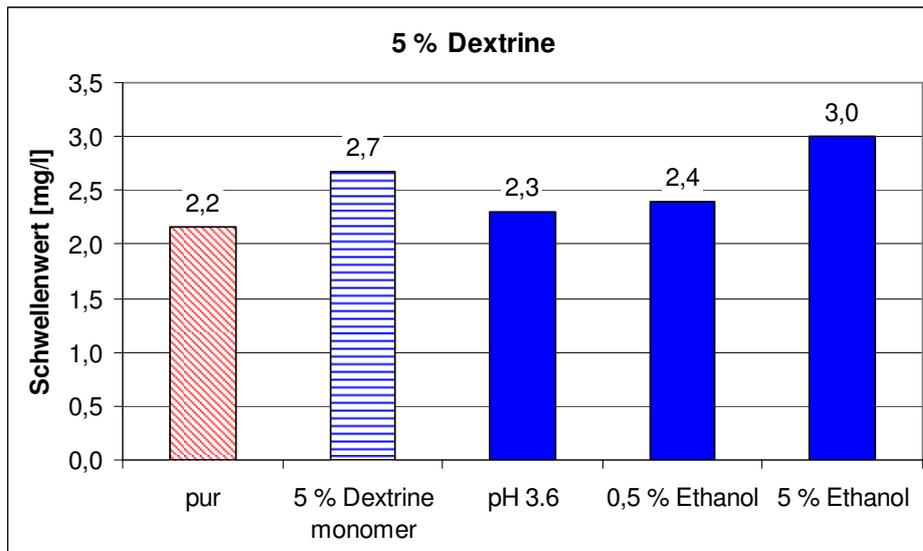


Abbildung 26: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 5,0 % Dextrinen

Wirkungsweisen. Während Ethanol durch seinen Bittergeschmack die Wahrnehmung der iso- $\alpha$ -Säuren unterdrückt, reduzieren die Dextrine durch einen leichten Süßgeschmack die Bittere. Durch Reduktion dieser Nebeneindrücke in der Lösung wird der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren wieder gesenkt, allerdings in keinem Fall auf das Niveau der wässrigen Lösung. Um die Wirkung des Ethanols zu reduzieren, ist eine äquivalente Menge an Dextrinen erforderlich.

Wie bereits erwähnt und in Abbildung 27 und 28 nochmals dargestellt, ist Ethanol ein sensorischer Antagonist zu den Dextrinen. Ebenfalls konnte eine Ethanol-pH-Wechselwirkung gezeigt werden. Bei gegenläufigen Konzentrationen von Ethanol und organischen Säuren wurde ein unterdrückender Effekt jeweils wieder reduziert.

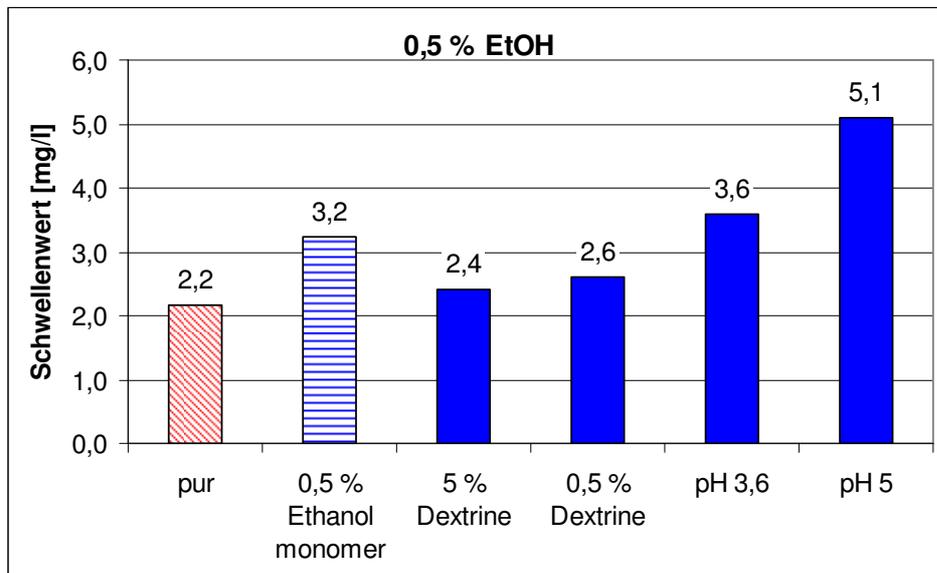


Abbildung 27: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 0,5 % Ethanol

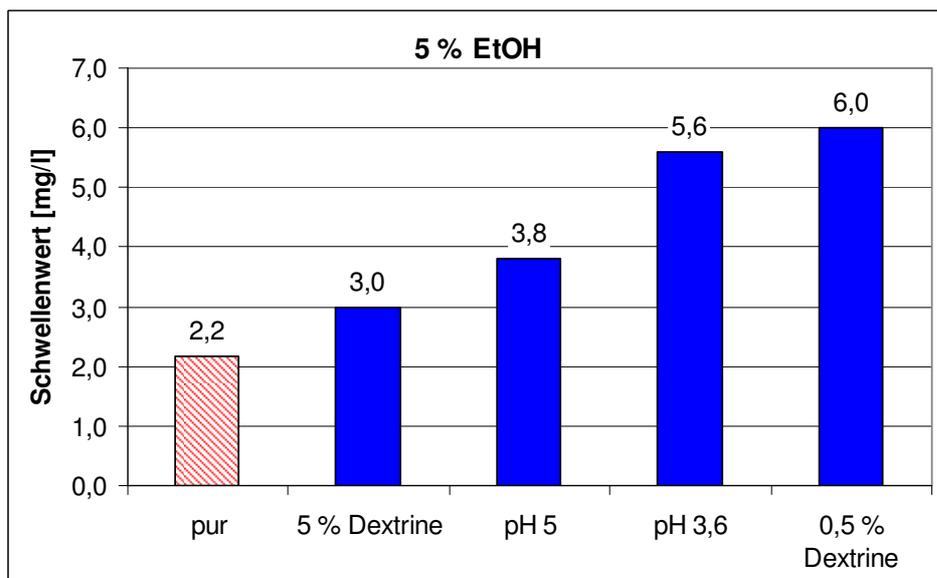


Abbildung 28: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in binären Lösungen mit 5,0 % Ethanol

### 4.1.3 Bier

Bier ist eine komplexe Mischung verschiedenster Substanzen, denen unterdrückende Eigenschaften auf Geruch und Geschmack zuerkannt werden [84]. Kohlendioxid, Ethanol, Bitterstoffe und der Restextrakt sind die Bestandteile, die den Biergeschmack am deutlichsten beeinflussen. Das ungehopfte Allmalzbier hatte eine Stammwürze von 11,2 GG%, einen Alkoholgehalt von 4,4 %vol, einen wirklichen Restextrakt von 3,9 GG% und einen pH-Wert von 4,5. Der Einzelschwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren in diesem ungehopften Bier liegt mit 6 mg/l ca. dreimal so hoch wie in Wasser. Dies bestätigt, dass das Bier ein Medium mit unterdrückenden Eigenschaften ist. Die hier gefundene Wahrnehmungsschwelle von 6 mg/l stimmt mit den in der Literatur zu findenden Angaben (6 bis 8 mg/l) überein [5, 84].

#### 4.1.3.1 pH-Einfluss

Eine Anhebung des pH-Wertes mit verdünnter NaOH auf 5,5 erbrachte gegenüber dem Vergleichsbier eine deutliche Abnahme des Schwellenwertes und somit eine entsprechende Verstärkung der Bittere. Dies bestätigt die Theorie von MEILGAARD [83] und BRENNER [94] wonach das Isohumulatanion die Geschmackszellen stärker reizen kann und

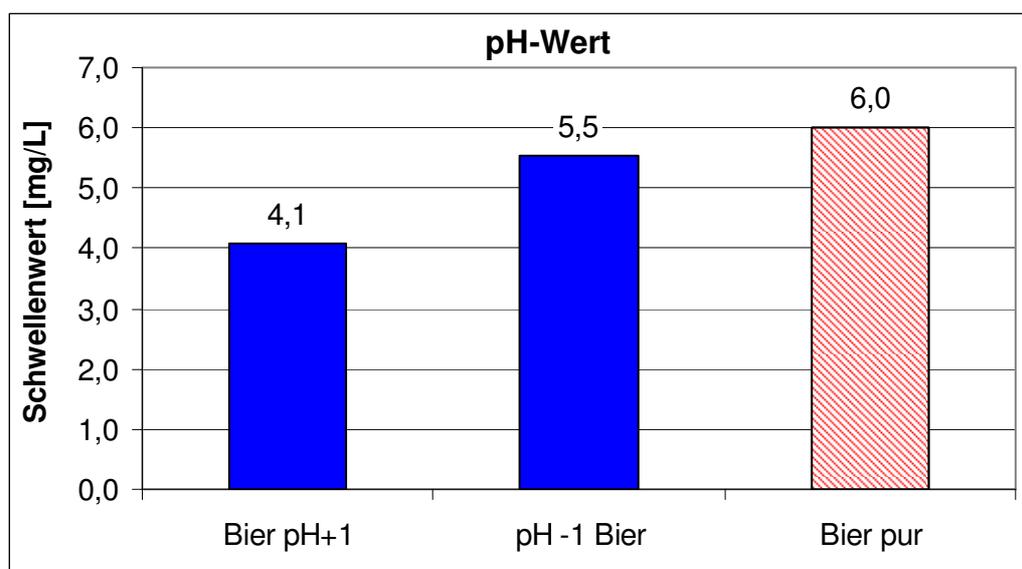


Abbildung 29: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des pH-Wertes

somit eine stärkere Bittere hervorruft. Es ist aber gegenüber den wässrigen Lösungen auffällig, dass beim Bier dieser Effekt deutlicher zu sehen ist. In den wässrigen Lösungen ergab ein pH-Wert von 5 keine Abweichung von dem Schwellenwert der Vergleichslösung. Auch zeigten die wässrigen Lösungen mit pH 3,6 (Mischung) keine deutlichen Abweichungen von der Vergleichsprobe. In Bier zeigt eine Absenkung um eine pH-Einheit eine nur leichte Abnahme des Schwellenwertes. Eventuell gibt es in der Restmatrix Substanzen, die durch die pH-Absenkung die Bitterwahrnehmung leicht verstärken. Abbildung 29 zeigt die graphische Darstellung der Schwellenwerte in Bieren mit unterschiedlichen pH-Werten. Eventuell kommt es durch die pH-Wertverschiebung zu einer Änderung im Kolloidgefüge des Bieres. SALAČ et al. schreiben, dass die Form in der die Bitterstoffe im Bier vorliegen von Bedeutung für die Bitterwahrnehmung sind, je nachdem ob sie frei oder kolloidal an Eiweiß-Gerbstoffkomplexe gebunden vorliegen [360]. KOLBACH schreibt den kolloidal gebundenen Bitterstoffen einen milderen Geschmackseindruck zu [361]. Laut BRENNER et al. [94] können leichte Änderungen im pH-Wert die Bitterqualität deutlich verändern. Auf Basis der vorliegenden Versuche kann dies bestätigt werden.

#### 4.1.3.2 Dextrine

Wie auch schon bei den monomeren wässrigen Mischungen beobachtet werden konnte, verstärkt die Zugabe einer relativ geringen Menge an Dextrinen die Bittere. Während in den monomeren Mischung (0,5 % Dextrine) der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren um ca. 10 % gegenüber der Vergleichslösung sank, reduzierte sich der Schwellenwert der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier durch die Addition von 2,5 % Dextrinen um fast 25 %. Es ist auf Basis des vorhandenen Wissens unklar, warum eine geringe Zugabe von Dextrinen die Bitterwahrnehmung ansteigen lässt.

Höher konzentrierte Dextrinlösungen zeigen dagegen eine deutliche Abmilderung der Bittere. Der relative Anstieg des Schwellenwertes in Bier ist geringer als der Anstieg bei der monomeren Mischung, was daran liegen könnte, dass auch antagonistisch wirkende Substanzen (u. a. Ethanol) in der Biermatrix vorhanden sind. In Abbildung 30 sind die Veränderungen der Schwellenwerte durch die Dextrinaddition dargestellt.

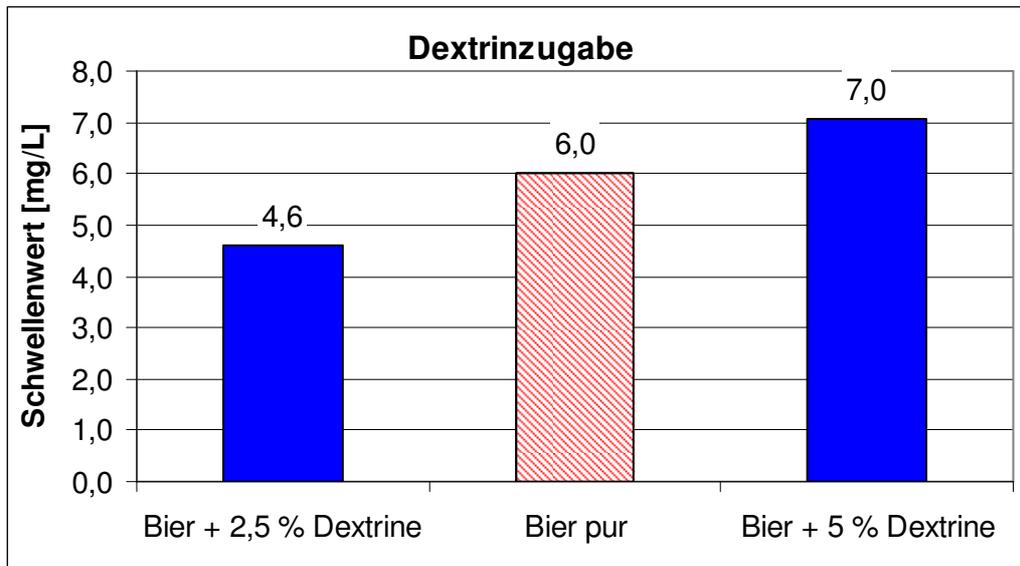


Abbildung 30: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des Dextringehaltes

#### 4.1.2.3 Ethanol

Eine leichte Erhöhung (+ 1 %vol) des Ethanolgehaltes eines Bieres wirkt sich nicht auf die Bitterwahrnehmung der iso- $\alpha$ -Säuren aus, wie aus Abbildung 31 hervorgeht. Bei der Verdoppelung der zugegebenen Menge Ethanol auf 2 %vol zeigt sich der unterdrückende Effekt von Ethanol, der auch von WEISS et al. [84] bereits beschrieben wurde. Im Bier wirkt sich der Anstieg des Ethanolgehaltes auf den relativen Anstieg des Schwellenwertes allerdings deutlicher aus als in den wässrigen Lösungen. Während eine Dosage von 2 %vol Ethanol den Schwellenwert in der monomeren Mischung um ca. 13 % ansteigen ließ, brachte eine Addition von 2 %vol zu Bier einen Anstieg des iso- $\alpha$ -Säuren-Schwellenwertes um 23 %. Dies ist wahrscheinlich auf die relativ zur Ethanolkonzentration reduzierte Dextrinmenge zurückzuführen, die in den wässrigen Lösungen antagonistisch zum Ethanol wirkte.

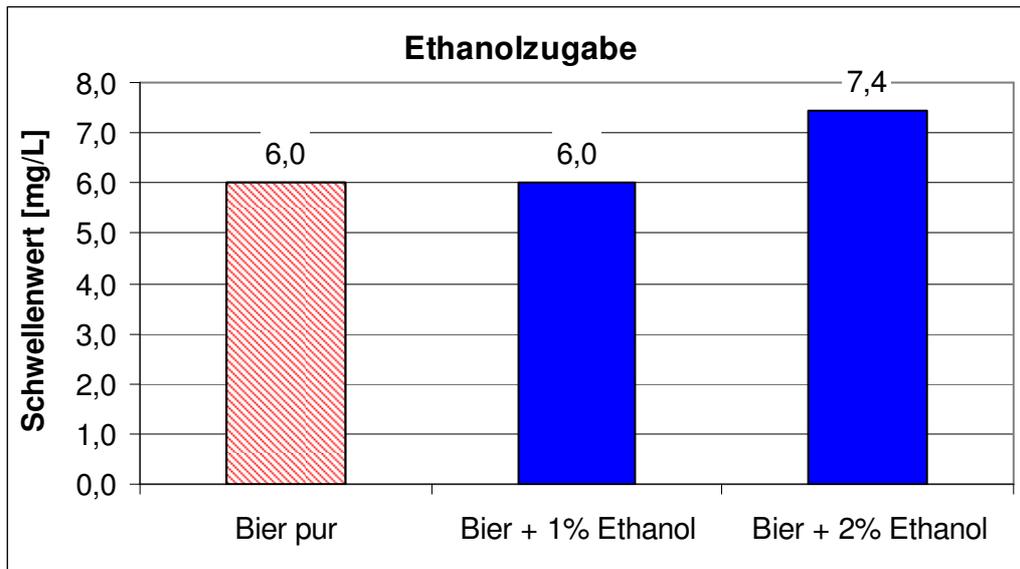


Abbildung 31: Schwellenwerte der iso- $\alpha$ -Säuren in Bier bei Variation des Ethanolgehaltes

#### 4.1.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden: Es konnte durch diese Versuche gezeigt werden, dass nicht flüchtige Geschmacksstoffe, wie organische Säuren, Dextrine, Ethanol, einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Wahrnehmung der Bittere der iso- $\alpha$ -Säuren in wässrigen Lösungen und Bier haben. In hohen Konzentrationen wirken Ethanol, aufgrund seines eigenen Bittergeschmackes, und Dextrine, wegen ihres leichten Süßgeschmackes, unterdrückend auf die Bitterwahrnehmung der iso- $\alpha$ -Säuren. Auch konnte gezeigt werden, dass Ethanol und organische Säuren in Kombination die Bitterschwellenwerte beeinflussen. Um die Bittere in Bier abzumildern, bedarf es höherer Restextraktkonzentrationen und eines optimalen pH-Wertes, der im Bereich 4,5 liegt. Die Veränderung des pH-Wertes um je eine Einheit nach oben und unten brachte jeweils eine Verstärkung der Bittere. Ein ausgeglichenes Ethanol/Dextrin-Verhältnis ist, wie aus den Versuchen mit binären Lösungen ersichtlich, notwendig, um eine harmonische Bitterwahrnehmung (auf Basis des Schwellenwertes) zu erhalten. Bei Ethanol und Dextrinen in ähnlichen Konzentrationen werden die deutlichen Eigenschaften der Dextrine und des Ethanols jeweils gemindert und die iso- $\alpha$ -Säuren-Bittere etwas abgemildert. Dies bestätigt die Bedeutung des Restextraktes und des Ethanols aus der Literatur [78, 90, 91, 84].

## **4.2 Kombinatorische Effekte von Aromastoffen**

### **4.2.1 Fruchtester**

Ester sind für den fruchtigen Charakter des Bieres verantwortlich [362]. Wie in Kapitel 4.5 gezeigt wird, kann durch die Gärtemperatur das Hopfenaroma beeinflusst werden. Da Hopfenaromastoffe und Ester ähnliche fruchtige Aromaeindrücke hervorrufen können, wurden ausgewählte Fruchtester auf kombinatorische Effekte innerhalb der Ester untersucht. Auch der Einfluss der Ester auf die Wahrnehmung von Hopfenaromastoffen wird in diesem Abschnitt untersucht.

#### *4.2.1.1 Apfelester*

Das Aromaprofil von Äpfeln ist durch sehr leichtflüchtige Inhaltsstoffe gekennzeichnet. In den Vordergrund treten vor allem die als „Grünnoten“ zusammengefassten Aldehyde Hexanal, E-2-Hexenal und Z-3-Hexenal sowie deren korrespondierende Alkohole. Aufgrund ihres grasigen, fruchtig-grünen, frischen Aromaeindrucks und aufgrund ihres ubiquitären Vorkommens in zerkleinertem grünen Pflanzenmaterial wird E-2-Hexenal auch als „Blätteraldehyd“ und Z-3-Hexenol als „Blätteralkohol“ bezeichnet [363]. Mit niedrigen Geruchsschwellen stellen neben Ethyl-2-methylbutanoat Hexanal und das apfeltypische E-2-Hexenal Impact-Verbindungen des Apfelaromas dar. Da Substanzen wie E-2-Hexenal nicht primär in den Apfelfrüchten vorliegen, sondern erst bei Zerkleinerung der Zellstrukturen unter Sauerstoffkontakt gebildet werden, zählen diese Komponenten zu den sog. sekundären Aromastoffen [363]. Ester stellen bei Äpfeln den qualitativ höchsten Anteil am Aroma. Wichtige Vertreter sind hierbei Ethylbutanoat, Ethyl-2-methylbutanoat, Butylacetat und Hexylacetat. Die Esterproduktion in Apfelfrüchten findet bevorzugt in der Schale der Äpfel statt. Zusätzlich spielt auch bei einer klimakterischen Frucht, wie dem Apfel, der richtige Ernte- und Verarbeitungszeitpunkt eine bedeutende Rolle [364]. Andere charakteristische Inhaltsstoffe des Apfelaromaprofils sind Alkohole, zu denen neben den mengenmäßig überwiegenden 1-Butanol und 1-Hexanol auch C8-Alkohole wie 1,3-Octandiol und 5-(Z)-Octen-1,3-diol zählen, die stark sortenabhängig in variablen Gehalten als sekundäre Aromastoffe gebildet werden [365].

In Tabelle 29 sind die Einzelschwellenwerte der Verbindungen sowie die Schwellenwerte der verschiedenen Mischungen dargestellt und der prozentuale Anteil der Substanzen an der Aromastoffkonzentration angegeben. Weiterhin ist die Höhe der Konzentration im Verhältnis zum Einzelschwellenwert in Prozent ausgedrückt. Ein Wert von 29 % bedeutet hier, dass die Konzentration dieser Substanz bei der Schwellenwertkonzentration 29 % des Einzelschwellenwertes beträgt. Aus Tabelle 29 ist ersichtlich, dass eine sehr geringe

**Tabelle 29: Schwellenwerte von Ethylbutyrat, Ethyl-2-methylbutyrat, Butylacetat und Hexylacetat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung**

Substanz/Substanzmischung	Schwellenwert [ $\mu\text{g/l}$ ]	prozentualer Anteil der Einzelsubstanzen in der Untersuchungslösung [%]				prozentuale Konzentration bei Schwellenwertkonzentration bezogen auf den Einzelschwellenwert			
		Ethylbutyrat	Ethyl-2-methylbutyrat	Butylacetat	Hexylacetat	Ethylbutyrat	Ethyl-2-methylbutyrat	Butylacetat	Hexylacetat
Ethylbutyrat	2,0	100							
Ethyl-2-methylbutyrat	0,3		100						
Butylacetat	19,7			100					
Hexylacetat	57,3				100				
Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat	0,6	89,6	10,4			29,0	20,5		
Ethylbutyrat + Butylacetat	2,6	13,0		87,0		17,2		11,7	
Ethylbutyrat + Hexylacetat	13,6	4,8			95,2	32,3			22,6
Ethyl-2-methylbutyrat + Butylacetat	5,1		1,7	98,3			26,5	25,4	
Ethyl-2-methylbutyrat + Hexylacetat	7,5		0,6		99,4		13,3		13,1
Butylacetat + Hexylacetat	31,2			25,0	75,0			39,6	40,9
Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat + Butylacetat	4,1	12,8	1,5	85,7		26,5	18,8	18,0	
Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat + Hexylacetat	5,1	4,7	0,6		94,7	12,0	8,5		8,4
Ethyl-2-methylbutyrat + Butylacetat + Hexylacetat	11,6		0,4	24,9	74,7		15,4	14,7	15,2
Ethylbutyrat + Butylacetat + Hexylacetat	4,9	3,6		24,1	72,3	8,9		6,0	6,2
Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat + Butylacetat + Hexylacetat	5,0	3,6	0,4	24,0	72,0	8,9	6,3	6,0	6,2

Beimischung eines zusätzlichen Aromastoffes, wie Ethyl-2-methylbutyrat bei der Mischung aus diesem Aromastoff mit Hexylacetat einen großen Effekt auf die Wahrnehmungsschwelle hat. Die geringe Ethyl-2-methylbutyratbeimischung hat in der Mischung zur Folge, dass diese in einer Konzentration wahrgenommen wird, bei der beide Komponenten weit unter dem jeweiligen Einzelschwellenwert sind. Die Kombinationen aus zwei Aromastoffen rochen alle fruchtig und zum Teil deutlich nach Apfel. Auch alle Dreierkombinationen zeigten deutliche apfelartige und fruchtige Aromaeindrücke. Am intensivsten wurde das Apfelaroma bei der Kombination aller vier Ester wahrgenommen. Daraus folgend sind Butylacetat und Hexylacetat als wichtige Aromastoffe für das Apfelaroma. Ethylbutyrat und Ethyl-2-methylbutyrat sind verantwortlich für ein fruchtiges, estriges Aroma und tragen zum charakteristischen Apfelaroma sowie dessen Aromaintensität bei. Die fruchtige Note im Apfelaroma wird mehr von Ethylestern verursacht, da diese geruchsaktiver sind als die Acetatester [271].

#### 4.2.1.2 Bananenester

Das Aromaprofil der Banane unterscheidet sich je nach geographischer Herkunft (z. B. Martinique, Kanarische Inseln und Elfenbeinküste) und der Art der Bananen. Innerhalb der zahlreichen flüchtigen Bestandteile wurden zwölf wichtige Verbindungen (2 Alkohole, 9 Ester und 1 Phenol) im Bananenaroma ermittelt [366]. Bei der Banane ist Isopentylacetat (Isoamylacetat) der charakteristische Aromastoff. Daneben haben auch einige Ester (z. B. Pentanol mit Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure) ein typisches Bananenaroma, während Ester des Butanols und Hexanols mit Essigsäure und Buttersäure als allgemein fruchtig empfunden werden. Einen wichtigen Beitrag zum vollen, milden Aroma leisten auch Eugenol, o-Methyleugenol und Elemicin [271].

In Tabelle 30 sind, analog zu den Ergebnissen der Apfelester, die Schwellenwerte für die Einzelsubstanzen sowie die Mischungen dargestellt. Im Wesentlichen bestätigen sich hier die Ergebnisse der Apfelester. Durch Zumischung einer weiteren Komponente sinkt die Wahrnehmungsschwelle der Mischung ab. Wie bei den Apfelestern sind in der Mischung die prozentualen Konzentrationen bezogen auf die Schwellenwerte der Einzelkomponenten gleich. In der Viererkombination liegen beim Schwellenwert alle

Verbindungen in einer Konzentration vor, die ca. 10 % des Einzelschwellenwertes beträgt. Es zeigt sich auch bei den Bananen- und Apfelestern, dass die absoluten Konzentrationen sich zwar zum Teil sehr deutlich unterscheiden, aber die auf den Einzelschwellenwert bezogene Konzentration bei den Substanzen in derselben Mischung auf einem ähnlichen Niveau liegen. Es zeigte sich deutlich dass Isoamylacetat ein bananenartiges Aroma aufweist. Butylacetat wurde zwar für das allgemeine Apfelaroma identifiziert, aber BOUDHRIOUA et al. und JORDAN et al. konnten Butylacetat im Bananenaroma und in einer Bananenessenz identifizieren [366, 367]. Butylacetat, Butylbutyrat und Isoamylisobutyrat

**Tabelle 30: Schwellenwerte von Butylbutyrat, Isoamylisobutyrat, Isoamylacetat und Butylacetat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung**

Substanz/Substanzmischung	Schwellenwert [ $\mu\text{g/l}$ ]	prozentualer Anteil der Einzelsubstanzen in der Untersuchungslösung [%]				prozentuale Konzentration bei Schwellenwertkonzentration bezogen auf den Einzelschwellenwert			
		Butylbutyrat	Isoamylisobutyrat	Isoamylacetat	Butylacetat	Butylbutyrat	Isoamylisobutyrat	Isoamylacetat	Butylacetat
Butylbutyrat	406,1	100							
Isoamylisobutyrat	29,7		100						
Isoamylacetat	62,5			100					
Butylacetat	19,7				100				
Butylbutyrat + Isoamylisobutyrat	60,3	93,0	7,0			13,8	14,2		
Butylbutyrat + Isoamylacetat	204,9	87,0		13,0		43,9		42,8	
Butylbutyrat + Butylacetat	85,3	95,2			4,8	20,0			20,6
Isoamylisobutyrat + Isoamylacetat	8,0		33,3	66,7			8,9	8,5	
Isoamylisobutyrat + Butylacetat	28,1		60,0		40,0		56,6		57,0
Isoamylacetat + Butylacetat	14,1			75,0	25,0			17,0	17,9
Butylbutyrat + Isoamylisobutyrat + Isoamylacetat	122,5	81,6	6,1	12,2		24,6	25,2	24,0	
Butylbutyrat + Isoamylisobutyrat + Butylacetat	79,5	88,9	6,7		4,4	17,4	17,8		17,9
Isoamylisobutyrat + Isoamylacetat + Butylacetat	13,8		27,3	54,5	18,2		12,6	12,0	12,7
Butylbutyrat + Isoamylacetat + Butylacetat	30,0	83,3		12,5	4,2	6,2		6,0	6,3
Butylbutyrat + Isoamylisobutyrat + Isoamylacetat + Butylacetat	51,8	78,4	5,9	11,8	3,9	10,0	10,2	9,7	10,3

sind für ein fruchtiges, estriges Aroma verantwortlich und tragen zum charakteristischen Bananenaroma bei. Bei den Zweierkombinationen ist ein bananenartiges Aroma zum Teil nicht so gut erkennbar. Die meisten Zweierkombinationen weisen erst dann ein bananenartiges Aroma auf, wenn Isoamylacetat der Mischung zugesetzt wurde.

Aus diesen Versuchen ist ersichtlich, dass Isoamylacetat ein Schlüsselaromastoff für das Bananenaroma ist, ohne Isoamylacetat ist in den Kombinationen ein bananenartiges Aroma schwer zu identifizieren. Bei Dreierkombinationen und Viererkombination war das Bananenaroma jeweils deutlicher ausgeprägt.

#### 4.2.1.3 Orangenester

Zu den charakteristischen Aromastoffen des Orangenaromaprofils zählen neben Terpenen und Terpenalkoholen vor allem aliphatische Aldehyde der Reihe von Hexanal bis Dodecanal sowie die erstmals 1965 identifizierte Verbindung  $\beta$ -Sinensal. Aber auch Fruchttester (Ethylbutanoat, Ethyl-2-methylbutanoat, Ethyl-2-methylpropanoat, Ethylhexanoat, Ethyl-3-hydroxyhexanoat) und Alkohole (1-Hexanol, Z-3-Hexenol, 1-Octanol) runden das Aroma ab. [368, 369, 370]

(S)-Ethyl-2-methylbutanoat, Ethylbutanoat, Z-3-Hexenal und Ethyl-2-methylpropanoat sind nach BÜTTNER und SCHIEBERLE [371] die aromaintensivsten Verbindungen.

Auch hier bestätigen die Ergebnisse (s. Tabelle 31) die Beobachtungen, die bereits bei Apfel- und Bananenestern getätigt wurden. Durch den im Vergleich zu den anderen drei Substanzen sehr hohen Schwellenwert von Ethyl-3-hydroxyhexanoat werden hier die Effekte durch, prozentual gesehen, minimalste Beimischung anderer Komponenten sehr deutlich. So lässt zum Beispiel die Beimischung von 0,02 % (bezogen auf die Gesamtaromastoffkonzentration) den Schwellenwert soweit absinken, dass die beteiligten Substanzen bei der Wahrnehmungsschwelle in einer Konzentration vorliegen, die ca. 7 % ihres Einzelschwellenwertes entspricht.

Die sensorische Ausprägung des Aromaprofils ist bei allen Kombinationen meist apfel- und ananasartig. Dies ist dahingehend erklärbar, da Ethyl-3-hydroxyhexanoat und Ethyl-2-methylbutyrat auch in Ananas vorkommen und für deren Aroma mitverantwortlich sind [372]. Ethylhexanoat und Ethylbutyrat wurden in frischen geschnittenen Ananasfrüchten

gefunden und sind somit auch für den ananasartigen Eindruck verantwortlich [373]. Außerdem sind Ethylbutyrat und Ethyl-2-methylbutyrat auch wichtige Vertreter des Apfelaromas [364]. Bei steigenden Ethylbutyratkonzentrationen wurden von einigen Prüfpersonen „ananasartige“ Aromen wahrgenommen. Bei den Zweierkombinationen und Dreierkombinationen, denen Ethylbutyrat zugesetzt wurde, riechen die Proben nach Erdbeere sowie grün-grasig und beerenartig. Der Grund hierfür ist, dass Ethylbutyrat ebenfalls im Erdbeeraroma vorkommt. Laut SCHIEBERLE wurde auch Butylacetat in frischem und in erhitztem Erdbeersaft gefunden, wo dieser Ester zu einem fruchtigen grünen Aroma im Erdbeersaft beiträgt [271].

Bei diesen Untersuchungen zu kombinatorischen Effekten zeigt sich, dass je mehr Fruchtester einer Kombination zugesetzt wurden, desto ausgeprägter war ein bestimmtes Aroma. Bei den Orangenestern wurde ein Zitrusaroma erst bei der Viererkombination identifiziert, somit sind diese vier Orangenfruchtester (Ethyl-2-methylbutyrat, Ethylbutyrat, Ethylhexanoat, Ethyl-3-hydroxyhexanoat) Schlüsselaromastoffe der Estergruppe („character impact compounds“) für das Orangenaroma. Durch alle Ergebnisse zeigt sich, dass die kombinatorischen Effekte von jedem Fruchtester unterschiedlich sind. Jede Kombination hat verschiedene synergistische bzw. additive Effekte und somit Einfluss auf den Aromaeindruck. Der Geruchsschwellenwert einer Kombination ist immer niedriger als die Summe einzelner Geruchsschwellenwerte von den Fruchtestern. Diese Ergebnisse stimmen mit der Aussage von SCHIEBERLE et al. überein [271], dass bei Komponenten mit ähnlichen Aromanoten sich die Intensitäten addieren, doch ist die Intensität der Mischung meist geringer als die Summe der Einzelintensitäten. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Aromaprofile von Fruchtsäften bzw. Lebensmitteln, die dieselben Aromastoffe enthalten, schon aufgrund quantitativer Unterschiede völlig verschieden sein können. Änderungen, z. B. in der Rezeptur oder im Herstellungsverfahren, die zu Konzentrationsverschiebungen bei den Aromastoffen führen, können die Balance stören, so dass ein Aromaprofil mit ungewohnten Ausprägungen resultiert. Bei den Dreierkombinationen und Viererkombinationen zeigt sich ein deutlich apfelartiges Aroma, obwohl diese Kombinationen sehr niedrige Geruchsschwellenwerte haben. Es scheint, dass je mehr Fruchtester in einer Kombination sind, desto intensiver ist das Fruchtaroma. Die Ergebnisse der Esterkombinationen sind konform mit denen von REDDY et al. [56], die ebenso ein fruchtiges Aroma von Estern bei Konzentrationen unter dem jeweiligen

Einzelschwellenwert wahrnehmen konnten. In der Mischung hängt der Schwellenwert der Mischung von der Anzahl der Einzelkomponenten ab, wie auch schon STEVENS [59] schrieb.

**Tabelle 31: Schwellenwerte von Ethylhexanoat, Ethyl-3-hydroxyhexanoat, Ethylbutyrat und Ethyl-2-methylbutyrat als Einzelsubstanzen und in Mischung in wässriger Lösung**

Substanz/Substanzmischung	Schwellenwert [ $\mu\text{g/l}$ ]	prozentualer Anteil der Einzelsubstanzen in der Untersuchungslösung [%]				prozentuale Konzentration bei Schwellenwertkonzentration bezogen auf den Einzelschwellenwert			
		Ethylhexanoat	Ethyl-3-hydroxyhexanoat	Ethylbutyrat	Ethyl-2-methylbutyrat	Ethylhexanoat	Ethyl-3-hydroxyhexanoat	Ethylbutyrat	Ethyl-2-methylbutyrat
Ethylhexanoat	1,5	100							
Ethyl-3-hydroxyhexanoat	2244,9		100						
Ethylbutyrat	2,0			100					
Ethyl-2-methylbutyrat	0,4				100				
Ethylhexanoat + Ethyl-3-hydroxyhexanoat	396,3	0,07	99,93			17,8	17,6		
Ethylhexanoat + Ethylbutyrat	1,6	34,07		65,93		35,6		53,1	
Ethylhexanoat + Ethyl-2-methylbutyrat	0,4	81,58			18,42	21,9			21,5
Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethylbutyrat	718,3		99,87	0,13			32,0	48,0	
Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethyl-2-methylbutyrat	172,4		99,98		0,02		7,7		7,6
Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat	0,6			89,55	10,45			29,0	19,1
Ethylhexanoat + Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethylbutyrat	130,9	0,07	99,80	0,13		5,9	5,8	8,7	
Ethylhexanoat + Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethyl-2-methylbutyrat	300,4	0,07	99,92		0,02	13,5	13,4		13,3
Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat	227,8		99,85	0,13	0,02		10,1	15,2	10,1
Ethylhexanoat + Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat	0,5	31,63		61,22	7,14	10,6		15,9	10,5
Ethylhexanoat + Ethyl-3-hydroxyhexanoat + Ethylbutyrat + Ethyl-2-methylbutyrat	198,4	0,07	99,78	0,13	0,02	8,9	8,8	13,3	8,8

## 4.2.2 Hopfenaromastoffe

Die in Tabelle 32 dargestellten Schwellenwerte für einige Hopfenaromastoffe und 2-Phenylethanol wurden in einem handelsüblichen, hellen Vollbier bestimmt. Aufgrund dieser Matrix kann es zu erheblichen Veränderungen in der Wahrnehmung kommen, wodurch Abweichungen zu den Literaturwerten erklärt werden können. Aufgrund dieser Einzelschwellenwerte ist zu sehen, dass von den untersuchten Hopfenaromastoffen einzig Linalool in einem hopfenaromatischen Bier über dem Schwellenwert liegt und somit direkt zum Aroma beitragen kann. Der ermittelte Schwellenwert bestätigt die Aussage von KALTNER [128], dass ab ca. 20 µg/l ein Hopfenaroma im Bier wahrgenommen werden kann.

**Tabelle 32: Schwellenwerte ausgesuchter Hopfenaromastoffe und 2-Phenylethanol in Bier**

Substanz	Schwellenwert	Literaturwerte [µg/l]	Quellen
Linalool	27,1 µg/l	5; 27; 80; 100	[374, 128, 276, 272]
Geraniol	89,9 µg/l	10; 29; 36; 70-300	[374, 5, 272, 273]
Nerol	1206,0 µg/l	500	[276]
α-Terpineol	1075,6 µg/l	2000	[276]
β-Caryophyllen	239,4 µg/l	450	[268]
Myrcen	118,8 µg/l	10, 30; 1000	[374, 267, 266]
Humulen	3483,2 µg/l	800	[268]
Farnesen	2020,4 µg/l	-	-
2-Phenylalkohol	45,9 mg/l	40; 50; 125 mg/l	[62, 374, 276]

Mischungen von Hopfenaromastoffen verhalten sich anders als die bereits beschriebenen Fruchttermischungen. In Tabelle 33 sind die untersuchten Mischungen und deren Mischungsschwellenwerte aufgelistet. Ebenso sind die prozentualen Anteile des jeweiligen Aromastoffes sowie die auf den Einzelschwellenwert bezogene prozentuale Konzentration am Schwellenwert der Mischung angegeben. Ein Wert von 27 % bedeutet hier, dass diese Substanz am Schwellenwert der Mischung in einer Konzentration vorliegt, die 27 % ihres Einzelschwellenwertes beträgt. Ein Wert über 100 % sagt aus, dass diese Substanz in einer höheren Konzentration als der Einzelschwellenwert vorliegt. In dieser Tabelle ist zu erkennen, dass es keine pauschale jeweilige Verstärkung der Aromastoffe gibt. Einerseits führt eine 8%ige Zumischung von Linalool zu Farnesen dazu, dass der Mischungsschwellenwert bei weniger als 500 µg/l liegt, was einer Reduktion von fast 80 % gegenüber dem Einzelschwellenwert von Farnesen entspricht. Gleichzeitig wird aber

Linalool leicht unterdrückt. Es gibt viele Mischungen bei denen ein Aromastoff in der Mischung am Schwellenwert in einer Konzentration vorliegt, die über dem Einzelschwellenwert liegt und die andere Komponente verstärkt wird. Nerol ist beispielsweise ein Aromastoff, welcher häufig verstärkt wird. In Kombination mit  $\beta$ -Caryophyllen und Humulen ergibt es einen kombinatorischen Effekt, so dass die Mischung intensiver wahrgenommen wird. Andere Mischungen, wie z. B. Humulen +  $\beta$ -Caryophyllen,  $\alpha$ -Terpineol +  $\beta$ -Caryophyllen sowie  $\alpha$ -Terpineol + Humulen zeigen einen Trend zur gegenseitigen Unterdrückung auf.

**Tabelle 33: Schwellenwerte ausgesuchter Hopfenaromastoffmischungen in Bier**

	Schwellenwert [ $\mu\text{g/l}$ ]	prozentualer Anteil an Aromastoffmischung							prozentuale Konzentration bei Schwellenwertkonzentration bezogen auf den Einzelschwellenwert						
		Linalool	Geraniol	Nerol	Terpineol	Caryophyllen	Humulen	Farnesen	Linalool	Geraniol	Nerol	Terpineol	Caryophyllen	Humulen	Farnesen
Geraniol + Farnesen	2304,6		22,3					77,7		570,8					88,7
Humulen + $\beta$ -Caryophyllen	4346,2					7,8	92,2						140,7	115,1	
Linalool + Farnesen	493,0	8,6						91,4	155,6						22,3
Linalool + Geraniol	133,1	23,7	76,3						116,2	113,1					
Linalool + Geraniol 1:1	103,9	44,3	55,7						169,7	64,5					
Nerol + $\beta$ -Caryophyllen	146,5			54,5		45,5					6,6		27,8		
Nerol + Humulen	1843,3			6,5			93,5				9,9			49,5	
Nerol + Terpeneol	2699,1			13,5	86,5						30,2	217,0			
Terpineol + $\beta$ -Caryophyllen	1297,0				84,0	16,0						101,3	86,6		
Terpineol + Humulen	5667,9				30,7		69,3					161,8		112,7	

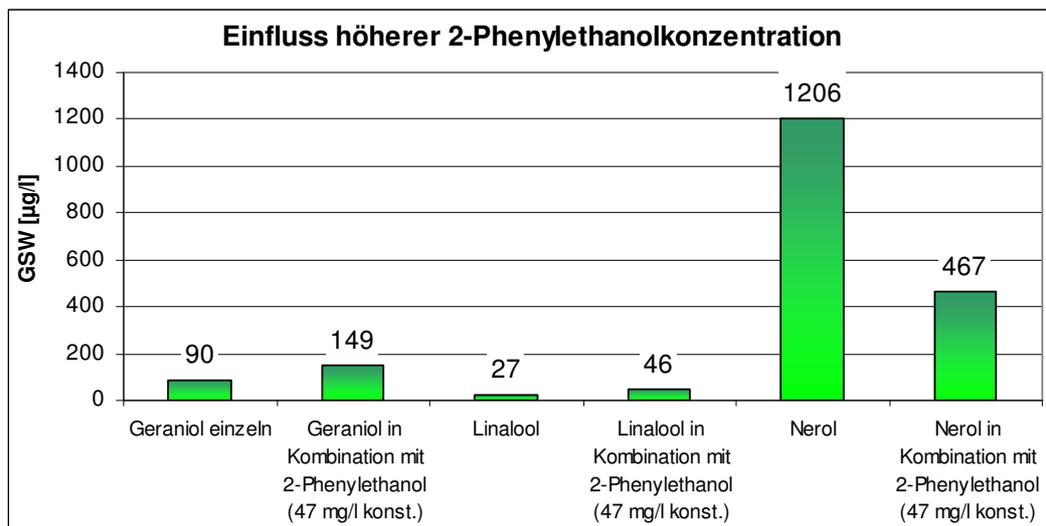
Die Verschiebung der jeweiligen Anteile innerhalb der Aromastoffmischung kann auch wahrnehmungsbeeinflussende Wirkung haben. Die Änderung des Verhältnisses von Linalool und Geraniol von 1:3 auf äquivalente Anteile führte zu einer Verringerung des Mischungsschwellenwertes um 30 µg/l. Linalool ist die aromaintensivere Verbindung, wie aus den Einzelversuchen hervorgeht und daher verstärkt die Verschiebung des Mischungsverhältnisses zur stärkeren Verbindung hin die Wahrnehmung der Mischung. Diese Ergebnisse zeigen, dass nicht alle Aromastoffe, die miteinander kombiniert werden, schwellenwertsenkende Effekte haben. Auch die Kombination strukturell ähnlicher Verbindungen führte nicht immer zu einer Verstärkung. Das sensorisch wahrnehmbare Hopfenaroma wird auf Basis dieser Versuche maßgeblich durch Linalool beeinflusst, da diese Verbindung über dem Schwellenwert liegen kann. Die Konzentrationen der anderen Substanzen und das relative Verhältnis dieser zueinander ergeben die unterschiedlichen Ausprägungen des Hopfenaromas.

### **4.2.3 Einfluss von Bieraromastoffen auf die Wahrnehmung von positiven und negativen Aromastoffen**

#### *4.2.3.1 Beeinflussung von Hopfenaromastoffen durch Bieraromastoffe*

In Abschnitt 4.5.1 konnte gezeigt werden, dass die Gärtemperatur einen Einfluss auf die Wahrnehmung des Hopfenaromas hat. Mit steigender Gärtemperatur (von 8 °C auf 12 °C) verringerte sich zwar die Linaloolkonzentration aber die Intensität des sensorisch wahrgenommenen Hopfenaromas stieg an. Ob hierfür kombinatorische Effekte zwischen Hopfenaromastoffen und Gärungsnebenprodukten verantwortlich sind, sollte in diesen Versuchen untersucht werden. Abbildung 32 zeigt die Wirkung einer höheren 2-Phenylethanolkonzentration auf die Schwellenwerte von Linalool, Geraniol und Nerol. Das Vergleichsbier enthielt 17 mg/l 2-Phenylethanol und dem Testbier wurden 30 mg/l zudosiert. 2-Phenylethanol ist ein Indikator für die Gärintensität und wird hauptsächlich durch die Gärtemperatur beeinflusst [375], aber auch Belüftung und Würzeausstattung spielen eine Rolle bei der 2-Phenylethanolbildung während der Gärung [376, 375]. Bei höheren 2-Phenylethanolgehalten wird die Wahrnehmung von Linalool und Geraniol

unterdrückt, während Nerol deutlich verstärkt wird. Dieses Ergebnis zeigt, dass es zwischen 2-Phenylethanol und Linalool keine Verstärkung gibt. Ebenso wie 2-Phenylethanol wurde Ethylacetat (Anhebung um 10 mg/l) und Isoamylacetat (Anhebung um 2 mg/l) auf deren Einfluss auf die Schwellenwerte von Linalool und Geraniol untersucht. Eine Erhöhung des Ethylacetatgehaltes und des Isoamylacetatgehaltes erhöhte jeweils deutlich den Schellenwert von Linalool, während Geraniol kaum verändert bzw. leicht verstärkt wurde. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen das Verhalten der beiden Hopfenaromastoffe bei Anhebung der Ethylacetat- bzw. der Isoamylacetatkonzentration. Aufgrund dieser Ergebnisse mit den beiden Haupthopfenaromastoffen und drei Vertretern der Gärungsnebenprodukte, kann nicht auf eine allgemeine Verstärkung des Aromas durch Gärungsnebenprodukte geschlossen werden. Einerseits ist die höhere Intensität des Hopfenaromas bei höherer Gärtemperatur somit mit der Verstärkung solcher Aromastoffe wie Nerol und (wenn auch gering) Geraniol zu erklären. Andererseits haben wärmer vergorene Biere ein allgemein fruchtigeres Aromaprofil, da bei der wärmeren Gärung mehr Fruchtester entstehen [377], die sich gegenseitig beeinflussen können. Diese können sich gegenseitig verstärken, so dass das intensivere Hopfenaroma wahrscheinlich durch die intensivere Esterwahrnehmung resultiert und weniger durch die Hopfenaromastoffe.



**Abbildung 32: Einfluss höherer 2-Phenylethanolkonzentrationen auf den Schwellenwert von Nerol, Geraniol und Linalool in Bier**

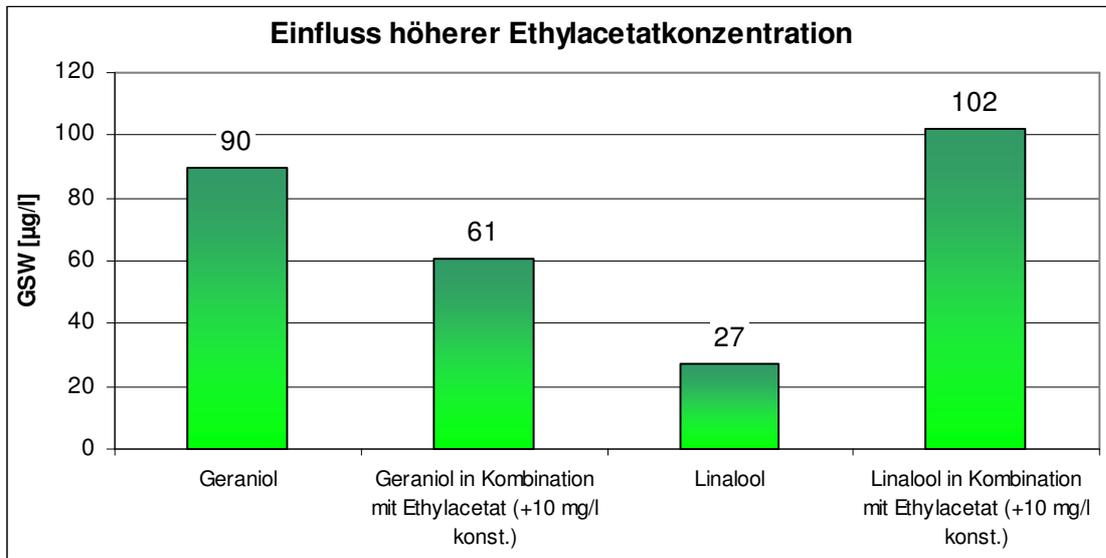


Abbildung 33: Einfluss höherer Ethylacetatkonzentrationen auf den Schwellenwert von Geraniol und Linalool in Bier

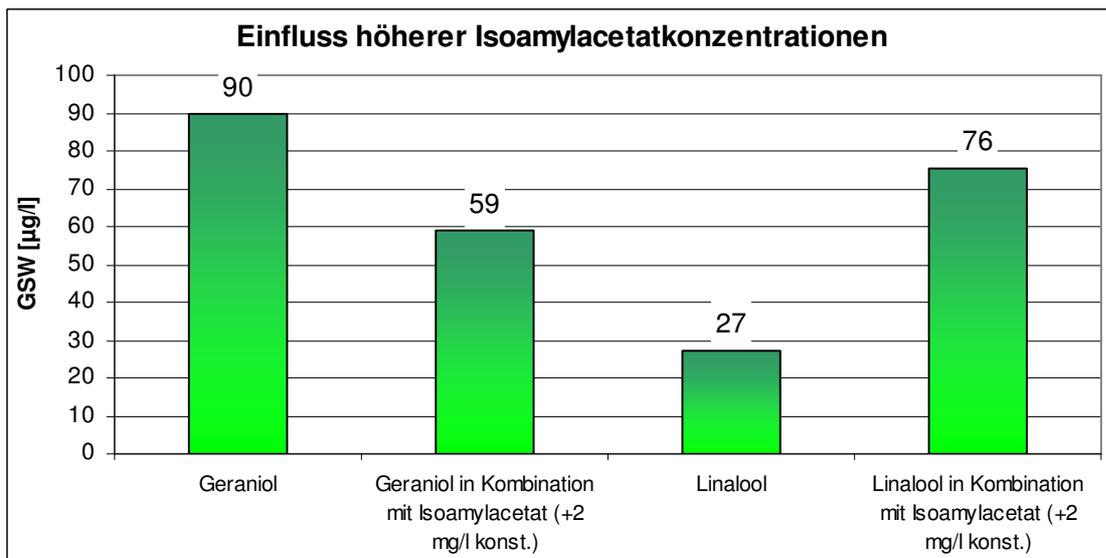


Abbildung 34: Einfluss höherer Isoamylacetatkonzentrationen auf den Schwellenwert von Geraniol und Linalool in Bier

#### 4.2.3.2 Beeinflussung des Fehlromas Diacetyl

Diacetyl ist eines der häufigsten Fehlparomen und entsteht wenn, die Hefe und/oder das Substrat verschiedene Defizite in Viabilität, Vitalität oder Nährstoffzusammensetzung aufweisen [80]. Daher war es von Interesse, ob dieser Aromastoff durch andere positive Aromastoffe unterdrückt werden kann.

Der für Diacetyl in Bier ermittelte Schwellenwert von 0,08 mg/l ist mit den in der Literatur zu findenden Werten konform [276, 5]. Bei einer Erhöhung des Linaloolgehaltes um 15 µg/l (Testbier originär: 7 µg/l) auf eine Konzentration knapp unter dem Schwellenwert des Linalools, zeigt sich eine unterdrückende Wirkung des Linalools auf Diacetyl. Bei einer weiteren Erhöhung der Linaloolkonzentration verschwindet dieser unterdrückende Effekt. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei Bieren mit einem ausgeprägten Hopfenaroma die Reifung weitgehender ablaufen muss, um den Diacetylgehalt deutlich zu reduzieren. Diacetylwerte, die bei 0,06 bis 0,08 mg/l liegen, sind hier eventuell nicht ausreichend und können das typische Diacetylparoma im Bier hervorrufen.

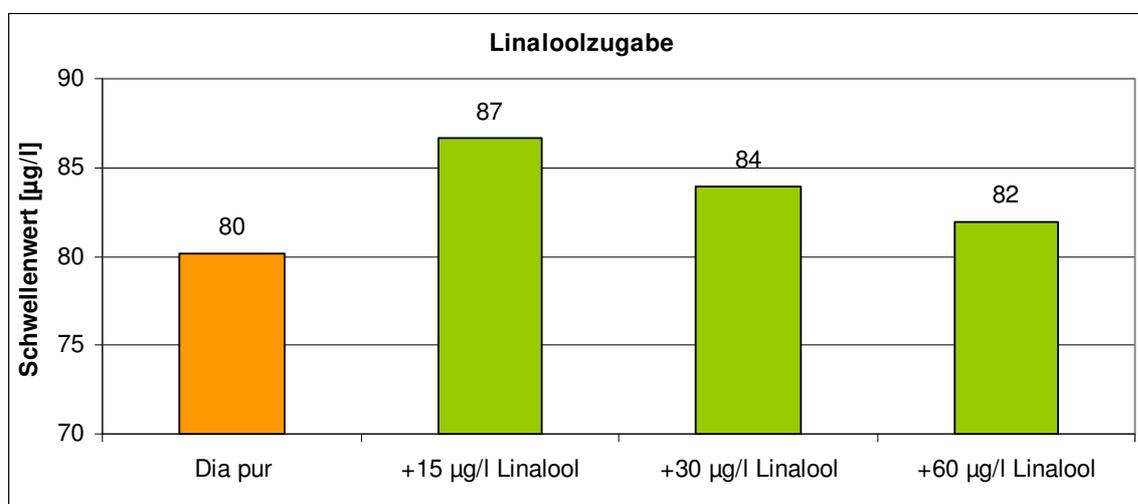


Abbildung 35: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von Diacetyl

Durch die Zugabe von Isoamylacetat (s. Abb. 36) konnte die Wahrnehmung von Diacetyl unterdrückt werden. Ethylacetat zeigte keinen deutlichen Effekt (s. Abbildung 37). Bei einer geringen Zudosage von Ethylacetat wurde die Diacetylparnehmung verstärkt, wohingegen bei der höheren Dosagestufe dieser Effekt wieder aufgehoben wurde. Es zeigt

sich somit, dass über die Wahl der Gärtemperatur und des Hefestammes aufgrund des geänderten Esterprofils die Diacetyl Wahrnehmung deutlich beeinflusst werden kann.

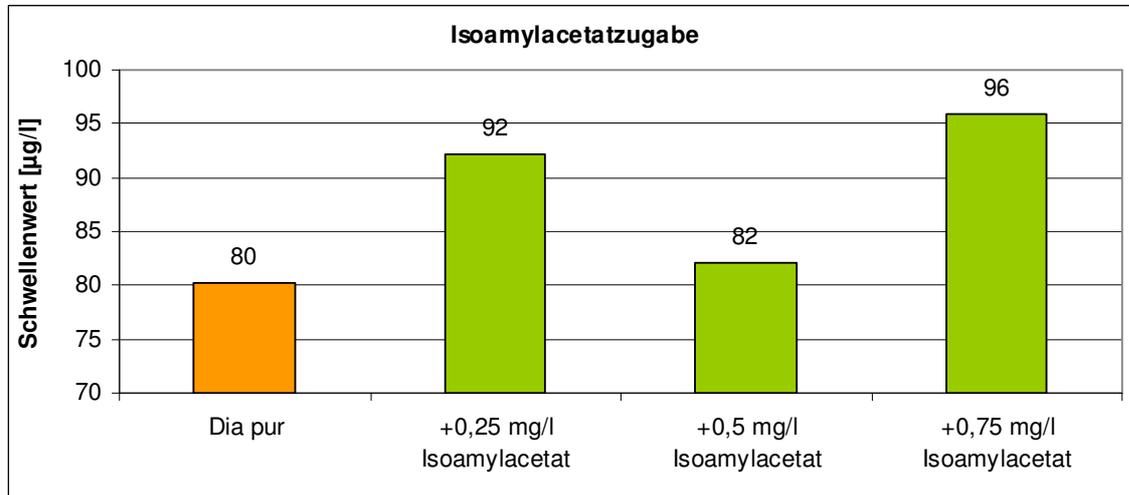


Abbildung 36: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von Diacetyl

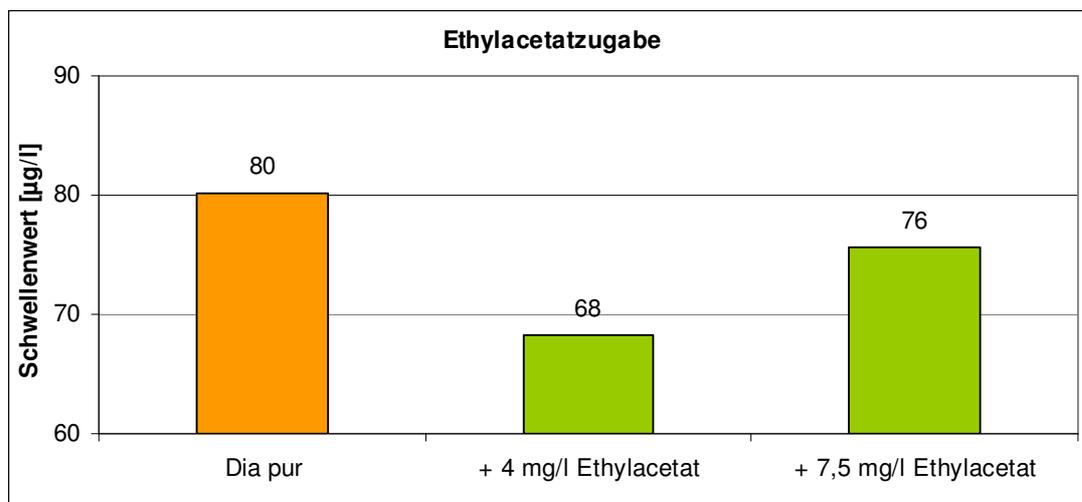


Abbildung 37: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von Diacetyl

#### 4.2.3.3 Beeinflussung des Fehlromas DMS

Dimethylsulfid (DMS) ist ein Fehlroma, welches v. a. durch den Kochprozess beeinflusst wird. Der Schwellenwert wurde mit 130  $\mu\text{g/l}$  ermittelt und ist gegenüber den Literaturwerten etwas erhöht [80, 276]. Hier wurde durch eine Linaloolzugabe die Aromawahrnehmung in gleicher Weise beeinflusst wie beim Diacetyl (s. Abb. 38). Allerdings verstärkte eine Linalooladdition von 60  $\mu\text{g/l}$  die DMS-Wahrnehmung, wohingegen bei Diacetyl nur eine

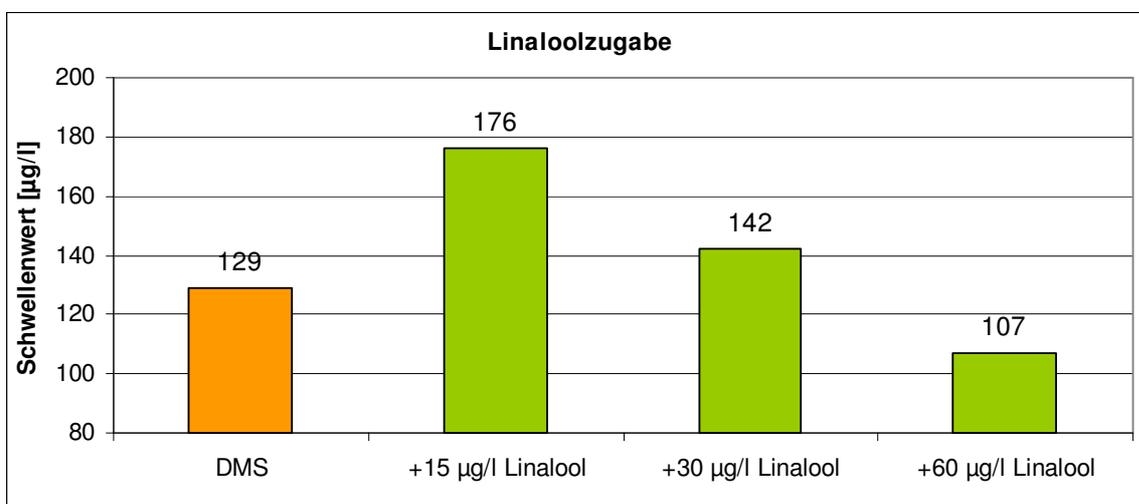


Abbildung 38: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von DMS

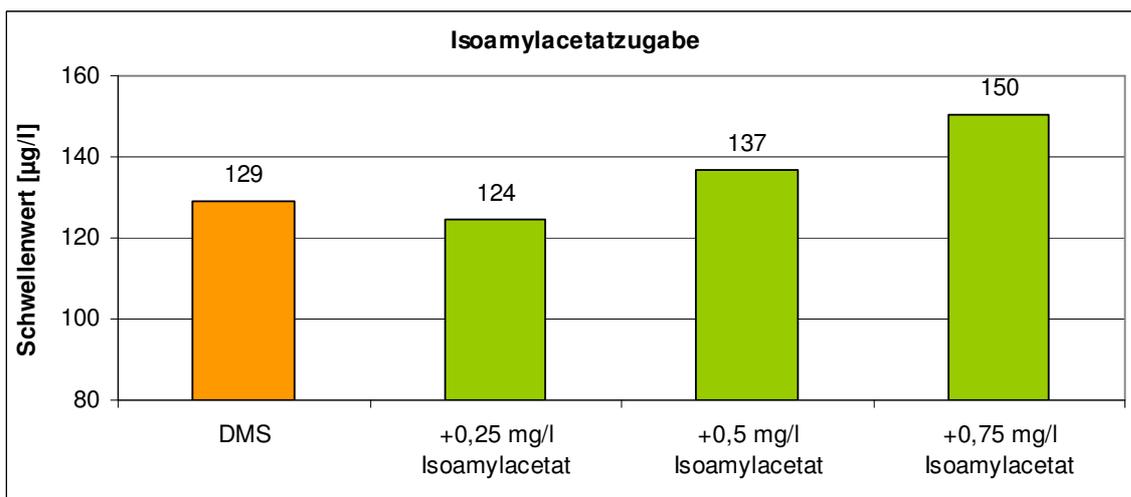


Abbildung 39: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von DMS

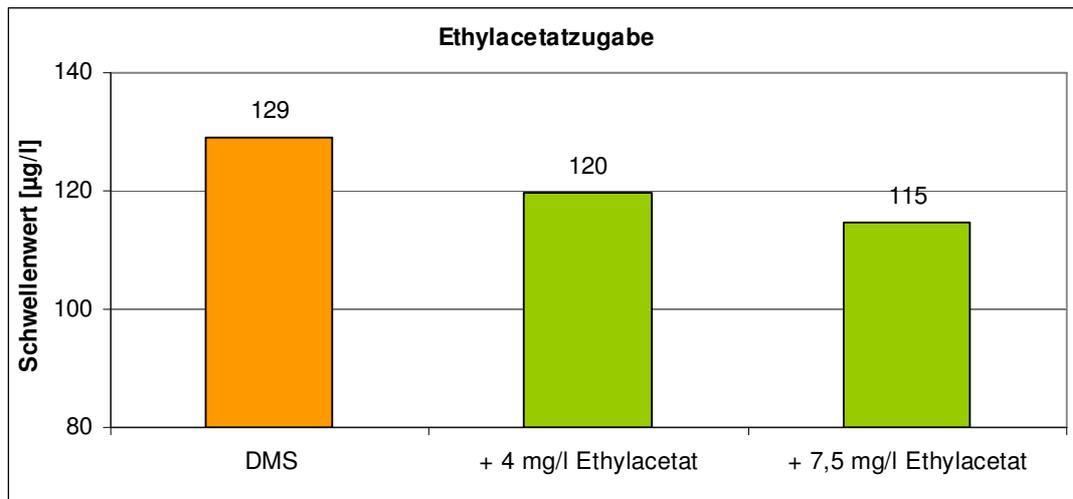


Abbildung 40: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von DMS

Reduktion auf das Anfangsniveau zu beobachten war. Eine Zugabe von Isoamylacetat führte erst bei höheren Konzentrationen zu einer deutlichen Unterdrückung der DMS-Wahrnehmung, wie aus Abbildung 39 ersichtlich ist. Ethylacetat (s. Abb. 40) zeigt bei höheren Konzentrationen den Trend zur Verstärkung des DMS-Aromas.

#### 4.2.3.4 Beeinflussung des Fehlromas Isovaleriansäure

Isovaleriansäure hat ein schweißig-käsiges Aroma und wird in niedrigen Konzentrationen als angenehm empfunden [5]. Das käsige Aroma kann u. a. dadurch hervorgerufen werden, wenn alter Hopfen für späte Hopfengaben verwendet wird [80]. Der hier ermittelte Schwellenwert von 325  $\mu\text{g/l}$  ist deutlich niedriger als die in der Literatur zu findenden Angaben von 1000-1500  $\mu\text{g/l}$  [374, 276].

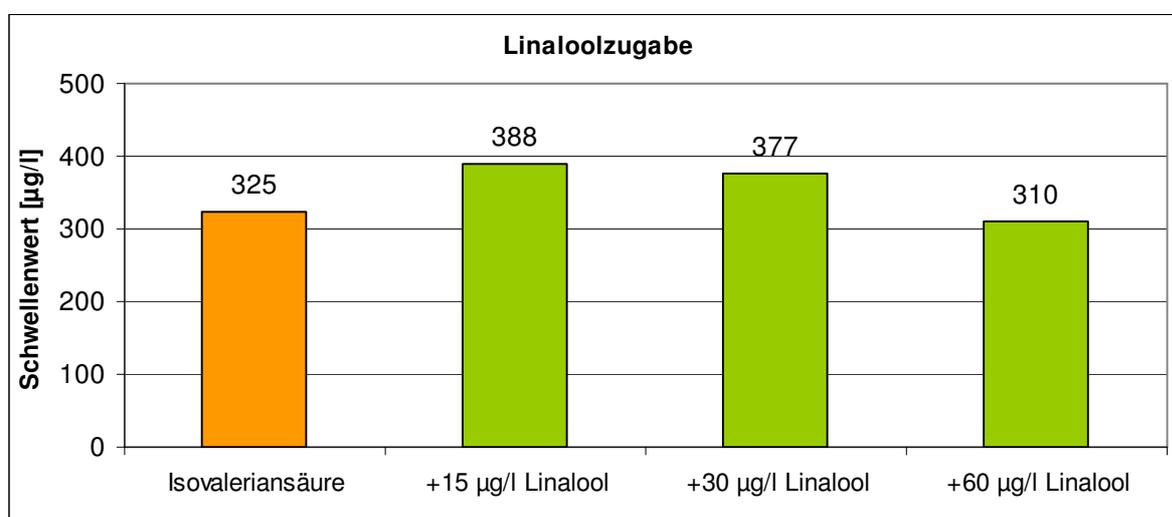


Abbildung 41: Einfluss von Linalool auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure

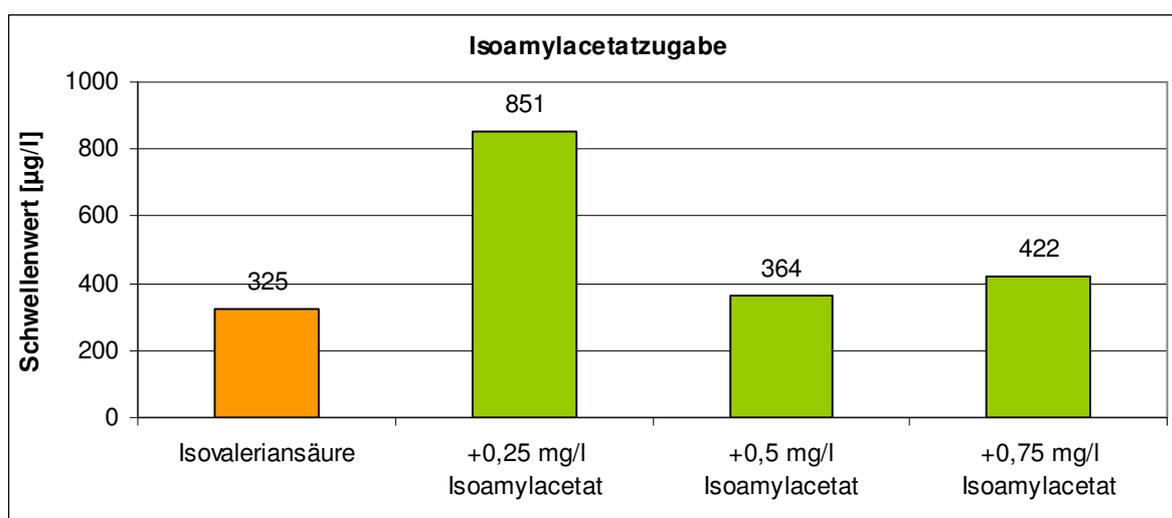


Abbildung 42: Einfluss von Isoamylacetat auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure

Ebenso wie bei DMS und Diacetyl zeigt Linalool bei Isovaleriansäure das gleiche Bild. Eine relativ geringe Addition unterdrückt die Wahrnehmung des Fehlromas und mit steigender Linaloolkonzentration nimmt die Wahrnehmung des Fehlromas wieder zu (s. Abb. 41). Abbildung 42 zeigt den Einfluss von Isoamylacetat. Bei allen Dosagehöhen wird die Isovaleriansäurewahrnehmung unterdrückt. Warum eine Addition von 0,25 mg/l Isoamylacetat einen so extremen Einfluss auf die Isovaleriansäurewahrnehmung hat, konnte nicht ermittelt werden. Ethylacetat zeigte ebenso wie beim Diacetyl bei der niedrigen Addition eine leichte Verstärkung des Fehlromas und bei der höheren Additionsstufe eine Tendenz zur Unterdrückung dieses Fehlromas.

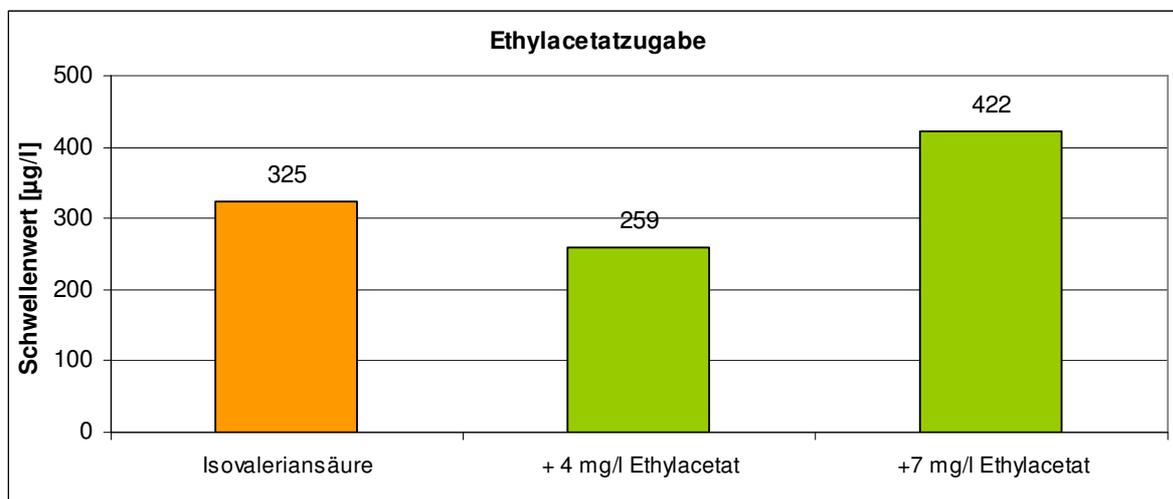


Abbildung 43: Einfluss von Ethylacetat auf den Schwellenwert von Isovaleriansäure

#### 4.2.4 Zusammenfassung

In diesen Versuchen konnte bestätigt werden, dass sich die Wahrnehmung von Fruchtestern in Kombination verstärkt. Für Apfel-, Bananen- und Orangenester konnten die in der Literatur beschriebenen Impact- bzw. Schlüsselverbindungen bestätigt werden.

Für Hopfenaromastoffe kann keine allgemein gültige Aussage getroffen werden. Mischungen von Hopfenaromastoffen zeigten selten einen verstärkenden Effekt. Über das Hopfenaroma, genauer über den Linaloolgehalt, kann die Wahrnehmung einzelner Fehlromen beeinflusst werden. Hierbei hat ein steigender Linaloolgehalt bei allen drei untersuchten Fehlromen eine verstärkende Wirkung gezeigt. Die Wahrnehmung der

Hopfenaromastoffe kann ebenso wie die Wahrnehmung von Fehleraromen durch Gärungsnebenprodukte beeinflusst werden. 2-Phenylethanol unterdrückte die Wahrnehmung von Linalool und Geraniol, verstärkte allerdings die Nerolwahrnehmung. Isoamylacetat und Ethylacetat unterdrückten mit steigender Dosage in den meisten Fällen die Wahrnehmung der Fehleraromen. Auf Isovaleriansäure zeigte Ethylacetat allerdings bei hohen Additionen verstärkende Wirkung.

Diese Effekte der Auswirkungen von Hopfenaromstoffmischungen und die Beeinflussung von Fehleraromen durch positive Aromastoffe sowie die Beeinflussung von Hopfenaromastoffen durch 2-Phenylethanol konnten in dieser Arbeit erstmals beschrieben werden.

### 4.3 Einflüsse auf die Ausbeute von Hopfenbitterstoffen

In diesen Versuchen wurde der Einfluss des Hopfens auf die Trubbildung sowie verschiedene, die Bitterstoffausbeute beeinflussende Faktoren untersucht. Tabelle 34 zeigt die Analysen der verschiedenen PfV-Würzen, die für diese Versuche als Ausgangswürze verwendet wurden sind.

**Tabelle 34: Analysen der Pfanne-voll-Würzen**

	PfV I	PfV II	PfV III	PfV IV	PfV V	PfV VI	PfV VII	Mittelwert
pH-Wert	5,74	5,72	5,79	5,74	5,68	5,72	5,65	<b>5,72</b>
Farbe [EBC]	5,9	6,1	5,9	5,7	6,1	5,8	5,9	<b>5,90</b>
Extrakt [GG%]	10,89	10,86	10,65	10,61	10,92	10,78	10,99	<b>10,81</b>
Ges-N [mg/l]	918	930	867	879	944	949	968	<b>922</b>
koag-N [mg/l]	65	65	62	61	64	52	53	<b>60</b>
TBZ	21,9	22,0	21,7	21,4	22,1	22,8	22,6	<b>22</b>
Bitterstoffe	1	1	2	1	3	1	2	<b>1</b>

#### 4.3.1 Einfluss der Hopfengabe und des Hopfenproduktes

Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse der Kühlmittewürzen, die mit gesteigerter Hopfengabe und unter Veränderung des Hopfenproduktes hergestellt wurden. Für den relativ niedrigen Extraktgehalt der 30 BE Extraktwürze (verglichen mit den anderen Würzen) lässt sich keine Erklärung finden. Es zeigt sich, dass mit zunehmender Hopfendosage der Gehalt des koagulierbaren Stickstoffes (koag. N) abnimmt. Dieser Parameter wird somit nicht allein thermisch bzw. durch das Kochsystem beeinflusst. Auch scheinen hier Pellets einen entsprechenden Effekt zu haben, da der koag. N der Pelletwürze unter dem der Extraktwürze liegt. Bezüglich der Bitterstoffausbeute ist festzustellen, dass eine gesteigerte Hopfengabe nicht den erwarteten Rückgang in der Ausbeute zeigte, wahrscheinlich war die Erhöhung der Hopfengabe nicht hoch genug, um diesen Effekt beobachten zu können. In Übereinstimmung mit JASKULA et al. [378] wurde für den Pelletsud eine höhere Ausbeute ermittelt. Dies könnte an der größeren Oberfläche liegen, die durch das

Tabelle 35: Ergebnisse der Versuchsreihe zur Veränderung der Hopfengabe und des Hopfenproduktes

Hopfengabe	0 BE	15 BE	30 BE	30 BE
Hopfenprodukt	CO <sub>2</sub> -Extrakt			Pellets
<b>Würze</b>				
pH-Wert	5,54	5,54	5,69	5,52
Farbe [EBC]	8,5	9,2	8,7	9,8
Extrakt [GG%]	12,23	12,19	11,67	12,22
Ges.-N [mg/l]	1022	1036	949	1018
koag. N [mg/l]	58	48	45	38
TBZ	45	42	37	44
Bitterstoffe [BE]	2	27	51	50
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/l]	-	14,66	32,05	35,62
$\alpha$ -Säure [mg/l]	-	20,06	36,78	28,45
<b>Trub</b>				
Gewicht (feucht) [g]	7,90	8,75	8,40	30,90
Gewicht TrS [g]	2,45	2,66	3,00	7,69
Wassergehalt [%]	69,07	69,80	64,24	75,09
Ges.-N (TrS) [%]	31,91	38,72	37,59	30,37
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	-	1,84	3,59	4,66
$\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	-	4,12	6,85	3,69
$\beta$ -Säure [mg/g Trub TrS]	-	19,07	33,96	20,60
Trubmenge [mg TrS/l]	289,1	315,5	353,5	877,5
<b>Ausbeute</b>				
Iso- $\alpha$ / $\alpha$ in Würze [%]	-	30,18	33,24	35,99
Iso- $\alpha$ / $\alpha$ in Trub [%]	-	1,12	1,32	4,09
$\alpha$ / $\alpha$ in Würze [%]	-	41,30	38,15	28,66
$\alpha$ / $\alpha$ in Trub [%]	-	2,55	2,50	3,25
$\beta$ / $\beta$ in Trub [%]	-	37,50	38,92	55,53

Blattmaterial der Pellets eingebracht wird. MOŠTEK fand, dass Partikel die Ausbeute verbessern [379]. Eventuell könnte auch eine verzögerte Lösung des Extraktes die geringere Ausbeute begründen. Abbildung 44 zeigt die Aufteilung der  $\alpha$ - und iso- $\alpha$ -Säurenverhältnisse auf Würzen und Trub. Dabei ist zu erkennen, dass die Gesamtwiederfindung (Summe aus  $\alpha$ - und iso- $\alpha$ -Säuren in Würze und Trub) bei 15 und 30 BE gleich ist. Auch die „Verluste“ durch den Trub sind für  $\alpha$ - und iso- $\alpha$ -Säuren gleich, so dass hier nur leichte Unterschiede bei den  $\alpha$ -Säuren in der Würze zugunsten der iso- $\alpha$ -Säuren vorliegen. Auffällig ist, dass bei Pellet-Einsatz der Gehalt der  $\alpha$ -Säuren in der Würze deutlich verringert ist, was sich zum Teil mit der erhöhten Ausbeute erklären lässt. Andererseits sind die Verluste durch den Trub höher als bei Extraktverwendung, so dass

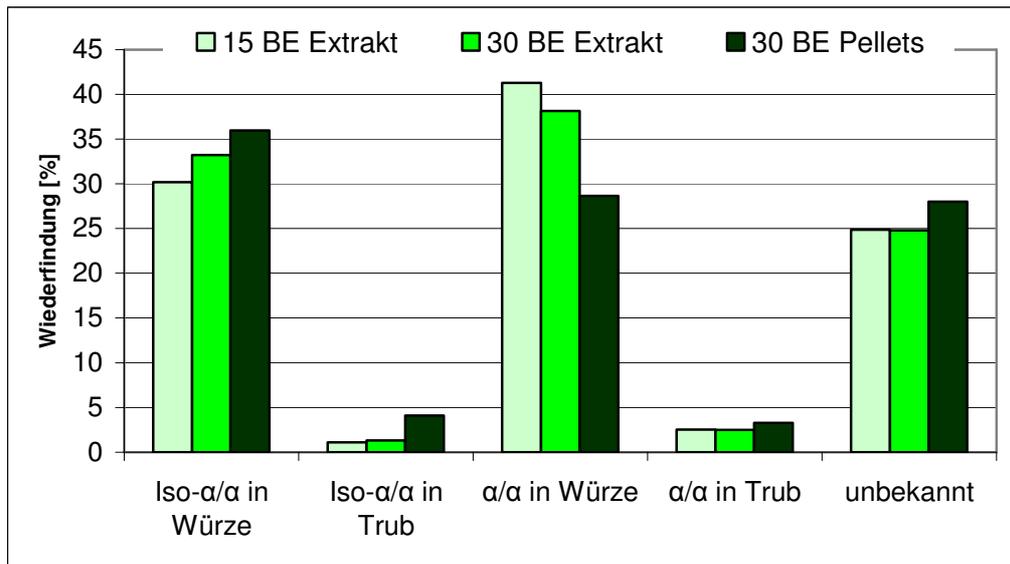


Abbildung 44: Wiederfindung der Humulone und Isohumulone bei Veränderung der Hopfengabe bzw. des Hopfenproduktes

die effektive Ausbeute, also die Bitterstoffe, die in Lösung sind, bei den Pellets geringer ist. Ebenso ist der Anteil, welcher nicht wieder gefunden werden konnte, bei Pellets größer, was auch auf eine höhere Reaktivität bei Pelleteinsatz schließen lässt. Anders dazu zeichnet sich das Bild der  $\beta$ -Säuren. Über 50 % der mit den Pellets dosierten Lupulone wurden im Trub wieder gefunden, während bei der Extraktverwendung weniger als 40 % der Lupulone analytisch im Trub bestimmbar waren. Die Wiederfindungsrate bei

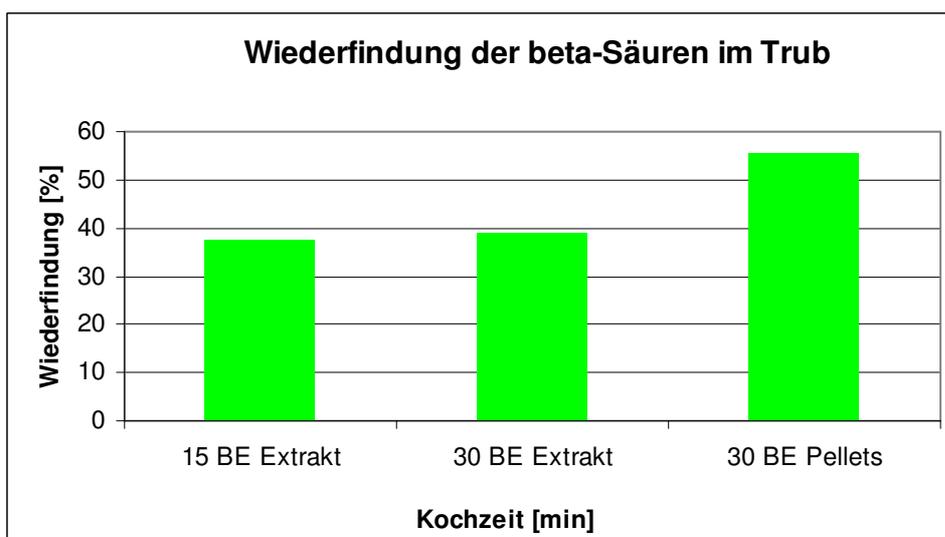
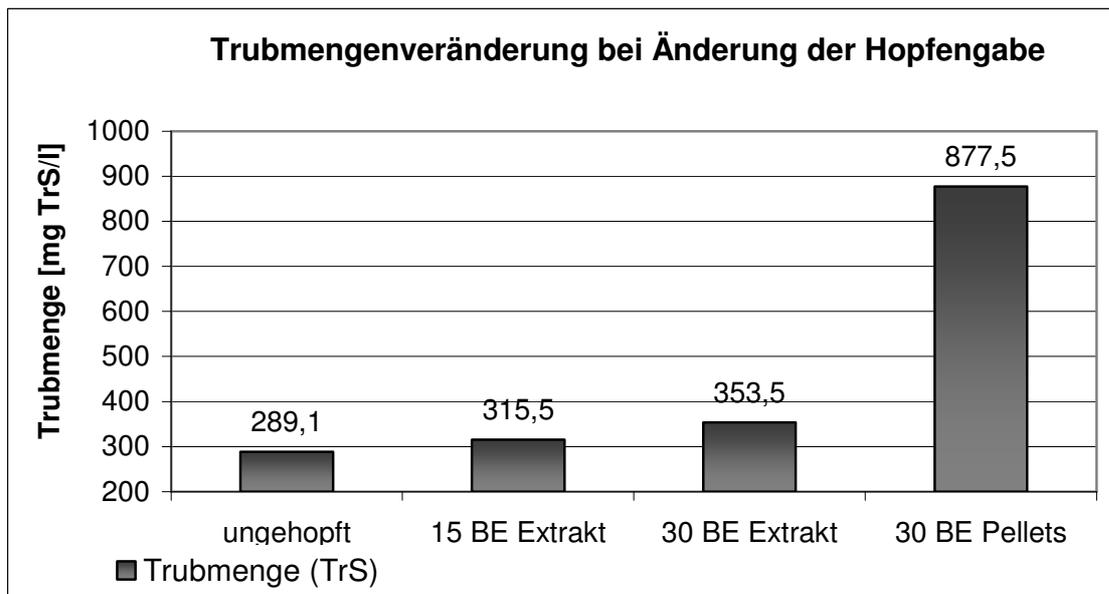


Abbildung 45: Wiederfindung der  $\beta$ -Säuren im Trub bei unterschiedlichen Hopfengaben und unterschiedlichem Hopfenprodukt

unterschiedlichen Mengen, die dosiert wurden, war gleich (s. Abb. 45). Durch Kochen können  $\beta$ -Säurederivate entstehen, die auch einen Beitrag zur Bittere leisten können. In einer jüngeren Studie von HASELEU et al. wurden bisher unbekannte Lupulonderivate isoliert und beschrieben [380]. Daneben gibt es auch die Reaktion der  $\beta$ -Säuren zu den Huluponen [256].



**Abbildung 46:** Trubmengenänderung bei Änderung der Hopfengabe/des Hopfenproduktes

Es bestätigt sich die Vermutung, dass durch die Pelletdosage mehr Heißtrub anfällt. Bereinigt um die Hopfengabe ergibt sich eine nur leicht Erhöhung der Heißtrubmenge durch die Pellets. Durch eine höhere Hopfengabe stiegen zwar die Absolutgehalte der Bitterstoffe im Trub, aber auf die eingesetzte Menge bezogen (Ausbeute) relativiert sich dieses Bild. Ein überproportionaler Anstieg, wie ihn BIERMANN [323] beschrieben hatte, konnte nicht eindeutig bestätigt werden. Es konnte aber gezeigt werden, dass eine entsprechende Hopfengabe den Stickstoffgehalt des Trubes ansteigen lässt. Der geringere Stickstoffgehalt des Pellettrubes ist über die eingebrachte Blattmatrix zu erklären.

### 4.3.2 Einfluss der Kochzeit

Eine längere Kochzeit ist positiv für die Bitterstoffausbeute und bewirkt vielfältige analytische Veränderungen in der Würze, die in Tabelle 36 dargestellt sind. Es zeigte

**Tabelle 36: Einfluss der Kochzeit auf die Bitterstoffausbeute**

Kochzeit	5 min	10 min	30 min	60 min
<b>Würze</b>				
pH-Wert	5,70	5,66	5,63	5,69
Farbe [EBC]	7,0	7,5	8,2	8,7
Extrakt [GG%]	10,92	11,03	11,35	11,67
Ges.-N [mg/l]	910	931	955	949
koag. N [mg/l]	51	46	48	45
TBZ	29	30	35	37
Bitterstoffe [BE]	19	38	45	51
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/l]	2,74	8,01	18,63	32,05
$\alpha$ -Säure [mg/l]	20,48	46,68	43,32	36,78
<b>Trub</b>				
Gewicht (feucht) [g]	2,35	5,35	8,65	8,40
Gewicht TrS [g]	zu wenig	1,89	2,49	3,00
Wassergehalt [%]	zu wenig	69,94	71,25	64,24
Ges.-N (TrS) [%]	zu wenig	27,21	30,71	37,59
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	zu wenig	3,87	3,76	3,59
$\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	zu wenig	53,28	17,68	6,85
$\beta$ -Säure [mg/g Trub TrS]	zu wenig	84,00	50,78	33,96
Trubmenge [mg TrS/l]	zu wenig	204,0	276,0	353,5
<b>Ausbeute</b>				
Iso- $\alpha/\alpha$ in Würze [%]	5,25	8,98	20,53	33,24
Iso- $\alpha/\alpha$ in Trub [%]	zu wenig Trub	0,89	1,15	1,32
$\alpha/\alpha$ in Würze [%]	38,70	52,85	47,76	38,15
$\alpha/\alpha$ in Trub [%]	zu wenig Trub	12,31	5,37	2,50
$\beta/\beta$ in Trub [%]	zu wenig Trub	60,74	48,40	38,92
<b>Besonderes</b>				
$\Sigma\alpha$ -Säuren	zu wenig Trub	75,03	74,80	75,20
$\Sigma\beta$ -Säuren	zu wenig Trub	60,74	48,40	38,92
<b>Besonderes</b>				
Bruchbildung	kein Trub, trüb	sehr fein, trüb setzt sich sehr langsam ab	fein trüb	Grob

sich, dass sich der Extrakt wahrscheinlich erst lösen muss, bevor ein deutlicher Abbau/Umbau der Humulone verfolgbar ist. Dies bestätigt die Ergebnisse von MITTER et al. [331]. In Abbildung 47 ist der Verlauf der jeweiligen Bitterstoffe über die Kochzeit graphisch dargestellt. Bei diesen unterschiedlich lang gekochten Würzen zeigte sich, dass die Trubbildung zwar sofort mit Kochbeginn beginnt, aber sich erst nach 30 bzw. 60 Minuten Kochzeit ein entsprechend grober Trub bildet, der sich auch entsprechend absetzt. Über die Kochzeit reduzieren sich auch die Bitterstoffverluste durch den Trub. Es ist hier zu erkennen, dass die Verluste, welche durch den Trub auftreten nicht vordergründig sind. Dies bestätigt die Ergebnisse von MAULE, welcher dem Trub ebenfalls eine untergeordnete Rolle zusprach [381]. Mit zunehmender Dauer der Kochung reagieren anscheinend die  $\beta$ -Säuren vermehrt zu Derivaten, die nicht mehr erfassbar waren (s. Abb. 48). Bei 5 min Kochzeit konnten wegen der zu geringen Heißtrubmenge keine weiterführenden Trubanalysen durchgeführt werden. Der Anteil der Bitterstoffe, welcher nicht wieder gefunden werden konnte, war über die gesamte Kochzeit konstant bei 25 %. Anscheinend kommt es innerhalb der ersten zehn Minuten zu Abbaureaktionen, die für die entsprechenden Verluste von rund 25 % in diesen Versuchen verantwortlich sind. Bereits DJURTOFT et al. fanden, dass die Verluste der Humulone in den ersten 20 Minuten der Kochung geschehen [328]. Dies konnte hier bestätigt und der entsprechende Zeitraum auf

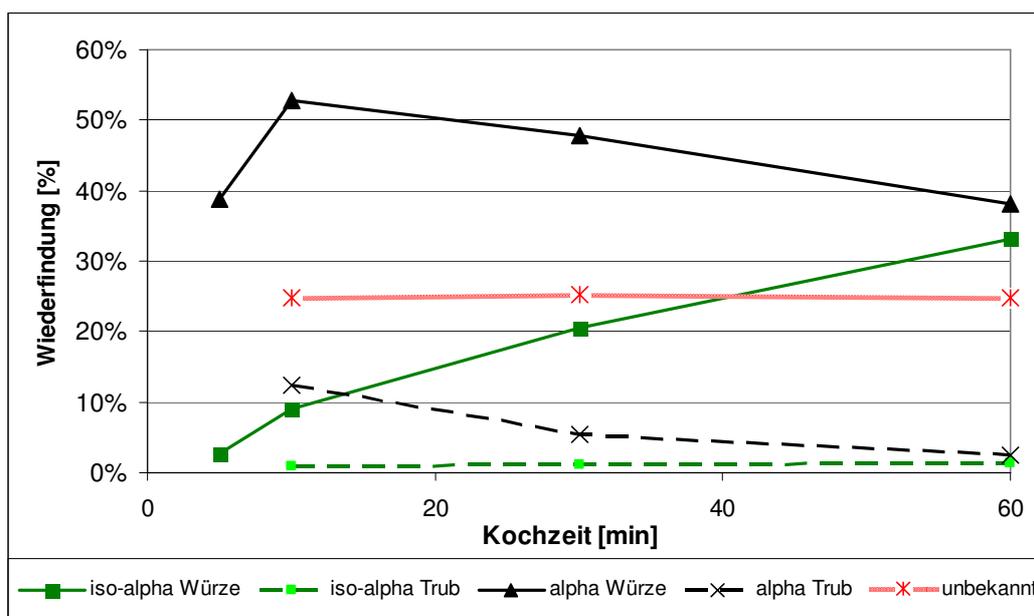


Abbildung 47: Einfluss der Kochzeit auf die Ausbeute von Humulonen

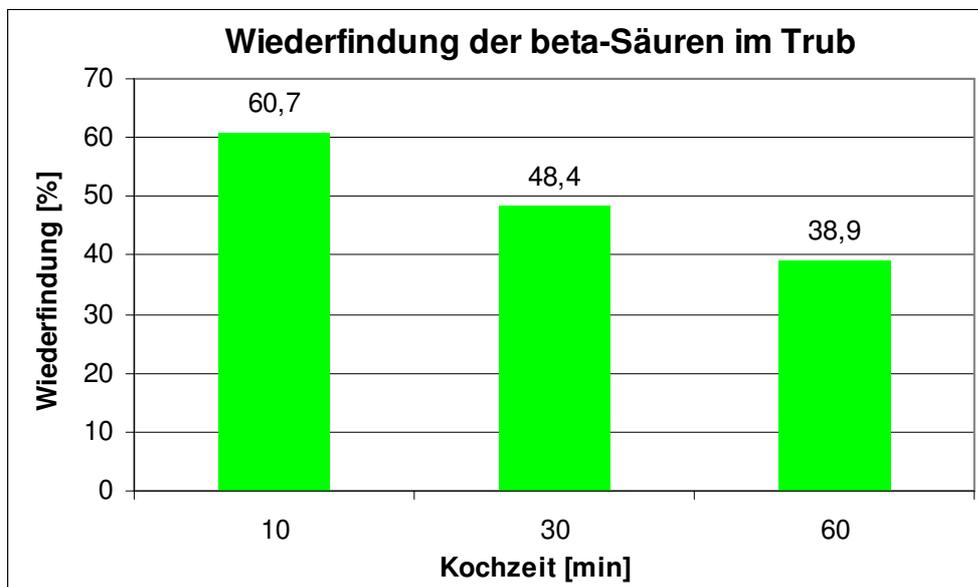


Abbildung 48: Wiederfindung der  $\beta$ -Säuren im Trub mit steigender Kochdauer

die ersten zehn Minuten beschränkt werden. Abbildung 49 zeigt den Verlauf der Bittereinheiten über die Kochzeit. Dieser ist zu Beginn sehr steil und flacht nach ca. 10 min stark ab. Da bei der photometrischen BE-Ermittlung iso- $\alpha$ -Säuren und zu einem gewissen Anteil auch  $\alpha$ -Säuren erfasst werden, gibt dieser Wert in etwa Auskunft über die Summe der  $\alpha$ -/iso- $\alpha$ -Säuren in der Würze. Es ist auch hier zu sehen, dass es einer Lösungs- und Verteilungszeit für den Extrakt bedarf.

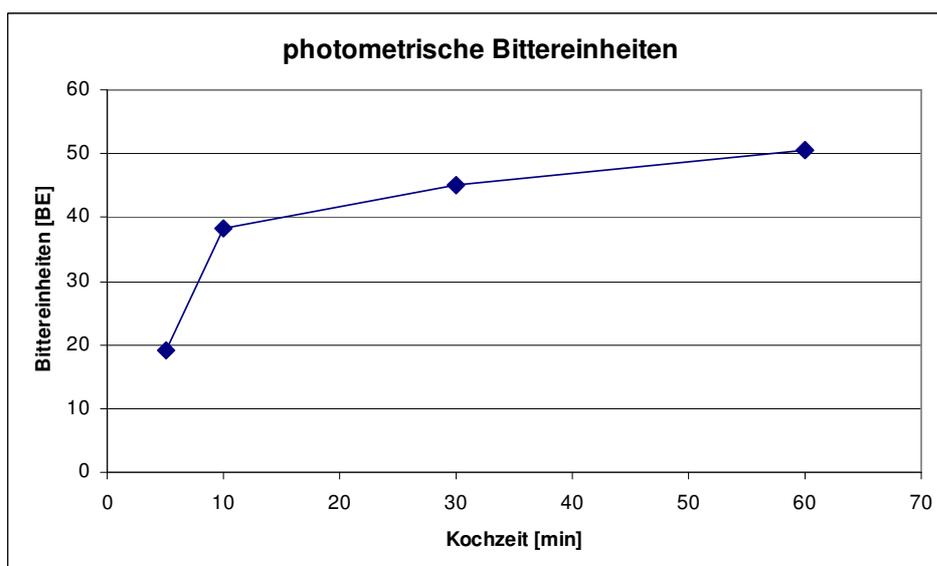


Abbildung 49: Photometrische Bittereinheiten bei steigender Kochdauer

### 4.3.3 Einfluss des Säuerungszeitpunktes

Die Anwendung einer Würzesäuerung kann viele technologische Verbesserungen bringen. Das Geschmacksbild des Bieres wird runder und die chemisch-physikalische Stabilität verbessert sich [80]. In dieser Versuchsreihe wurde der Zeitpunkt der pH-Einstellung auf pH 4,8 variiert und mit einer ungesäuerten Würze (s. Tabelle 37) verglichen. Die

**Tabelle 37: Ergebnisse zum Einfluss des Säuerungszeitpunktes**

Säuerungszeitpunkt	ohne	Kochende	Kochbeginn
<b>Würze</b>			
pH-Wert	5,69	4,83	4,83
Farbe [EBC]	8,7	8,4	8,2
Extrakt [GG%]	11,17	12,19	12,27
Ges.-N [mg/l]	949	985	971
koag. N [mg/l]	45	42	42
TBZ	37	48	53
Bitterstoffe [BE]	51	38	30
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/l]	32,05	31,70	18,65
$\alpha$ -Säure [mg/l]	36,78	19,79	18,20
<b>Trub</b>			
Gewicht (feucht) [g]	8,4	11,75	13,85
Gewicht TrS [g]	3,0	3,29	3,68
Wassergehalt [%]	64,2	72,0	73,5
Ges.-N (TrS) [%]	37,6	38,8	39,8
Iso- $\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	3,59	6,92	2,60
$\alpha$ -Säure [mg/g Trub TrS]	6,85	12,93	21,01
$\beta$ -Säure [mg/g Trub TrS]	33,96	45,03	29,24
Trubmenge [mg TrS/l]	353,5	389,0	439,5
<b>Ausbeute</b>			
Iso- $\alpha/\alpha$ in Würze [%]	33,24	32,76	19,05
Iso- $\alpha/\alpha$ in Trub [%]	1,32	2,78	1,14
$\alpha/\alpha$ in Würze [%]	38,15	20,47	18,63
$\alpha/\alpha$ in Trub [%]	2,50	5,22	10,26
$\beta/\beta$ in Trub [%]	38,92	56,66	39,97
$\Sigma\alpha$ -Säuren	75,20	61,22	49,07
$\Sigma\beta$ -Säuren	38,92	56,66	39,97
<b>Besonderes</b>			
Bruchbildung	grob	grob setzte sich schnell ab, größter Teil innerhalb von 5 min	zu Beginn fein, später grob setzte sich langsam ab, grüne Tröpfchen im Trub

Hopfengabe war in allen Fällen gleich. Durch die Säuerung wurde die Bitterstoffausbeute in verschiedener Weise beeinträchtigt. Abbildung 50 zeigt die verschiedenen Wiederfindungsraten bei der ungesäuerten und den beiden gesäuerten Würzen. Bei der pH-Einstellung zu Kochende fällt auf, dass der iso- $\alpha$ -Säuregehalt in der Würze sich nicht wesentlich von der ungesäuerten Würze unterscheidet, aber der  $\alpha$ -Säuregehalt ist halbiert worden. Außerdem steigt der Anteil der Substanzen, die nicht mehr als  $\alpha$ - bzw. iso- $\alpha$ -Säuren detektiert werden können. Eine Säuerung zu Kochbeginn führt zu einer deutlich schlechteren Ausbeute und zu höheren Verlusten an  $\alpha$ -Säuren durch den Trub. Der  $\alpha$ -Gehalt der Würze ändert sich gegenüber der bei Kochende gesäuerten Würze nur minimal. Dies ist über die Löslichkeit der Humulone zu erklären, da bei diesem pH-Wert (4,8) in etwa die Löslichkeitsgrenze erreicht ist [245]. Durch den niedrigen pH-Wert zu Kochbeginn wird die Isomerisierung negativ beeinflusst, allerdings nicht im Sinne einer schlechter ablaufenden Isomerisierungsreaktion, sondern dadurch, dass weniger  $\alpha$ -Säuren in Lösung sind, die isomerisieren können. Letztlich sind über 50 % der dosierten  $\alpha$ -Säuremenge weder als  $\alpha$ - noch als iso- $\alpha$ -Säuren in Würze bzw. Trub auffindbar. Hier muss es also pH-abhängige Abbaureaktionen geben, die für den Verlust an Humulonen verantwortlich sind. Da die Verluste der  $\alpha$ -Säuren bereits in den ersten Minuten der Kochung auftreten, ist dem

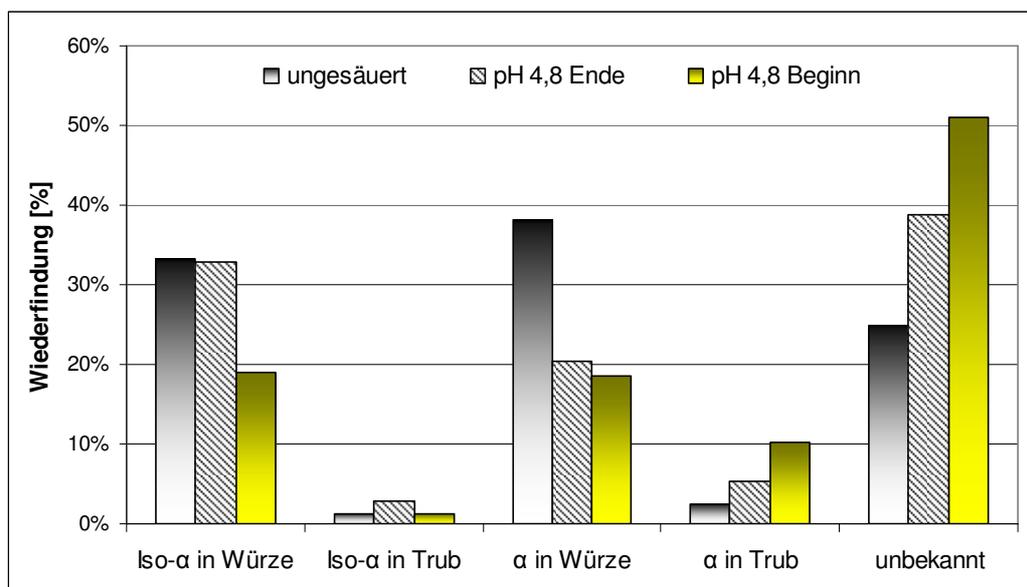


Abbildung 50: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die Bitterstoffausbeute

Zeitpunkt der Hopfengabe besonderes Interesse bei zukünftigen Forschungsvorhaben zu widmen. Die schlechteren Ausbeuten bzw. verstärkte Ausfällung der  $\alpha$ -Säuren aus der Würze ist auch in Abbildung 51 zu erkennen. Je eher die pH-Einstellung erfolgte, desto geringer sind die gemessenen photometrischen Bittereinheiten.

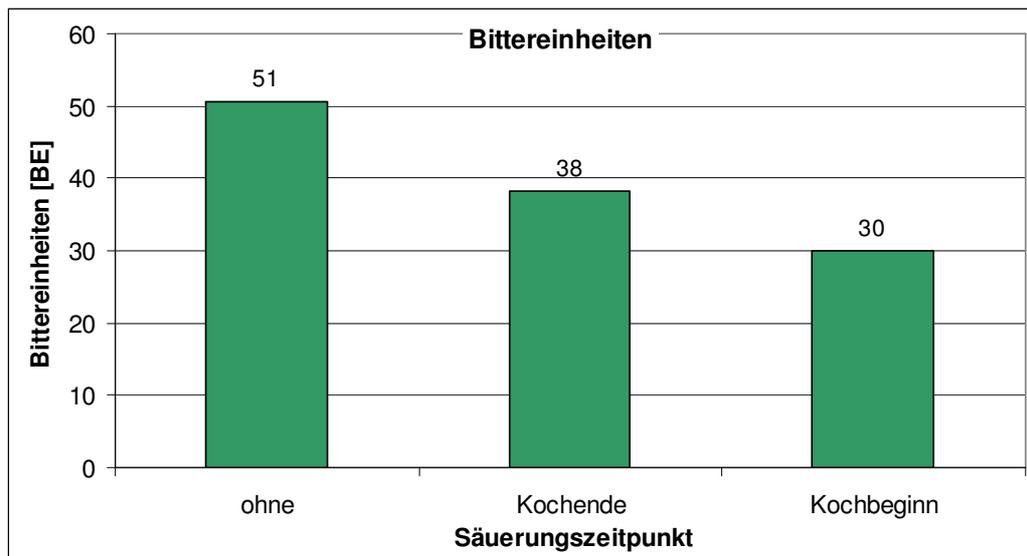


Abbildung 51: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die photometrischen Bittereinheiten

Ein bisher so nicht gekanntes Bild zeigt die Thiobarbitursäurezahl (TBZ) als Maß für die thermische Belastung, welches in Abbildung 52 dargestellt ist. Durch die Säuerung steigt die TBZ an und erreicht bei der Säuerung zu Kochbeginn einen Wert von 53. Somit verstärkte sich die analytische thermische Belastung um 31. DE SCHUTTER et al. berichten in einer jüngeren Arbeit über die Zunahme des  $\Delta$ TBZ-Wertes [382] sowie in einer weiteren Arbeit über die deutliche Steigerung der 2-Furfuralzunahme [383] bei niedrigeren pH-Werten ( $< 5$ ), was die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt. Bei niedrigen pH-Werten wird die Maillardreaktion zwar gehemmt, aber DE SCHUTTER et al. äußern die Theorie, dass vorhandene Vorstufen stärker freigesetzt werden [382].

Die Säuerung der Würze dient auch dazu, die Eiweißausscheidung zu fördern [80, 323]. Je nach Zeitpunkt der Milchsäuredosage veränderten sich die erhaltenen Trubmengen. Erwartungsgemäß zeigte die Würze, die bei Kochbeginn gesäuert wurde, die höchsten Trubmengen (s. Abb. 53). Der Gesamtstickstoffgehalt des Trubes wurde durch die Säuerung nicht beeinflusst. Bemerkenswert war allerdings das optische Trubbildungs- und

Absetzverhalten während der 20minütigen Heißtrubsedimentationsrast. Die zu Beginn gesäuerten Würzen waren deutlich trüber und zu Beginn der Rast bildete sich nur ein feiner Trub. Nach wenigen Minuten vergrößerte sich dieser und setzte sich langsam ab.

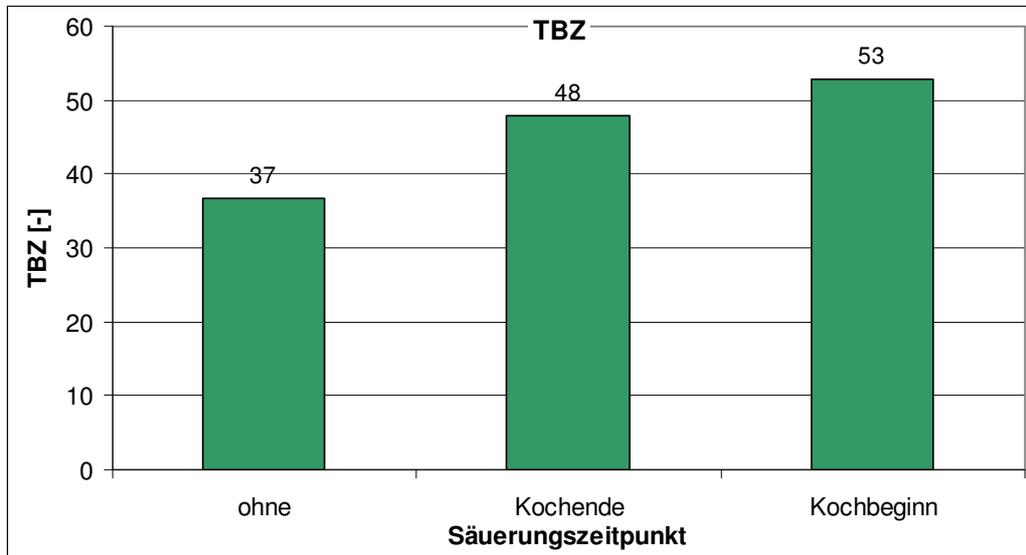


Abbildung 52: Einfluss des Säuerungszeitpunktes auf die TBZ

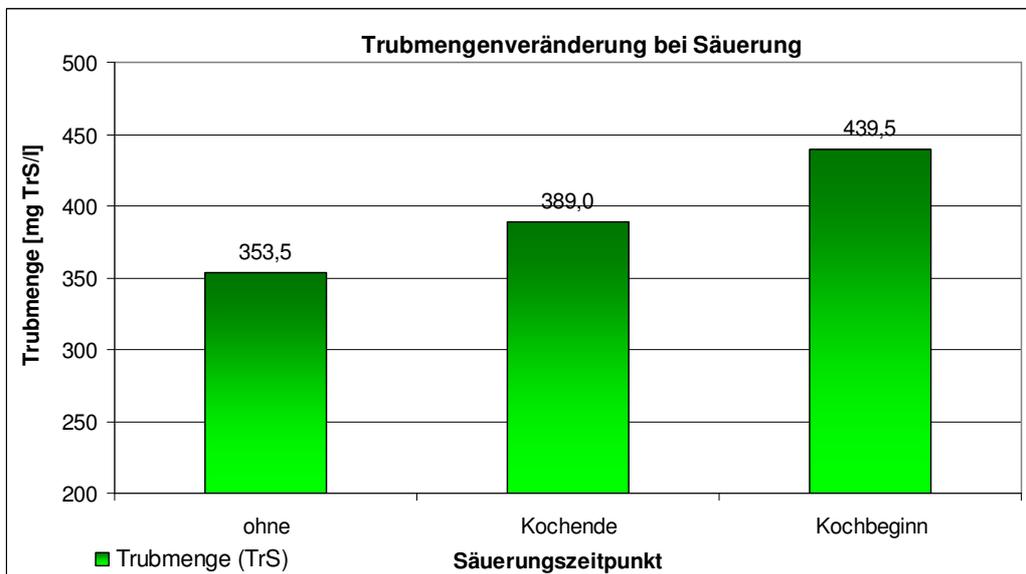


Abbildung 53: Veränderung der Trubmenge durch verschiedene Zeitpunkte der Säuerung

In Abbildung 54 ist dieser Verlauf photographisch dokumentiert. Nach 5 Minuten bei dieser Würze (Säuerung zu Kochbeginn) deutliche Flocken zu sehen, die sich auch nach 10 Minuten noch nicht vollständig abgesetzt haben. Beim ungesäuerten Vergleichsud sind nach 5 Minuten nur noch vereinzelt Flocken zu sehen, die sich nach 10 Minuten fast vollständig abgesetzt haben. Bei der zu Kochende gesäuerten Würze bildete sich sehr schnell ein grober Bruch, welcher sich auch sehr schnell innerhalb der ersten fünf Minuten absetzte.

	5 min nach Kochende	10 min nach Kochende
<b>ohne Säuerung</b>		
<b>Säuerung zu Kochende</b>		
<b>Säuerung zu Kochbeginn</b>		

**Abbildung 54: Unterschiedliches Trubabsetzverhalten durch Veränderung des Säuerungszeitpunktes**

Eine Säuerung zu Kochende ist die technologisch beste Variante, um den pH-Wert einer Würze einzustellen, da die Isomerisierung während der Kochdauer bei einem höheren pH-Wert ablaufen kann und somit mehr  $\alpha$ -Säuren in der Würze gelöst bleiben. Des Weiteren findet eine weitgehendere Stickstoffausscheidung statt als bei der ungesäuerten Würze. Durch die schnelle Trubbildung können blankere Würzen erreicht werden, so dass es im weiteren Prozessablauf keine nachteiligen Einflüsse durch den Heißtrub gibt.

#### 4.3.4 Einfluss des Hopfens auf die Trubabscheidung

Um zu untersuchen, welchen Einfluss der Hopfen auf die Trubbildung hat, wurden ungehopfte Würzen unterschiedlich lange gekocht. Tabelle 38 zeigt die erhaltenen Ergebnisse für Würze und des korrespondierenden Trubes. Auch hier steigt die TBZ der Würze mit der Kochzeit an. Allerdings ist ab der 10. Minute ein steilerer Anstieg der TBZ zu erkennen als bei der gehopften Versuchsreihe, wie auch aus Abbildung 56 ersichtlich ist. Da im verwendeten CO<sub>2</sub>-Extrakt kaum Polyphenole enthalten sind, ist dieses Verhalten nicht über polyphenolische Wirkungen erklärbar. Vielmehr muss es hier auf eine Wirkung der Harzbestandteile zurückgeführt werden.

**Tabelle 38: Einfluss der Kochzeit auf die Trubbildung einer ungehopften Würze**

Kochzeit	5 min	10 min	30 min	60 min
<b>Würze</b>				
pH-Wert	5,72	5,68	5,61	5,54
Farbe [EBC]	6,7	6,5	7,3	8,5
Extrakt [GG%]	10,96	11,31	11,85	12,23
Ges.-N [mg/l]	917	914	944	1022
koag. N [mg/l]	50	54	53	58
TBZ	29	31	38	45
Bitterstoffe [BE]	3	1	1	2
<b>Trub</b>				
Gewicht (feucht) [g]	2,45	3,35	5,55	7,90
Gewicht TrS [g]	zu wenig	1,01	1,54	2,45
Wassergehalt [%]	nicht analysiert	69,8	67,5	69,1
Ges.-N (TrS) [%]	nicht analysiert	35,2	37,1	31,9
Trubmenge [mg TrS/l]	zu wenig	107,4	171,9	289,1

In Abbildung 55 sind die entstandenen Trubmengen bei gehopfter und ungehopfter Würze vergleichend dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass v. a. bei kürzeren Kochzeiten die Trubbildung durch den Hopfen gefördert wird. Mit zunehmender Kochzeit verringern sich diese Unterschiede leicht. Dass die Hopfengabe auf die Stickstoffausscheidung förderlich wirkt, ist auch in Abbildung 57 anhand der Werte für den koag. N zu sehen. Zwar nimmt der koag. N bei beiden Versuchsreihen innerhalb der ersten Minuten stark ab, aber bei der gehopften Würze ist die koag. Abnahme weitgehender.

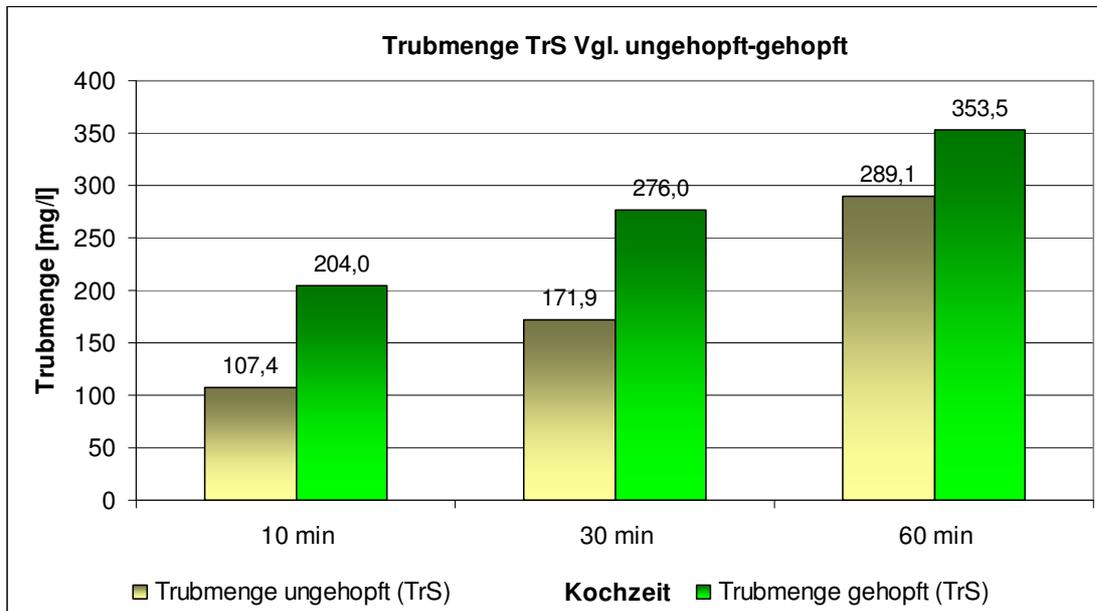


Abbildung 55: Vergleich der Trubmenge eines gehopften und ungehopften Sudes

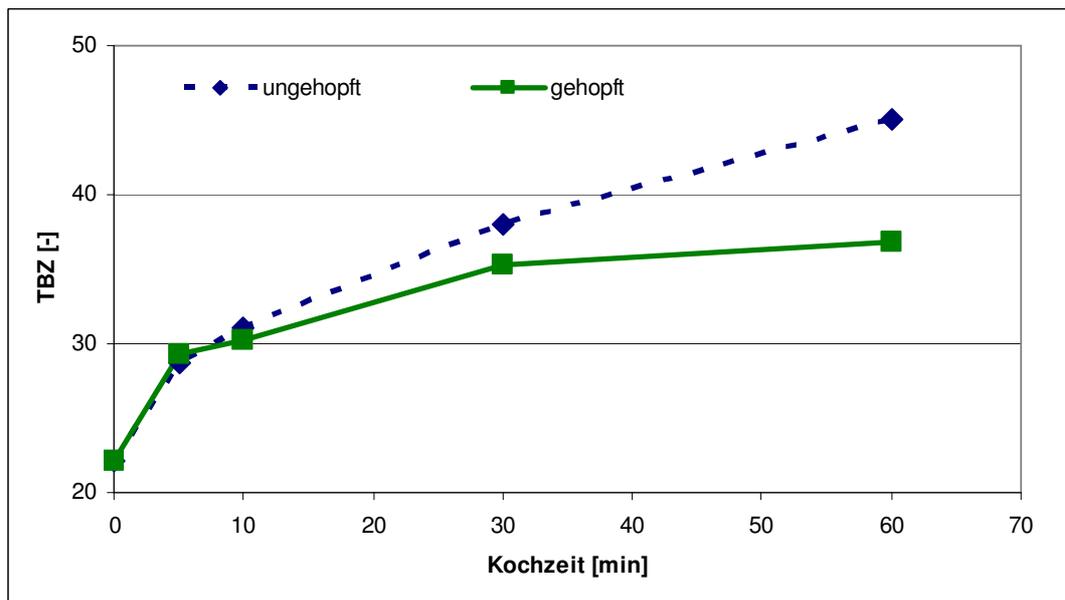


Abbildung 56: Vergleich des TBZ-Anstieges bei einem ungehopften und gehopften Sudes

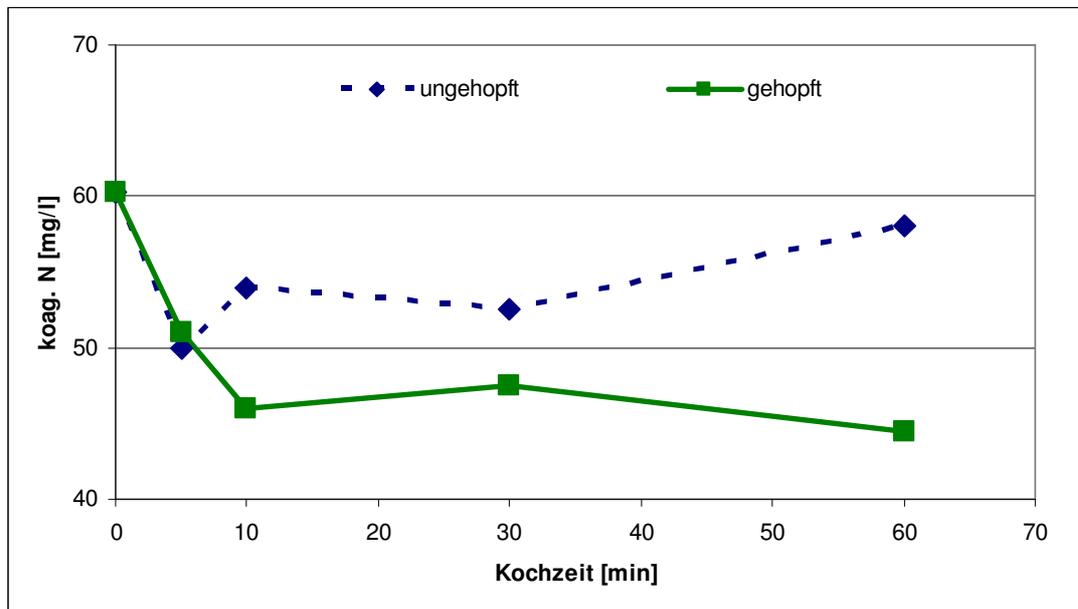


Abbildung 57: Vergleich des Gehaltes an koag. N bei einem ungehopften und einem gehopften Sud

#### 4.3.5 Zusammenfassung Ausbeute von Bitterstoffen und Trubbildung

In dieser Versuchsreihe konnte gezeigt werden, dass durch längere Kochzeiten die Ausbeute der iso- $\alpha$ -Säuren verbessert wird und die Verluste durch den Trub verringert werden. Der Einsatz von Pellets brachte leicht verbesserte Ausbeuten, was auf eine größere Reaktionsoberfläche oder durch zusätzlich Pelletpartikel verursacht worden ist. Allerdings waren bei Pellets auch die Trubverluste größer. Durch die pH-Einstellung kann die Ausbeute massiv beeinflusst werden, wobei eine Säuerung zu Kochende aus Sicht der Hopfenbitterstoffausbeute der beste technologische Weg ist. Der Säuerungszeitpunkt beeinflusst auch die Geschwindigkeit der Trubbildung. Wie hier deutlich gezeigt werden konnte, setzte sich der Trub bei einer Kochendesäuerung wesentlich schneller und grobflockiger ab, als bei einer Säuerung zu Kochbeginn. Das Verhalten der  $\beta$ -Säuren ist mit den vorhandenen analytischen Mitteln sehr schwer zu klären. Insgesamt konnten maximal 60 % der dosierten  $\beta$ -Säuren im Trub wieder gefunden werden. Diese Werte liegen aber deutlich unter denen, die in der Literatur angegebenen Werten [316]. Bestätigt werden konnte die Aussage von DJURTOFT et al. [328], wonach die Verluste der  $\alpha$ -Säuren in der ersten Minuten nach Kochbeginn/Hopfengabe auftreten. Diese unbekannte Fraktion

wird durch den pH-Wert stark beeinflusst, so dass hier vom pH-Wert abhängige Degradationsreaktionen vorliegen müssen. Abschließend muss erwähnt werden, dass die Bitterstoffverluste durch Abbaureaktionen deutlich höher sind als die Verluste durch Heißtrub.

#### ***4.4 Einfluss des Hopfenalters auf die Bierqualität***

Der Hopfen der Sorte Taurus (HTU) für diese Versuche wurde in original verschlossenen Päckchen für einen bzw. drei Monate bei 40 °C gelagert. Dies sollte Warmphasen simulieren, wie sie bei Überseetransporten oder längeren Kontinentaltransporten ohne Kühlung auftreten können. Die Hopfendosage erfolgte nach den in Tabelle 11 angegebenen Schema zum einen nach dem original  $\alpha$ -Gehalt des frischen Hopfens und zum anderen nach dem aktuellen  $\alpha$ -Gehalt.

##### ***4.4.1 Veränderungen des Hopfens***

Durch die Warmlagerung erfolgte ein Abbau der  $\alpha$ -Säuren, wie in Abbildung 58 zu sehen ist. Ungefähr die Hälfte der  $\alpha$ -Säureverluste können über die Bildung von iso- $\alpha$ -Säuren erklärt werden. Die andere Hälfte wird in unspezifische Weichharze bzw. Hartharze umgewandelt. Die  $\beta$ -Säuren sind unter der inerten Atmosphäre als relativ stabil anzusehen. Dies steht in Einklang mit den Aussagen von FORSTER [384], welcher bei der Warmlagerung von Pellets unter inerter Atmosphäre ähnliche Beobachtung gemacht hat. Auch er hat beobachtet, dass die  $\beta$ -Säuren in inerter Atmosphäre stabil bleiben [385, 386]. Ebenso steigt der Hop Storage Index (HSI), was zum einen über die Bildung der iso- $\alpha$ -Säuren und den Abfall der  $\alpha$ -Säuren erklärbar ist und zum anderen auf die Bildung von weiteren unspezifischen Harzen hinweist, die die Brauqualität mindern können.

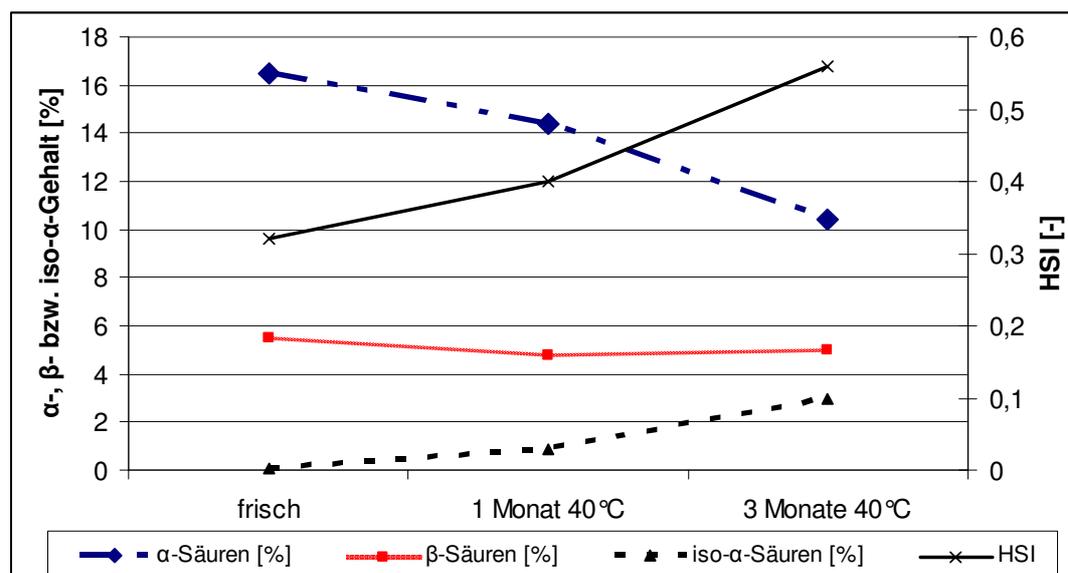


Abbildung 58: Konzentrationsänderungen von Hopfeninhaltsstoffen und Änderung des HSI bei der Warmlagerung von Hopfenpellets

#### 4.4.2 Auswirkungen auf die Würze- und Bierqualität

Tabelle 39 zeigt die Würzeergebnisse bei Verwendung des gealterten Hopfens im Vergleich zu einer ungehopften und mit frischem Hopfen hergestellten Würze. Die Unterschiede in den Polyphenolgehalten sind z. T. durch unterschiedliche Stammwürzen bedingt. Bei beiden Versuchen mit 3 Monate gelagertem Hopfen ist ein Trend zu höheren Gesamtpolyphenolgehalten zu kennen, während die Anthocyanogengehalte auf einem

Tabelle 39: Analysenergebnisse der Würzen bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen

	ungehopft	frisch original α	1 Monat aktuell α	3 Monate aktuell α	1 Monat original α	3 Monate original α
<b>Würzen</b>						
Gesamtpolyphenole [mg/l]	153	155	165	186	173	197
Gesamtpolyphenole bez. a. 12 GG% [mg/l]	154	177	165	184	177	211
Anthocyanogene [mg/l]	62	64	72	71	75	66
Anthocyanogene bez. a. 12 GG% [mg/l]	62	72	72	71	77	71
Bittereinheiten	1	51	56	64	49	47
pH-Wert	5,85	5,95	5,60	5,85	5,90	5,55
Stammwürze [GG%]	12,0	10,6	12,0	12,1	11,8	11,3
iso-α-Säuren [mg/l]	-	36,9	43,3	58,6	35,6	34,6
α-Säuren [mg/l]	-	26,6	27,8	26,6	22,6	16,1

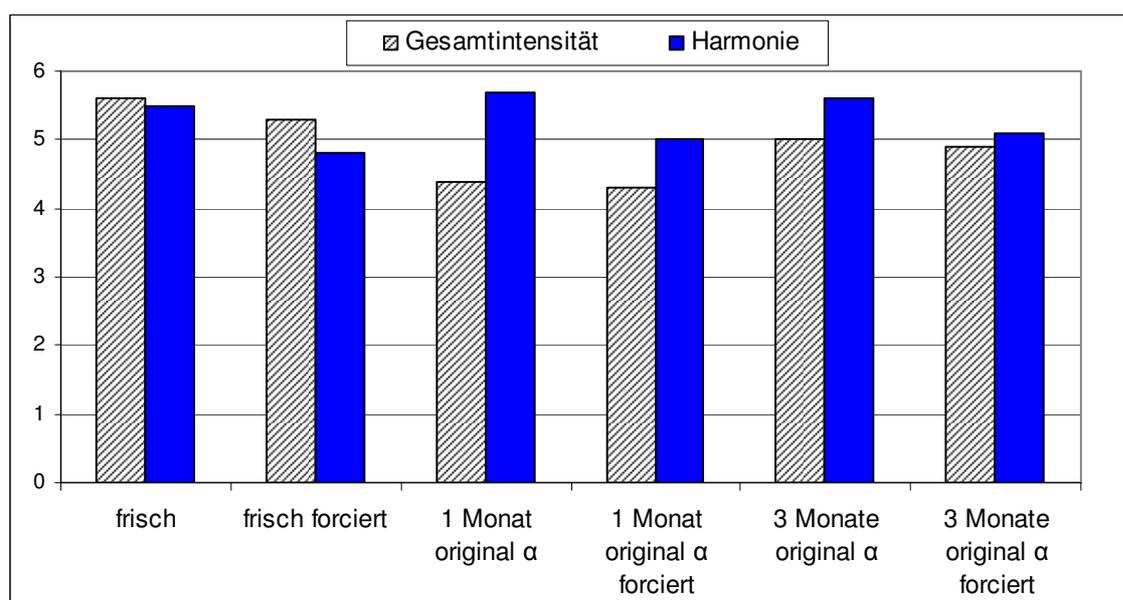
ähnlichen Niveau bleiben. Die Bitterstoffanalysen spiegeln die unterschiedlichen Bitterstoffverhältnisse in den verwendeten Hopfen wieder. Bei der Dosage nach aktuellem  $\alpha$ -Gehalt steigen die gemessenen Bittereinheiten an. Wie die Analyse der iso- $\alpha$ -Säuren zeigt und der Gehalt der iso- $\alpha$ -Säuren in den Pellets vermuten lässt, ist dieser Anstieg auf den zusätzlichen Eintrag bereits isomerisierter  $\alpha$ -Säuren durch die Pellets zurückzuführen. Eine Dosage nach dem original  $\alpha$ -Gehalt der Pellets (also stets die gleich Menge an dosierten Pellets) zeigt gleichbleibende iso- $\alpha$ -Säuregehalte in den Würzen. Dabei muss beachtet werden, dass zwar weniger  $\alpha$ -Säuren dosiert werden, aber auch zusätzlich 5 bzw. 15 mg iso- $\alpha$ -Säuren, welche den verminderten  $\alpha$ -Gehalt kompensieren. Eine (scheinbar) höhere Bitterstoffausbeute, wie sie auch hier zu beobachten ist, wurde auch von SREČEC [314] beschrieben. Allerdings ist die Ausbeute nur aufgrund des Einbringens bereits isomerisierter  $\alpha$ -Säuren (scheinbar) höher. Wird der Beitrag der vorisomerisierten  $\alpha$ -Säuren bei einem angenommenen Transfer von 100 % herausgerechnet, so ergibt sich eine tendenziell schlechtere Ausbeute der  $\alpha$ -Säuren bei gealtertem Hopfen. Dahingehend müssen die Ergebnisse von SREČEC et al. [314] kritisch betrachtet werden.

**Tabelle 40: Analysenergebnisse der Biere bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen**

	ungehopft	frisch original $\alpha$	1 Monat aktuell $\alpha$	3 Monate aktuell $\alpha$	1 Monat original $\alpha$	3 Monate original $\alpha$
<b>Bier</b>						
Gesamtpolyphenole [mg/l]	122	111	140	140	124	115
Gesamtpolyphenole bez. a. 12 GG% [mg/l]	114	127	142	140	129	119
Anthocyanogene [mg/l]	42	36	47	37	40	33
Anthocyanogene bez. a. 12 GG% [mg/l]	41	42	48	37	42	35
Bittereinheiten	-	29	37	37	28	24
pH-Wert	4,30	4,55	4,60	4,70	4,65	4,75
Stammwürze [GG%]	12,3	10,5	11,9	12,1	11,6	11,5
Alkohol [%vol]	5,15	4,36	4,95	5,00	4,85	4,80
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	-	28,8	33,6	49,1	34,4	29,0
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	-	1,9	1,4	2,3	2,5	0,8
Isovaleriansäure [ $\mu$ g/l]	n. a.	297	239	374	445	138
Geraniol [ $\mu$ g/l]	n. a.	5	5	5	6	5
$\alpha$ -Terpineol [ $\mu$ g/l]	n. a.	8	9	8	8	6
Nerol [ $\mu$ g/l]	n. a.	2	1	2	2	2
Humulen [ $\mu$ g/l]	n. a.	8	10	7	8	7
Linalool [ $\mu$ g/l]	n. a.	8	7	8	7	5

Bei Betrachtung der Bierergebnisse in Tabelle 40 ist zu erkennen, dass die Abnahme des Gesamtpolyphenolgehaltes bei den Bieren mit dem 3 Monate gelagerten Hopfen größer ist als bei denen mit 1 Monat gelagertem Hopfen. Die Anthocyanogehalte sind bei den 3monatigen Hopfen geringer als bei den einmonatigen. Dies lässt auf eine stärkere Ausfällung während der Gärung durch eventuelle Polymerisierungsreaktionen schließen. Photometrische Bittereinheiten und mittels HPLC bestimmte Bitterstoffe zeigen das gleiche Bild wie bei den Würzen.

Die Verwendung eines gealterten Hopfens führt laut Literatur zu einem unangenehmen käsigen Aroma [387, 313]. Allerdings ist dort auch beschrieben, dass dieses durch Isovaleriansäure hervorgerufene Aroma nur bei einer Lagerung unter Sauerstoffzutritt entsteht. Bei den mit den stark gealterten Hopfen hergestellten Bieren wurde vereinzelt ein käsiges Fremdaroma wahrgenommen, doch nur bei dem Bier „1 Monat original  $\alpha$ “ und „3 Monate aktuell  $\alpha$ “ war die gemessene Isovaleriansäurekonzentration über dem Schwellenwert von 325  $\mu\text{g/l}$ . Die Möglichkeit zur Beeinflussung der Wahrnehmung dieses Fehleromas durch Gärungsnebenprodukte wurde an anderer Stelle in dieser Arbeit diskutiert. Auch ist in den Analysen keine Tendenz bezüglich des verwendeten Hopfens und des Isovaleriansäuregehaltes zu erkennen. Dies bestätigt in gewisser Weise die Aussage von WHITEAR [310], wonach ein gealterter Hopfen zu Kochbeginn eingesetzt

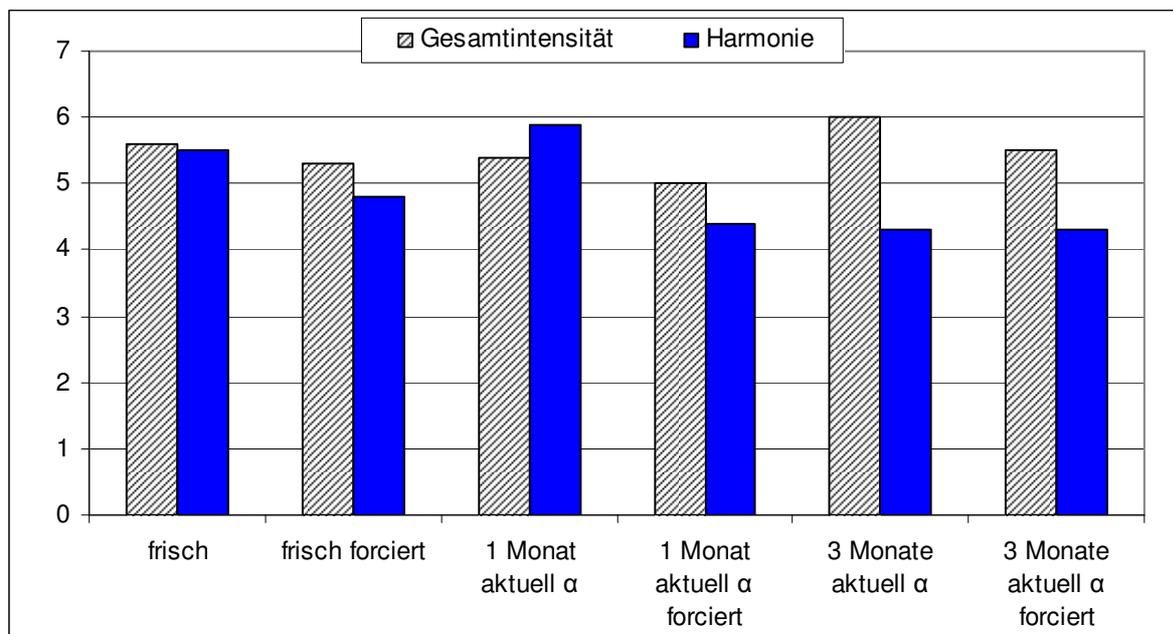


**Abbildung 59: Bewertung der Harmonie und der Bitterintensität bei Dosage der gealterten Hopfen nach dem ursprünglichen  $\alpha$ -Gehalt des Hopfens**

werden sollte, da dadurch die unangenehmen Aromastoffe ausgetrieben werden. Aufgrund der Hopfendosage zu Kochbeginn zeigen sich auch keine Unterschiede in den Hopfenaromastoffen. Eine ausführliche Darstellung der Aromastoffanalysen ist im Anhang in Tabelle 71 zu finden.

Abbildung 59 zeigt die Beurteilung der Harmonie und der Gesamtintensität der Bittere der Biere, die stets mit der gleichen Pelletdosage hergestellt worden sind. Obwohl die mit stark gealtertem Hopfen hergestellten Biere niedrigere Bitterstoffgehalte aufweisen, wurde die Bittere intensiver wahrgenommen. Die Biere wurden im Vergleich zu dem mit frischen Hopfen hergestellten Bier auch leicht harmonischer beurteilt. Eine gewisse Hopfenalterung wäre somit der Harmonie zuträglich. In den gealterten Bieren setzte sich dieser Trend fort, auch wenn hier die Bittere zum Teil als hart und unangenehm bezeichnet wurde. Eine ausführliche und detaillierte Aufführung der Verkostungsergebnisse ist im Anhang in den Tabellen 72 und 73 gegeben.

Deutlich kratzig in der Bittere wurden dagegen die Biere bewertet, deren Hopfengabe auf die aktuellen  $\alpha$ -Gehalte angepasst wurden, vor allem bei den Bieren, die unter Verwendung des drei Monate gelagerten Hopfen hergestellt worden sind. Dies bestätigt die Aussage von PEACOCK [136], wonach bei altem Hopfen die Bittere unangenehmer wird.



**Abbildung 60:** Bewertung der Harmonie und der Bitterintensität bei Dosage der gealterten Hopfen nach dem aktuellen  $\alpha$ -Gehalt des Hopfens

Diese Bitterbeurteilung spiegelt sich auch in der Bewertung der Harmonie wider. Die Harmonie des mit 3 Monate altem Hopfen hergestellten Bieres ist deutlich schlechter als die des mit frischem oder leicht gealtertem Hopfen hergestellten Bieres (s. Abb. 60). Auffällig ist auch hier, dass das Bier, welches mit dem leicht gealterten Hopfen hergestellt wurde, die höchste Harmoniebewertung aufweist. Auch KISHIMOTO et al. [388] fanden, dass die Anwendung gealterten Hopfens zu einer angenehmen Bittere führt. Ebenso beschreiben TAKEMURA et al. [389], dass eine moderate Alterung des Hopfens, wie es bei den 1 Monat gelagerten Pellets der Fall ist, zu einer angenehmen Bittere und somit zu einer höheren Harmonie führen.

**Tabelle 41: DLG- und Alterungsbewertung der Biere mit unterschiedlich gealtertem Hopfen**

	Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere	Gewichtete DLG-Note
frischer Hopfen	3,6	4,0	4,3	4,5	4,3	4,1
frischer Hopfen forciert	3,6	3,5	4,2	4,5	4,0	3,9
1 Monat original $\alpha$	4,0	4,0	4,3	4,4	4,2	4,1
1 Monat original $\alpha$ forciert	3,4	3,5	4,2	4,3	4,0	3,7
3 Monate original $\alpha$	4,3	4,3	4,3	4,5	4,1	4,2
3 Monate original $\alpha$ forciert	3,8	3,7	4,3	4,4	3,9	3,9
1 Monat aktuell $\alpha$	4,4	4,3	4,4	4,5	4,2	4,3
1 Monat aktuell $\alpha$ forciert	3,6	3,5	4,3	4,4	3,9	3,8
3 Monate aktuell $\alpha$	3,6	3,8	4,2	4,5	3,9	3,9
3 Monate aktuell $\alpha$ forciert	3,5	3,3	4,2	4,4	3,7	3,7
<b>Alterungsnote nach EICHORN</b>						
	Geruch	Trunk	Bittere	Gewichtete Note	Akzeptanz (%)	
frischer Hopfen forciert	1,8	2,0	1,6	1,8	65	
1 Monat original $\alpha$ forciert	2,0	2,0	1,7	1,9	58	
3 Monate original $\alpha$ forciert	1,6	1,9	1,5	1,7	65	
1 Monat aktuell $\alpha$ forciert	2,0	2,2	1,8	2,0	58	
3 Monate aktuell $\alpha$ forciert	1,9	1,9	1,8	1,8	62	

Tabelle 41 zeigt die DLG-Bewertungen und die Bewertung der Alterung nach EICHORN. Obwohl die gewichteten DLG-Noten fast keine Unterschiede zeigen, ist auch hier sichtbar, dass das Bier mit dem einmonatigen Hopfen tendenziell besser abschneidet als das mit frischem Hopfen. Allerdings ist bei fast allen Bieren mit gealtertem Hopfen der Abfall der DLG-Note zum forcierten Bier größer als beim Bier mit frischem Hopfen, so dass nur im frischen Bier die Vorzüge des leicht gealterten Hopfen vorliegen. Bei Betrachtung der DLG-Bitterbewertung fällt auf, dass die mit einmonatigem Hopfen hergestellten Biere im frischen Zustand kaum schlechter bewertet werden, als das Bier mit dem frischen Hopfen. Es zeigt sich aber auch, dass sich die Bierqualität bei Verwendung stark gealterter Hopfen auch im frischen Zustand bereits stark verschlechtert. Die Alterungsnoten nach EICHORN und die Alterungsakzeptanz zeigen, dass hier bereits beim leicht gealterten Hopfen eine starke Alterung erkennbar ist. Da die Alterung der Pellets relativ moderat war, sind keine großen Differenzen aufgetreten. Durch die inerte Atmosphäre sind viele wertgebende Stoffe weitgehend erhalten geblieben.

#### **4.4.3 Zusammenfassung**

In diesen Versuchen wurde unterschiedlich gealterter Hopfen als Braumaterial verwendet. Es zeigte sich, dass eine leichte Alterung von Pellets die Harmonie des Bieres etwas anheben kann. Allerdings ist dabei zu beachten, dass bei der Warmlagerung ein Teil der  $\alpha$ -Säuren bereits zu iso- $\alpha$ -Säuren umgewandelt wird und somit je nach Dosage (aktueller oder originaler  $\alpha$ -Gehalt) stark unterschiedliche Bierbitteren erreicht werden können. Für eine konstante Bittere müssen diese Faktoren berücksichtigt werden. Trotz höherer Harmonie in den frischen Bieren zeigten die gealterten Biere in der Bierqualität leichte Defizite. Muss, aus welchen Gründen auch immer, gealterter Hopfen eingesetzt werden, so kann der Grad der Alterung über den Hop Storage Index (HSI) bestimmt werden. Hopfen mit einem HSI  $> 0,5$  sollten keinesfalls für Brauzwecke verwendet werden, da die Bitterqualität und die Harmonie der damit hergestellten Biere leiden. Leicht gealterter Hopfen (HSI  $< 0,5$ ) sollte nur zu Kochbeginn eingesetzt werden, um unangenehme Aromakomponenten, die durch den gealterten Hopfen eingebracht werden, auszutreiben.

Aufgrund der Qualitätseinbußen durch die Verwendung gealterten Hopfens sollte den Lager- und Transportbedingungen, v. a. bei Übersee- oder langen Kontinentaltransporten von Hopfen im Sinne der späteren Bierqualität große Beachtung geschenkt werden.

## **4.5 Einflussfaktoren auf den Transfer von Hopfenaromastoffen**

### **4.5.1 Transfer von Hopfenaromastoffen im Pilotmaßstab**

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Biere wurden nur mittels Whirlpoolhopfung hergestellt, um den Transfer der Hopfenaromastoffe bei späten Hopfengaben bestimmen zu können. Um einen Einfluss der Gärtemperatur zu untersuchen, wurden auch zwei Gärtemperaturen (8 und 12 °C) angewandt. In Tabelle 42 sind die Polyphenol- und Bitterstoffanalysen der entsprechenden Würzen und Biere dargestellt. Die Ziffer hinter dem dreistelligen Hopfencode beschreibt die Stufe der dazugehörigen Hopfengabe (s. Abschnitt 3.5.2), wobei 1 für die niedrigste und 3 für die höchste Hopfendosagestufe stehen.

Aus Tabelle 42 ist zu erkennen, dass die Gesamtpolyphenole überwiegend mit steigenden Hopfengaben ansteigen. Aufgrund der deutlich niedrigeren Dosagemenge bei Verwendung der Sorte Taurus (HTU) enthalten die mit dieser Sorte hergestellten Biere die geringsten Gesamtpolyphenolgehalte. Ein vergleichbares Bild zeigen auch Anthocyanogene und Tanninoide. Die Abnahme des Anthocyanogengehaltes während der Gärung bewegt sich im Bereich 20-40 % und ist unabhängig von der Gärtemperatur. Die Tannoidgehalte nehmen 70-80 % ab. Dies bestätigt, dass phenolische Substanzen während der Hauptgärung deutlich abnehmen. Dabei muss berücksichtigt, dass auch der pH-Wert des Bieres unter dem der Würze liegt. Da dies auch einen Einfluss auf die Analytik hat, ist es schwierig diese Ergebnisse direkt zu vergleichen [390]. Dies gilt folglich auch für alle anderen Polyphenolanalysen.

Bei Betrachtung der Bitterstoffe ist zu sehen, dass die Abnahme während der Gärung hopfensortenintern relativ konstant bleibt. Die in den Bieren verbliebenen Bittereinheiten sind bei Whirlpoolhopfung nicht vernachlässigbar. Die iso- $\alpha$ -Ausbeute betrug im Mittel 5 %, im Einzelfall sogar 10 %, bezogen auf die dosierte Humulonmenge. Die dosierten Humulonmengen sind in Tabelle 15 dargestellt und schwanken je nach Stufe und Sorte

zwischen 16 und 100 mg/l. Durch die späte Hopfengabe wurden 2-5 mg/l iso- $\alpha$ -Säuren ins fertige Bier eingebracht. Je nach individuellen Gegebenheiten ist somit die bei einer späten

Tabelle 42: Ergebnisse der Würzen und Biere

		HOL 1	HOL 2	HOL 3	HSR 1	HSR 2	HSR 3
<b>Anthocyanogene [mg/l]</b>	Würze	82	88	105	85	100	116
	Bier 8 °C	65	63	74	66	64	80
	Bier 12 °C	69	61	73	59	64	83
<b>Gesamtpolyphenole [mg/l]</b>	Würze	189	196	212	196	217	268
	Bier 8 °C	159	144	170	174	169	201
	Bier 12 °C	173	154	184	168	155	203
<b>Tannine [mg/l]</b>	Würze	82	88	104	81	85	119
	Bier 8 °C	21	19	22	20	24	30
	Bier 12 °C	23	20	24	19	23	35
<b>Stammwürze [GG%]</b>	Bier 8 °C	11,84	11,99	12,27	12,78	12,90	12,54
	Bier 12 °C	11,79	11,77	12,37	12,47	12,75	12,25
<b>BE</b>	Würze	11,6	21,2	35,2	12,5	18,1	29,9
	Bier 8 °C	5,0	6,0	12,0	1,0	5,0	12,5
	Bier 12 °C	5,0	5,5	14,0	2,0	4,5	11,5
<b>iso-<math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	Würze	1,3	2,2	4,3	1,1	1,4	3,0
	Bier 8 °C	0,5	1,8	3,2	0,8	1,1	2,0
	Bier 12 °C	0,5	1,6	6,3	0,5	1,1	1,8
<b><math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	Würze	10,1	19,6	37,5	10,2	17,2	29,0
	Bier 8 °C	0,3	1,2	4,1	0,4	0,9	1,9
	Bier 12 °C	0,2	0,2	5,3	0,3	0,7	1,5
		<b>HTU 1</b>	<b>HTU 2</b>	<b>HTU 3</b>	<b>SSP 1</b>	<b>SSP 2</b>	<b>SSP 3</b>
<b>Anthocyanogene [mg/l]</b>	Würze	76	75	77	101	94	116
	Bier 8 °C	52	55	56	64	61	74
	Bier 12 °C	56	60	59	62	65	75
<b>Gesamtpolyphenole [mg/l]</b>	Würze	142	200	194	205	211	241
	Bier 8 °C	134	146	142	149	188	177
	Bier 12 °C	130	157	153	170	157	176
<b>Tannine [mg/l]</b>	Würze	63	72	69	94	101	120
	Bier 8 °C	17	18	17	20	18	31
	Bier 12 °C	17	18	19	21	18	32
<b>Stammwürze [GG%]</b>	Bier 8 °C	11,77	12,25	11,92	12,49	12,29	12,19
	Bier 12 °C	11,49	12,26	11,81	12,56	12,40	11,99
<b>BE</b>	Würze	16,2	22,7	41,6	11,5	18,2	32,9
	Bier 8 °C	4,0	4,5	11,5	4,0	5,0	10,0
	Bier 12 °C	1,5	2,5	9,0	3,5	3,5	12,5
<b>iso-<math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	Würze	1,0	1,4	3,1	0,7	1,6	1,8
	Bier 8 °C	1,9	1,9	4,6	1,6	2,7	4,1
	Bier 12 °C	1,2	2,2	4,5	1,5	3,7	3,7
<b><math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	Würze	16,6	29,4	53,9	10,4	19,0	32,9
	Bier 8 °C	2,4	2,5	6,4	0,0	0,2	1,2
	Bier 12 °C	0,7	2,7	7,1	0,0	0,0	1,4

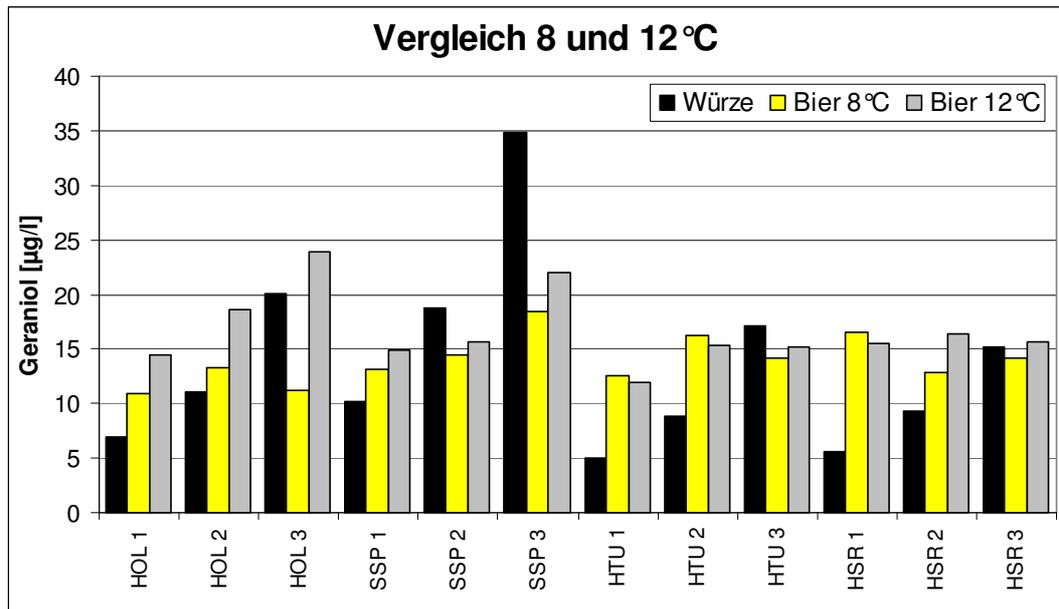
Tabelle 43: Gehalte an Hopfenaromastoffen in Würzen und Bieren

	Geraniol			$\alpha$ -Terpineol			$\beta$ -Caryophyllen		
	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier
HOL 1	7	11	14	4	22	Spuren	2	Spuren	Spuren
HOL 2	11	13	19	5	20	4	3	6	3
HOL 3	20	11	24	7	23	7	5	3	14
HSR 1	6	16	16	4	26	5	2	Spuren	4
HSR 2	9	13	16	5	14	5	2	3	5
HSR 3	15	14	16	7	34	6	3	4	5
HTU 1	5	13	12	3	29	4	2	3	Spuren
HTU 2	9	16	15	4	29	5	2	Spuren	Spuren
HTU 3	17	14	15	7	29	3	5	Spuren	Spuren
SSP 1	10	13	15	4	18	9	1	10	Spuren
SSP 2	19	14	16	6	17	4	2	Spuren	Spuren
SSP 3	35	18	22	7	23	5	4	5	10

	Nerol			Humulen			Linalool		
	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier	Würze	8 °C Bier	12 °C Bier
HOL 1	1	4	5	18	14	92	22	29	30
HOL 2	2	5	4	24	34	27	39	60	63
HOL 3	3	7	7	33	22	34	70	102	147
HSR 1	1	4	5	18	13	43	21	38	33
HSR 2	1	5	5	18	7	11	34	58	59
HSR 3	2	6	6	24	9	8	61	106	93
HTU 1	1	5	4	20	10	9	17	30	26
HTU 2	2	5	5	25	8	12	32	58	53
HTU 3	4	4	3	41	21	17	62	95	91
SSP 1	2	6	9	10	34	33	11	18	17
SSP 2	2	5	4	16	38	29	21	27	24
SSP 3	3	5	5	34	29	33	41	53	53

Hopfungabe eingebrachte Menge an iso- $\alpha$ -Säuren entsprechend zu berücksichtigen.

In Tabelle 43 sind die Gehalte der sechs gemessenen Hopfenaromastoffe in Würzen und Bieren aufgelistet. Die Gehalte von  $\alpha$ -Terpineol erwiesen sich als stark abhängig von der Gärtemperatur. Während in den bei 12 °C vergorenen Bieren die  $\alpha$ -Terpineolkonzentration sich gegenüber der Würze kaum verändert, war bei allen bei 8 °C hergestellten Bieren eine starke Zunahme dieses Hopfenaromastoffes zu beobachten. Hierfür könnten mehrere Gründe verantwortlich sein. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass  $\alpha$ -Terpineol aus glykosidisch gebundenen Vorstufen freigesetzt wird. Andererseits geht mit höheren Gärtemperaturen aufgrund der stärkeren Gäraktivität auch eine höhere CO<sub>2</sub>-Bildung



**Abbildung 61: Einfluss der Gärtemperatur auf den Geraniolgehalt**

einher. Dadurch könnte auch eine Austreibung von Aromastoffen durch das Gärungskohlendioxid, wie von STEINHAUS et al. [288] und SHARPE et al. [266] vermutet, ein Grund für die niedrigeren  $\alpha$ -Terpineolgehalte bei höheren Gärtemperaturen sein. In den Würzen folgt  $\alpha$ -Terpineol der Hopfengabe, in den fertigen Bieren setzt sich dieser Trend nicht fort.

Der  $\beta$ -Caryophyllengehalt der Würzen folgt ebenso der Hopfengabe aber im Laufe der Gärung kommt es teilweise zu hohen Verlusten, so dass dieser Aromastoff in einigen Bieren nicht mehr bzw. nur noch in nicht mehr quantifizierbaren Spuren nachgewiesen werden konnte. Die Konzentrationen an Nerol sind als sehr gering einzustufen, aber es ist zu erkennen, dass während der Gärung Nerol entsteht. Neben der Freisetzung aus glykosidisch gebundenem Nerol könnte auch die Hefe in anderer Weise für diesen Anstieg verantwortlich sein. KING et al. [274] fanden, dass die Hefe in der Lage ist, Geraniol in Nerol umzuwandeln. Allerdings kann die Nerolzunahme nicht alle Geraniolverluste erklären. Wie aus Abbildung 61 hervorgeht, steigt nicht bei allen Suden der Geraniolgehalt während der Gärung an. Bei allen Suden mit der höchsten Hopfendosage fällt der Geraniolgehalt während der Gärung. Neben Nerol können durch die Hefe auch weitere Aromastoffe aus Geraniol gebildet werden. Dazu zählen Linalool, Citronellol,  $\alpha$ -Terpineol

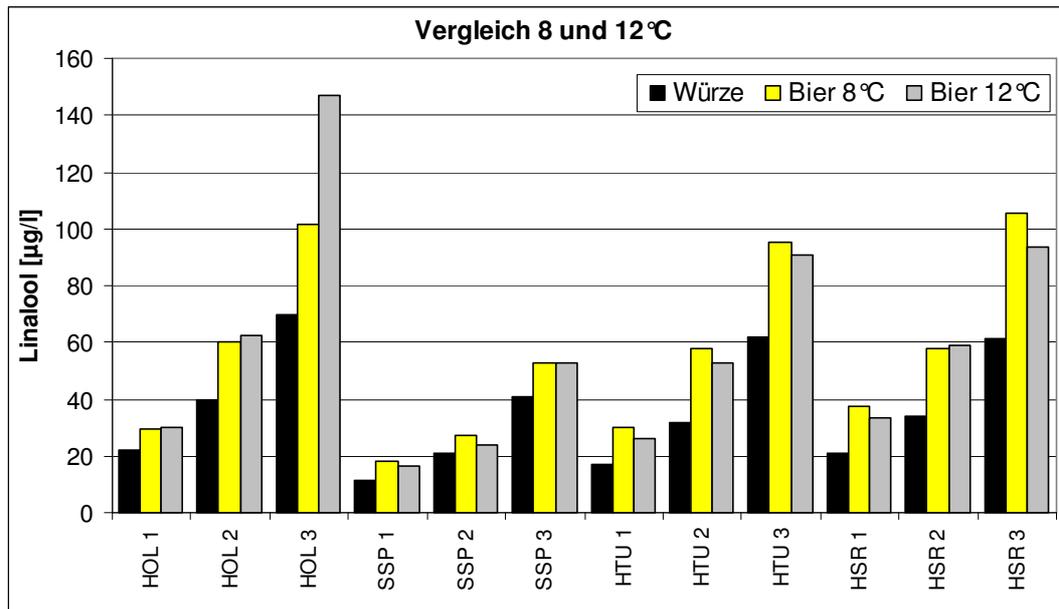


Abbildung 62: Einfluss der Gärtemperatur auf den Linaloolgehalt

sowie Essigsäureester von Geraniol und Citronellol (Geranyl- bzw. Citronellylacetat) [275, 274, 305, 273]. Die in Abbildung 62 gezeigte Zunahme von Linalool während der Gärung ist neben der bereits erwähnten Biotransformation überwiegend auf die Freisetzung glykosidisch gebundener Formen zurückzuführen [302, 128]. Auch DAENEN et al. [302] konnten Linaloolanstiege während der Gärung von ca. 13 µg/l beobachten und führten dies auf eine entsprechende Enzymaktivität der Hefe zurück. Der Linaloolanstieg während der Gärung fällt sehr unterschiedlich aus und es zeigt sich, dass die bei 12 °C hergestellten Biere zum Teil leicht niedrigere Linaloolgehalte aufweisen. Zum einen könnte dies, wie bereits erwähnt, auf eine Austreibung der Aromastoffe durch CO<sub>2</sub> zurückzuführen sein. Zum anderen könnte eine durch die kühlere Gärtemperatur bedingte längere Kontaktzeit der Würze/des Jungbieres mit der Hefe den Linaloolgehalt ansteigen lassen. Da die Linaloolanstiege während der Gärung je nach verwendeter Sorte unterschiedlich ausfallen, ist zu vermuten, dass die jeweiligen Sorten ein unterschiedliches glykosidisch gebundenes Aromapotential aufweisen. Obwohl alle Hopfensorten die gleichen Aglykone besitzen, ist die jeweilige Menge sortenspezifisch [303]. In den vorliegenden Versuchen zeigte die Sorte Opal (HOL) ein hohes Aromapotential, welches durch die Hefe freigesetzt wurde.

Bei allen Versuchen stieg die Intensität des Hopfenaromas mit steigender Hopfendosage an. Abbildung 63 zeigt den Linaloolgehalt aller Biere (8 und 12 °C) aller Sorten und die dazugehörige Bewertung der Intensität des Geruchs an. Es zeigt sich, dass mit steigenden Linaloolgehalten ein sehr deutliches Hopfenaroma erzeugt werden kann. Allerdings ist dies nicht bis zur Unendlichkeit durchführbar, da die Kurve zu höheren Linaloolkonzentrationen hin abflacht. Ebenso steigt die Intensität des Hopfenaromas im Trunk mit steigender Hopfengabe an. Die ausführlichen Verkostungsergebnisse für jede Hopfensorte sind in den Tabellen 74-78 im Anhang dargestellt. In Abbildung 64 ist ein bei fast allen untersuchten Sorten aufgetretenes Bild (hier am Beispiel der HTU-Biere) dargestellt. Obwohl die bei 12 °C hergestellten Biere tendenziell geringere Linaloolgehalte aufweisen (s. Abb. 62), ist die geruchliche Intensität des Hopfenaromas stets besser als bei den 8 °C Bieren. Wie in Abschnitt 4.2.3 bereits gezeigt, können kombinatorische Effekte von Hopfenaromastoffen mit 2-Phenylethanol und weiteren Gärungsnebenprodukten nur unzureichend dafür verantwortlich gemacht werden. Wahrscheinlicher ist, dass das allgemein fruchtigere Aroma der 12 °C Biere positiv zur Intensität des Hopfenaromas beiträgt und dadurch eine höhere Intensität bemerkbar ist. Wie in Abschnitt 4.2 gezeigt werden konnte, wird eine Mischung von Fruchtestern intensiver wahrgenommen als die jeweiligen Einzelsubstanzen. Da bei höheren Temperaturen höhere Gehalte dieser Fruchtester entstehen

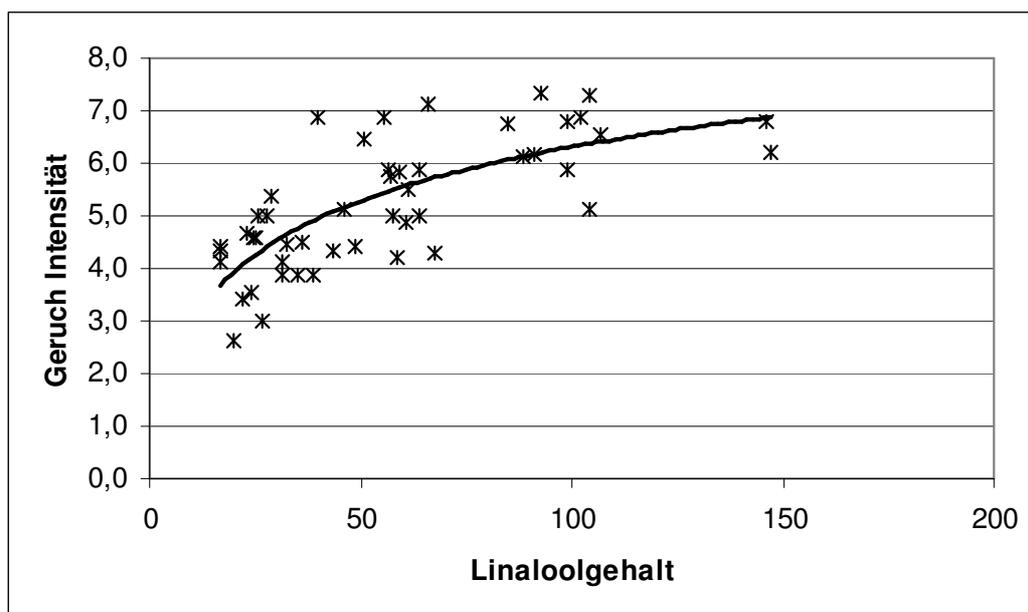


Abbildung 63: Einfluss des Linaloolgehaltes auf die Intensität des Geruchs des Hopfenaromas

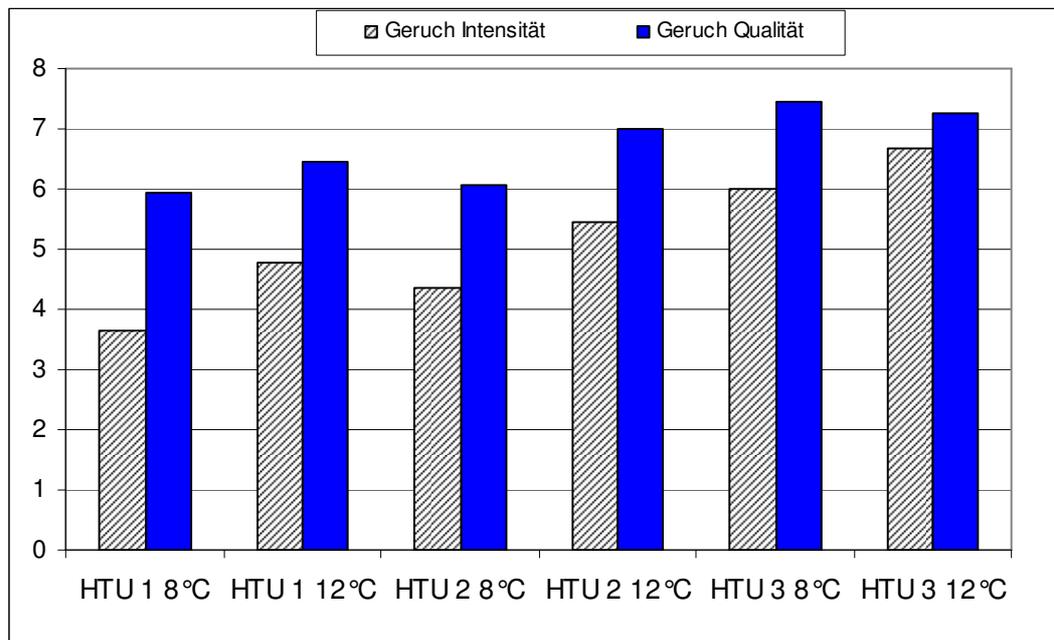


Abbildung 64: Einfluss der Gärtemperatur auf das sensorisch wahrnehmbare Hopfenaroma

[377, 375, 362], wird das intensivere Hopfenaroma auf diese kombinatorischen Effekte zwischen den Estern zurückgeführt.

Die Qualität des Hopfenaromas im Trunk wies diesen Einfluss durch die Gärtemperatur nicht auf.

Bei der Beurteilung der Bittere zeigten die eingesetzten Sorten Gemeinsamkeiten. Bei steigenden Dosagen wurde die Bittere der Biere als harmonischer beschrieben. Allgemein ist die Bewertung der Bittere allerdings schwach, was über die geringen Bitterstoffgehalte erklärbar ist. Die späte Hopfengabe führte nur bei den 8 °C-Bieren der Sorte Opal zu einer dominanten harten und kratzigen Bittere. Die Harmonie der Biere wurde mit steigender Aromahopfengabe stets verbessert.

Auf Basis der durchgeführten Versuche ist es möglich, Aromastoffausbeuten bzw. Transferraten zu berechnen. Tabelle 44 zeigt die Transferraten für die sechs Hopfenaromastoffe. Hier zeigen sich Unterschiede zwischen den Sorten und auch den einzelnen Aromastoffen auf. Werte über 100 % sind dahingehend erklärbar, dass die Messmethode [353] von den realen Braubedingungen leicht abweicht. Durch die kürzeren Whirlpoolzeiten und die höhere Whirlpooltemperatur im Vergleich zur analytischen Extraktion können mehr leichtflüchtige Aromastoffe in der Würze verbleiben. Andererseits

gibt es u. a. für Geraniol die Aussage, dass es beim Erhitzen von Hopfen in wässriger Suspension zu einer Neubildung von Geraniol kommt. Es wird davon ausgegangen, dass normalerweise das Geraniol beim Brauprozess bereits beim Kochen der Würze aus bislang unbekanntem, thermisch labilen Vorstufen freigesetzt wird, jedoch beim Kochen wieder ausgedampft wird, und es auch zu keiner weiteren Neubildung, beispielsweise im Rahmen der Gärung kommt [391]. Dies ist bei den erfolgten Versuchen nicht der Fall, da eine Kochung nach der Dosage nicht stattgefunden hat und somit die Ausdampfung der neu freigesetzten Geraniolmenge nicht erfolgte.

Abbildung 65 zeigt die Unterschiede in den Linalooltransferraten in die Würze. Mit steigenden Dosagen ist eine Verschlechterung des Aromastofftransfers in die Würze zu erkennen, die z. B. bei der Sorte Saphir (HSR) sehr ausgeprägt sein kann. Weiterhin ist zu erkennen, dass Spalt Spalter (SSP) im Vergleich zu den anderen Sorten geringere Ausbeuten aufweist. SSP besitzt einige Besonderheiten. Zum einen war es die einzige Sorte, die nicht in der Hallertau, sondern in Spalt angebaut wurde. Daher ist es möglich, dass der Anbauort und die Sorte an sich einen Einfluss auf die Transferrate haben. Des Weiteren war SSP die einzige Sorte, die als angereicherte Pellets verwendet wurde und nicht als Typ 90, wie die anderen. Die gefundenen unterschiedlichen Transferraten sind konform mit Beschreibungen von KOLBACH, welcher bereits 1944 darauf hinwies, dass unterschiedliche Hopfen bei gleichen Dosagemengen ein unterschiedliches Aroma hervorrufen [126]. Wobei bei seinen Versuchen wahrscheinlich auch der Aromastoffgehalt der verwendeten Hopfensorten unterschiedlich war.

**Tabelle 44: Transferraten für Hopfenaromastoffe in die Würze bei vier Hopfensorten und drei Dosagehöhen**

	Geraniol	$\alpha$ -Terpineol	$\beta$ -Caryophyllen	Nerol	Humulen	Linalool
<b>HOL 1</b>	170	223	39	147	140	79
<b>HOL 2</b>	136	128	28	218	93	70
<b>HOL 3</b>	124	89	21	128	63	62
<b>SSP 1</b>	196	203	10	243	27	57
<b>SSP 2</b>	181	134	6	115	21	52
<b>SSP 3</b>	167	78	7	98	22	51
<b>HTU 1</b>	239	147	17	251	79	85
<b>HTU 2</b>	210	94	10	206	48	80
<b>HTU 3</b>	201	79	10	208	39	78
<b>HSR 1</b>	200	149	20	264	83	106
<b>HSR 2</b>	16	96	12	155	40	85
<b>HSR 3</b>	134	70	9	103	27	76

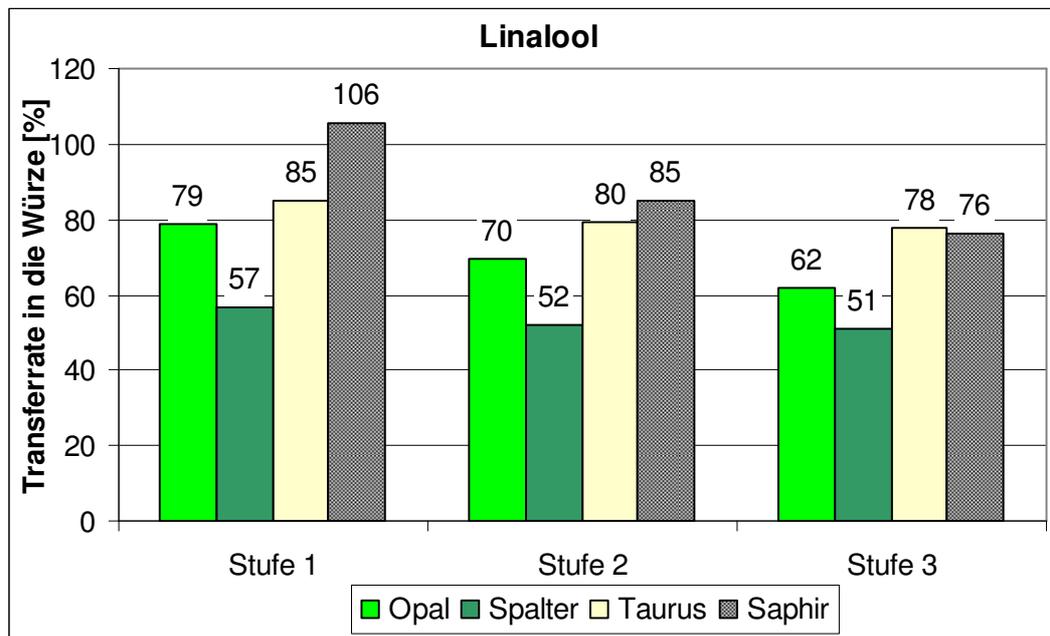


Abbildung 65: Graphische Darstellung der Transferrate für Linalool im Pilotmasstab

#### 4.5.2 Versuche im Industriemasstab

In zwei mittelständigen Brauereien mit unterschiedlichen Kochsystemen wurden die Hopfenaromastoffe bei späten Hopfengaben verfolgt und die Transferrate für Linalool mit den Pilotsuden verglichen.

Für Brauerei A konnte keine direkte Transferrate bestimmt werden, da dieses Unternehmen mit einem speziellen Nachverdampfungssystem arbeitet. Tabelle 45 zeigt die Hopfenaromastoffe und es ist auch erkennbar, dass durch die Nachverdampfung ein Großteil der positiven Aromastoffe ebenfalls ausgetrieben wird. Der Abfall der Aromastoffkonzentration von der letzten Hopfengabe bis nach den Whirlpool ist über eine 10minütige offene Kochung direkt vor der Whirlpoolrast am Ende der Heißhaltezeit zu erklären, dadurch werden bereits Aromastoffe ausgetrieben. Durch die Nachverdampfung nach dem Whirlpool werden fast 50 % des vorher vorhandenen Linalools ausgetrieben. Da die letzte Hopfengabe vor diesem Kochabschnitt lag, war keine Bestimmung der Transferrate möglich.

Tabelle 45: Verlauf der Hopfenaromastoffe in Brauerei A

	Geraniol	$\alpha$ -Terpineol	$\beta$ -Caryophyllen	Nerol	Humulen	Linalool
<b>vor lt. Hopfung</b>	16,6	23,4	71,3	3,5	361,2	68,1
<b>nach Whirlpool</b>	17,8	34,6	2,4	4,2	19,3	54,2
<b>nach Nachverdampfung</b>	15,6	28,1	3,5	4,1	21,3	30,0
<b>Bier</b>	14	47	Sp.	6,1	10,8	38

Brauerei B arbeitet mit einem klassischen Aussenkocher. Durch die letzte Hopfengabe beim Ausschlagen ergibt sich ein Anstieg des Linalools um 8  $\mu\text{g/l}$ . Auf Basis der letzten Hopfengabe (12  $\mu\text{g}$  Linalool /l AW) ergibt sich eine Transferrate von 65 %. Dieser Wert ist in dem Bereich, der durch die Pilotversuche gefunden wurde. Ebenso wie SSP gehört TTE, welcher hier für die letzte Hopfengabe verwendet wurde, dem Saazer Formenkreis an, so dass die etwas geringere Transferrate evtl. eine Eigenschaft des Formenkreises ist.

Auffällig sind die starken Anstiege an  $\alpha$ -Terpineol während der Gärung. Aufgrund der kalten Gärührung ( $\leq 10$  °C) beider Brauereien bestätigt dies die Ergebnisse der Pilotsude, wonach  $\alpha$ -Terpineol stark durch die Gärtemperatur beeinflusst wurde. In beiden Brauereien wurde ein Anstieg des Linalools und Nerols sowie ein Abfall des Geraniols beobachtet. Die Gründe hierfür wurden im vorangegangenen Abschnitt erläutert. Es zeigt sich ebenso, dass die Aromastoffausbeute von der im Sudhaus angewandten Technik und Technologie zur Würzebereitung abhängt.

Tabelle 46: Hopfenaromastoffe in Brauerei B

	Geraniol	$\alpha$ -Terpineol	$\beta$ -Caryophyllen	Nerol	Humulen	Linalool
<b>Pfanne</b>	12,7	7,6	44,8	2,3	229,7	4,0
<b>Kühlmitte</b>	16,9	15,3	5,0	2,6	39,1	12,1
<b>Bier</b>	12	41	5	4,8	53,0	14

### 4.5.3 Zusammenfassung

Da die Gehalte der Ölbestandteile schwanken, kann es bei einer stets gleichbleibenden  $\alpha$ -Dosage zu Kochende zu starken Unterschieden in der Aromausprägung kommen, zumal das Verhältnis von Bitterstoffen und Aromastoffen ebenfalls jährlichen Schwankungen unterliegt [353, 265]. Um ein gleichbleibendes Hopfenaroma zu erhalten, ist es sinnvoll, die Hopfendosage zu Kochende bzw. in den Whirlpool auf Basis des Linaloolgehaltes durchzuführen. Bisher gab es bezüglich des Aromastofftransfers nur die Aussage, dass bei späten Hopfengaben „fast alles“ an Aromastoffen in die Würze eingebracht wird [128, 273] und genauere Werte fehlten bisher. In dieser Versuchsreihe wurde für Linalool und weitere Hopfenaromastoffe die Transferrate von den Pellets in die Würze bestimmt. Für Linalool als wichtigsten Aromastoff lagen diese Werte in Abhängigkeit der Sorte, Dosagehöhe und eventuellen proenziellen Einflüssen bei 50-100 %.

Während der Gärung konnte eine Freisetzung von Linalool und anderen Aromastoffen beobachtet werden. Eine Abhängigkeit von der Gärtemperatur zeigte  $\alpha$ -Terpineol, welches bei niedrigen Gärtemperaturen vermehrt freigesetzt wurde. Die Gründe für diese Aromastoffveränderungen wurden diskutiert.

Auf die Wahrnehmung des Hopfenaromas spielt die Gärtemperatur eine große Rolle. Biere, die bei 12 °C vergoren wurden, hatten zwar teilweise geringere Hopfenaromastoffgehalte, wurden aber in der Intensität des Hopfenaromas stärker beurteilt, was wahrscheinlich auf den fruchtigeren Gesamteindruck der wärmer vergorenen Biere zurückzuführen ist.

Durch eine Hopfendosage zu Kochende auf Basis des Linaloolgehaltes ist es daher möglich, qualitativ gleichmäßigere hopfenaromatische Biere zu erzeugen und Schwankungen in der Rohstoffzusammensetzung auszugleichen. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine gleichbleibende Heißwürzebehandlung, da diese auch einen großen Einfluss auf den Transfer von Hopfenaromastoffen hat, wie am Beispiel der Industrierversuche gezeigt werden konnte.

## **4.6 Einfluss des Hopfengabezeitpunktes und der Hopfensorte auf die Bierqualität und Harmonie**

### **4.6.1 Variation des Hopfengabezeitpunktes**

Die für diese Versuche verwendete Aromahopfensorte TTE der Ernte 2006 zeichnete sich durch einen relativ geringen  $\alpha$ -Gehalt ( $\sim 3\%$ ) sowie einen niedrigen Linaloolgehalt aus. Es wurden stets 3 g Hopfen pro L AW (entspricht 93 mg  $\alpha$ /l) zu den jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten während des Würzekochens dosiert. In Tabelle 47 sind die Würzeergebnisse sowie die verschiedenen Ausbeuten dargestellt. Es zeigt sich, dass die Menge der gelösten Gesamtpolyphenole bei einer Dosage zu Kochbeginn am größten ist, während bei Dosagen zu Kochmitte bzw. Kochende keine Unterschiede zu sehen sind. Das gleiche Bild zeigen die Anthocyanogene, welche u. a. von KNORR als eiweißfällend und trübungsbildend gesehen werden [138]. PÖSCHL et al. fanden, dass ein Anstieg im Redoxpotential mit steigenden Anthocyanogengehalten einhergeht [392].

Die photometrischen Bittereinheiten sind bei den Bieren, die zu Kochbeginn und Kochmitte gehopft wurden gleich, obwohl sich im Kochbeginn Bier 10 mg iso- $\alpha$ -Säuren/l mehr befinden. Dies bestätigt die Ergebnisse aus Abschnitt 4.5, wonach die BE nach der Hopfendosage sehr schnell ansteigen, die iso- $\alpha$ -Säuren aber nur langsam folgen. Die Ausbeute bei der Whirlpoolhopfung betrug 7 % und liegt somit in dem Rahmen, der in Abschnitt 4.5 gefunden wurde. Es zeigt sich auch, dass in 30 Minuten Kochzeit ca. zwei Drittel der  $\alpha$ -Säuren isomerisieren. Ebenso ist zu sehen, dass bei späten Hopfendosagen der Transfer der Hopfenaromastoffe deutlich verbessert wird. Überraschend ist hier allerdings die hohe Transferrate für Linalool. Die Ursache liegt hier wahrscheinlich im analytischen Bereich (Wert in der Würze wahrscheinlich zu hoch), so dass dieser Wert besonders kritisch zu betrachten ist. Diese Annahme wird dadurch untermauert, dass während der Gärung kein Anstieg in der Linaloolkonzentration feststellbar ist. Die Transferrate des Linalools ins fertige Bier mit ca. 150 % bei reiner Whirlpoolhopfung ist allerdings in dem Bereich, der den bereits beschriebenen Transferraten entspricht. Bei den Bieranalysen (s. Tab. 49) zeigt sich das Bild, dass je später die Hopfengabe erfolgt, desto weniger Anthocyanogene sind im Bier vorhanden. Wie bei den Würzen zeigt sich auch hier der erwartete Verlauf der photometrischen Bittereinheiten und der iso- $\alpha$ -Säuren.

Tabelle 47: Würzeergebnisse bei unterschiedlichen Hopfendosagezeitpunkten

Würze	Kochbeginn	Kochmitte	Whirlpool	ungehopft
pH-Wert	6,07	5,90	5,85	5,85
Stammwürze (GG%)	11,7	12,0	12,2	12,0
Gesamtpolyphenole [mg/l]	261	238	245	153
Gesamtpolyphenole bez. a. 12 GG% [mg/l]	268	238	242	154
Anthocyanogene [mg/l]	97	70	73	62
Anthocyanogene bez. a. 12 GG% [mg/l]	99	69	72	62
Gesamtpolyphenole/Anthocyanogene	2,70	3,42	3,37	2,48
Bittereinheiten	58	60	49	1
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	31,9	21,7	7,2	-
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	24,6	33,9	45,0	-
Geraniol [ $\mu$ g/l]	12	19	39	-
Terpineol [ $\mu$ g/l]	6	6	34	-
Caryophyllen [ $\mu$ g/l]	6	11	7	-
Nerol [ $\mu$ g/l]	7	8	11	-
Humulen [ $\mu$ g/l]	38	71	44	-
Linalool [ $\mu$ g/l]	3	7	81	-
Bitterstoffausbeute [%]	34,2	23,2	7,7	-
Geranioltransferrate [%]	50	77	156	-
Terpineoltransferrate [%]	80	84	460	-
Caryophyllentransferrate [%]	2	3	2	-
Neroltransferrate [%]	110	117	171	-
Linalooltransferrate [%]	9	18	208	-

Durch die späten Hopfengaben werden vermehrt flüchtige Komponenten ins Bier eingebracht, die bei zeitigeren Dosagen ausgetrieben würden. Es zeigt sich auch, dass mit steigender Kochzeit (>30 min) mehr Polyphenole in die Würze eingebracht werden, wobei sich dieser Trend in den Bieren nivelliert. KAREL beschreibt, dass Hopfengerbstoffe schlechter ins fertige Bier gelangen. Dem begegnete er, dass er den Hopfen nach 30 min Kochzeit dosierte, um mehr Hopfengerbstoffe in das Bier zu bekommen [393]. Der Anteil der Hopfenpolyphenole an den Gesamtpolyphenolen (bez. auf 12 %) beträgt bei den hier erhaltenen Bieren 40 %. Dies ist wesentlich mehr als die Werte, die in der Literatur [80, 135] angegeben sind. Dadurch, dass der hier verwendete Hopfen einen relativ geringen  $\alpha$ -Gehalt aufwies, wurden auch mehr „Blattmatrixbestandteile“ und somit auch mehr phenolische Substanzen dosiert. Von vielen Autoren werden die Anthocyanogene als negativ angesehen, da sie Bestandteil der kolloidalen Trübung sind und mit steigendem Anthocyanogengehalt die Trübungsanfälligkeit steigt [394, 395, 396, 393, 138, 397, 398].

Tabelle 48: Bierergebnisse bei unterschiedlichen Hopfendosagezeitpunkten

Bier	Kochbeginn	Kochmitte	Whirlpool	ungehopft
pH-Wert	4,65	4,70	4,70	4,30
Stammwürze (GG%)	11,5	11,7	11,7	12,3
Alkohol [%vol]	4,65	4,82	4,90	5,15
Gesamtpolyphenole [mg/l]	180	189	187	122
Gesamtpolyphenole bez. a. 12 GG% [mg/l]	189	194	192	114
Anthocyanogene [mg/l]	58	56	52	42
Anthocyanogene bez. a. 12 GG% [mg/l]	61	57	53	41
Gesamtpolyphenole/Anthocyanogene	3,09	3,37	3,62	2,94
Bittereinheiten	32	28	21	-
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	28,5	20,1	6,8	-
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	1,8	3,0	3,4	-
Geraniol [ $\mu$ g/l]	4	3	7	-
$\alpha$ -Terpineol [ $\mu$ g/l]	5	6	7	-
Caryophyllen [ $\mu$ g/l]	Sp.	Sp.	Sp.	-
Nerol [ $\mu$ g/l]	2	3	7	-
Humulen [ $\mu$ g/l]	9	4	6	-
Linalool [ $\mu$ g/l]	4	7	59	-
Bitterstoffausbeute [%]	31	22	7	-
Geranioltransferrate [%]	18	12	27	-
Terpineoltransferrate [%]	66	81	95	-
Neroltransferrate [%]	33	38	108	-
Linalooltransferrate [%]	9	19	153	-

POLLOCK konnte allerdings keinen Zusammenhang zwischen Trübungsneigung und Anthocyanogengehalt finden [399]. Andererseits werden sie auch als wirksamer Bestandteil des Würze- und Bierredoxsystemes gesehen mit entsprechenden sensorischen Eigenschaften [400]. Für den böhmischen Biertyp schreibt MOŠTEK [400] den Anthocyanogenen eine große Bedeutung zu, da an Anthocyanogenen arme Biere unharmonisch und atypisch waren. Auch KOLBACH fand, dass die Gerbstoffe die Bittere des Bieres beeinflussen können [401]. Allerdings sagte er, dass hopfengerbstofffreie Biere milder im Geschmack sind [402]. WURZBACHER et al. [403] konnten keine negative Bittere der Polyphenole finden und verbinden mit den Polyphenolen einen besseren Schutz gegenüber oxidativen Einflüssen. Sie schreiben diese Wirkung aber den nicht oxidierten niedermolekularen Polyphenolen im Sudhaus zu, da beim Bier-pH eine nur sehr stark eingeschränkte Wirkweise vorhanden ist.

Wie zu erwarten war, zeigten die Biere bei unterschiedlichen Hopfengabezeitpunkten deutliche sensorische Unterschiede. Während die bei Kochbeginn und Kochmitte

gehopften Biere nur ein geringes Hopfenaroma aufwiesen, zeigte das whirlpoolgehopfte Bier ein deutliches Hopfenaroma, welches auch noch im forciert gealterten Bier wahrnehmbar war (s. Abb. 66). Es zeigte sich auch, dass ein wahrnehmbares Hopfenaroma zu deutlich besseren DLG-Bewertungen führte und zu einer besseren Geschmacksstabilität. Wie aus Tabelle 49 abgelesen werden kann, wurde das gealterte whirlpoolgehopfte Bier deutlich besser bewertet (DLG) als die beiden Vergleichsbiere.

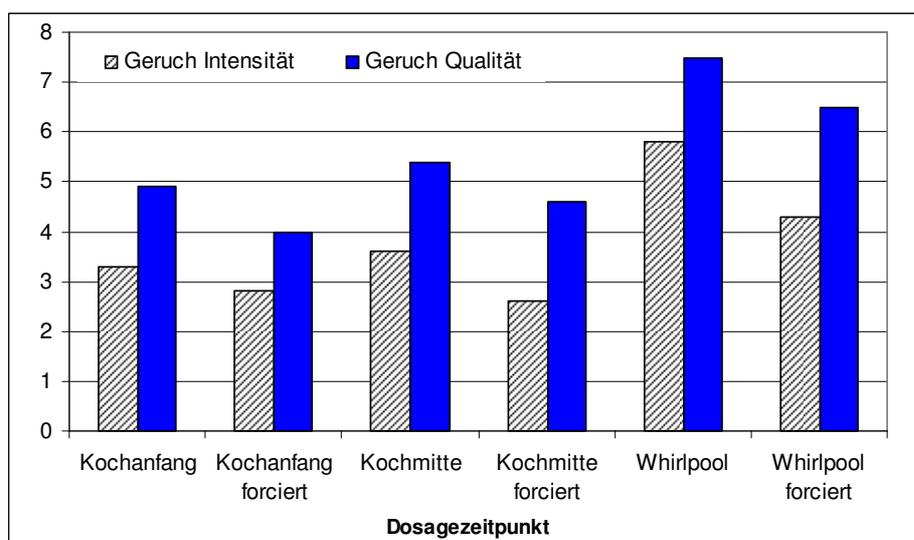
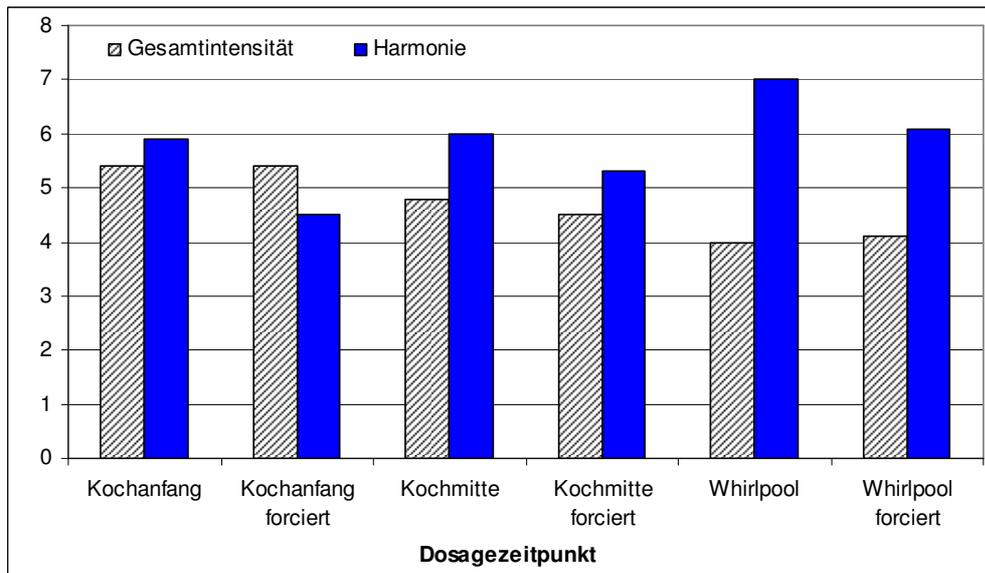


Abbildung 66: Einfluss des Hopfendosagezeitpunktes auf das Hopfenaroma

Tabelle 49: DLG- und Alterungsbewertung bei unterschiedlichem Hopfengabezeitpunkt

	Geruch	Trunk	Vollmundigkeit	Rezenz	Bittere	Gewichtete DLG-Note
<b>Kochbeginn</b>	3,9	4,1	4,4	4,3	4,0	4,1
<b>Kochbeginn forciert</b>	3,4	3,4	4,3	4,3	3,8	3,7
<b>Kochmitte</b>	3,8	4,0	4,5	4,5	4,1	4,1
<b>Kochmitte forciert</b>	3,6	3,7	4,4	4,4	3,9	3,9
<b>Whirlpool</b>	4,8	4,6	4,7	4,7	4,6	4,7
<b>Whirlpool forciert</b>	4,1	4,1	4,6	4,7	4,3	4,3
<b>Alterungsnote nach EICHORN</b>						
	Geruch	Trunk	Bittere	Gewichtete Note	Alterungsakzeptanz (%)	
<b>Kochbeginn forciert</b>	1,9	2,0	1,7	1,9	60	
<b>Kochmitte forciert</b>	1,7	1,7	1,6	1,7	71	
<b>Whirlpool forciert</b>	1,6	1,6	1,4	1,6	78	



**Abbildung 67: Einfluss des Hopfendosagezeitpunktes auf Harmonie und Bitterintensität**

Damit konnten die Ergebnisse von KALTNER [128] bestätigt werden, wonach ein positives Hopfenaroma die negativen Geschmackseindrücke einer beginnenden Bialterung unterdrücken kann und dadurch positiv auf die Geschmacksstabilität wirkt. Nicht so deutlich wird dieser Trend bei Betrachtung der Alterungsverkostung nach EICHORN. Zwar hat auch hier das whirlpoolgehopfte Bier die beste Bewertung, aber diese ist nicht so deutlich besser als die DLG-Bewertung.

Der Zeitpunkt der Hopfengabe wirkte sich auch auf die Gesamtintensität der Bittere aus, wie auch schon anhand der Bitterstoffanalysen gesehen werden konnte. Abbildung 67 zeigt ebenso die Auswirkungen des Hopfendosagezeitpunktes auf die Harmonie der Biere. Späte Hopfengaben förderten sehr deutlich die Harmonie, während eine mittlere Hopfengabe hier keinen positiven Einfluss auf die Harmonie der frischen Biere hatte. Allerdings zeigte das forcierte kochmittegehopfte Bier harmonischere Ausprägungen als das zu Kochbeginn gehopfte Bier. Hier stellt sich die Frage, ob eine alleinige Verwendung von Aromahopfen zu Kochbeginn dem Geschmacksbild des Bieres förderlich ist? Dazu wurden die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Versuche durchgeführt. Die ausführliche sensorische Beschreibung der Biere ist in Tabelle 78 im Anhang dargestellt.

#### 4.6.2 Variation der Hopfensorte / Beimischung von Aromahopfen bei Kochbeginn

In der Literatur gibt es Hinweise, dass eine Beimischung von Pellets zur Hopfengabe bei Kochbeginn die Bierqualität positiv beeinflusst [404]. Um zu überprüfen, ob durch Aromahopfen zu Kochbeginn das Bier wirklich harmonischer wird, wurden in zwei Forschungsbrauereien vergleichbare Sude mit Variation der Hopfengabe zu Kochbeginn durchgeführt. Bei diesen Bieren sollte ein iso- $\alpha$ -Säuregehalt von 22 mg/l erreicht werden. In Braustätte T (Weihenstephan) betrug die Schwankungsbreite 3,4 mg/l (19,5-22,1 mg/l) und in Braustätte H (Forschungsbrauerei St. Johann) 5,3 mg/l (18,4-23,7 mg/l). Bezüglich der Polyphenole enthalten die Biere, die mit 100 % Pellets gebraut deutlich mehr phenolische Substanzen als die Biere, die mit 50 %-Pelletanteil hergestellt wurden. Bei den Sorten Saphir und Tettninger ist die Zunahme der Gesamtpolyphenole überproportional

Tabelle 50: Bieranalysen der Serie A (Weihenstephan)

	TAO	TAX X	TAXPHT HHT 50	TAPHT HHT 100	TAXPSR HSR 50	TAPSR HSR 100	TAXPTE TTE 50	TAPTE TTE 100	TAPTU HTU P
Stammwürze [%mas]	11,33	11,39	11,28	11,11	11,14	11,1	11,21	11,32	11,27
Alkohol [%vol]	4,86	4,89	4,77	4,71	4,69	4,67	4,73	4,77	4,8
scheinbarer Extrakt [GG%]	2,14	2,15	2,26	2,2	2,27	2,26	2,27	2,32	2,2
Vergärungsgrad scheinbar [%]	81,1	81,1	80,0	80,2	79,6	79,6	79,8	79,5	80,5
pH	4,43	4,5	4,45	4,4	4,49	4,4	4,5	4,49	4,41
Farbe	6,2	6,5	6,1	6,1	6	6,7	6,4	6,6	6,4
Gesamtpolyphenole [mg/l]	145	125	148	166	161	218	156	230	149
Anthozyanogene [mg/l]	52	48	58	67	56	89	68	108	48
Tanninoide [mg/l]	16	16	20	30	22	50	25	52	17
BE	2	19	18	21	18	18	19	22	23
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	0,0	22,1	21,7	20,7	19,8	19,5	19,8	21,2	21,6
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	0,0	1,8	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,0	0,7

Tabelle 51: Bieranalysen der Serie A (St. Johann)

	HAO	HAX	HAXPHT	HAPHT	HAXPSR	HAPSR	HAXPTE	HAPTE	HAPTU
		X	HHT 50	HHT 100	HSR 50	HSR 100	TTE 50	TTE 100	HTU P
<b>Stammwürze [%mas]</b>	11,78	11,98	12,05	11,58	11,63	11,91	11,68	11,97	11,93
<b>Alkohol [%vol]</b>	5,14	5,27	5,2	5,03	5,09	5,14	5,08	5,14	5,15
<b>scheinbarer Extrakt [GG%]</b>	2,09	2,05	2,28	2,09	2,03	2,24	2,1	2,3	2,23
<b>Vergärungsgrad scheinbar [%]</b>	82,3	82,9	81,1	82,0	82,5	81,2	82,0	80,8	81,3
<b>pH</b>	4,66	4,78	4,68	4,51	4,68	4,64	4,61	4,65	4,67
<b>Farbe</b>	6,9	7,1	7,1	6,3	7	7,4	7	7,5	7
<b>Gesamtpolyphenole [mg/l]</b>	163	139	170	175	152	234	198	239	175
<b>Anthozyanogene [mg/l]</b>	58	60	75	82	70	105	73	105	63
<b>Tannoide [mg/l]</b>	18	20	32	49	39	67	45	72	28
<b>BE</b>	3	20	18	24	22	19	21	22	25
<b>iso-<math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	1,9	22,6	21,7	23,7	21,0	18,4	20,2	20,6	21,5
<b><math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	0,0	1,7	1,6	1,8	1,3	1,1	1,1	1,9	1,0

zur Hopfengabe. Anthozyanogene und Tannoide zeigen dasselbe Verhalten. In den Tabellen 50 und 51 sind die einzelnen Bieranalysen der einzelnen Biere aus Serie A aus beiden Braustätten aufgeführt. Anhand der Basisanalysen (Stammwürze, pH-Wert, iso- $\alpha$ -Säuren, Vergärungsgrad) sind diese Biere jeweils vergleichbar. Die Ergebnisse der Bieraromastoffe und Alterungsindikatoren (frisch und forciert) sind im Anhang in den Tabellen 82 bis 85 aufgeführt. Dabei fällt auf, dass die H-Biere geringere Gehalte an 2-Phenylethanol aufweisen. Da in beiden Brauereien, die gleiche Gärtemperatur angewandt wurde, sind die höheren Gehalte bei den T-Bieren auf eine höhere Gärintensität der verwendeten Hefe zurückzuführen. Auf eine etwas bessere Hefequalität in Braustätte T ist auch aufgrund der geringeren Gehalte an mittelkettigen Fettsäuren (C<sub>8</sub>-C<sub>12</sub>) zu schließen. Bei Betrachtung der Alterungsindikatoren beider Braustätten zeigt sich ein allgemein niedriges Niveau mit einer Tendenz zu niedrigeren Werte in den H-Bieren.

Im Folgenden sollen die verwendeten Sorten zuerst einzeln betrachtet werden.

#### 4.6.2.1 Hallertau Saphir

Die ausführlichen Einzelergebnisse der Verkostung nach KALTNER der Sorte Saphir sind in Tabelle 87 und 91 im Anhang aufgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Intensität des Hopfenaromas in Geruch und Trunk in beiden Braustätten mit steigendem Pelletanteil tendenziell ansteigt. DAENEN et al. vermuten, dass im Bier vorliegende Glykoside im Mundraum gespalten werden könnten [302], daher wäre der hier beobachtete Anstieg erklärbar. Die Aromausprägung ist überwiegend blumig und hopfenwürzig. Das Bitterprofil wird bei den mit Pelletanteil bzw. komplett mit Pellets gebrauten Bieren aus beiden Braustätten als sehr harmonisch empfunden. Ein ähnliches Bild zeigt Abbildung 68. Die Biere beider Braustätten zeigen ähnliche Bewertungen für die Harmonie, allerdings ist der Unterschied zum Vergleichssud mit CO<sub>2</sub>-Extrakt erst bei Kombination beider Braustätten (T+H in Abb. 68) signifikant. Aufgrund der ähnlichen Beurteilung der jeweiligen Einzelbiere sowie der gleichen Rahmenbedingungen unter denen die Herstellung bzw. die Verkostung stattfand, wurden die Verkostungsergebnisse der Biere vereint. Diese vereinten Proben sind in den Diagrammen mit dem Hinweis (T+H) gekennzeichnet. Hier zeigt ein Vergleich, dass die Harmonie bei den Suden mit Pelleteinsatz signifikant höher bewertet wurde als bei dem reinen Extraktsud. Im forcierten Zustand geht diese Deutlichkeit zurück. ein Trend zur besseren Beurteilung bleibt allerdings bestehen. Die wahrgenommene Intensität der

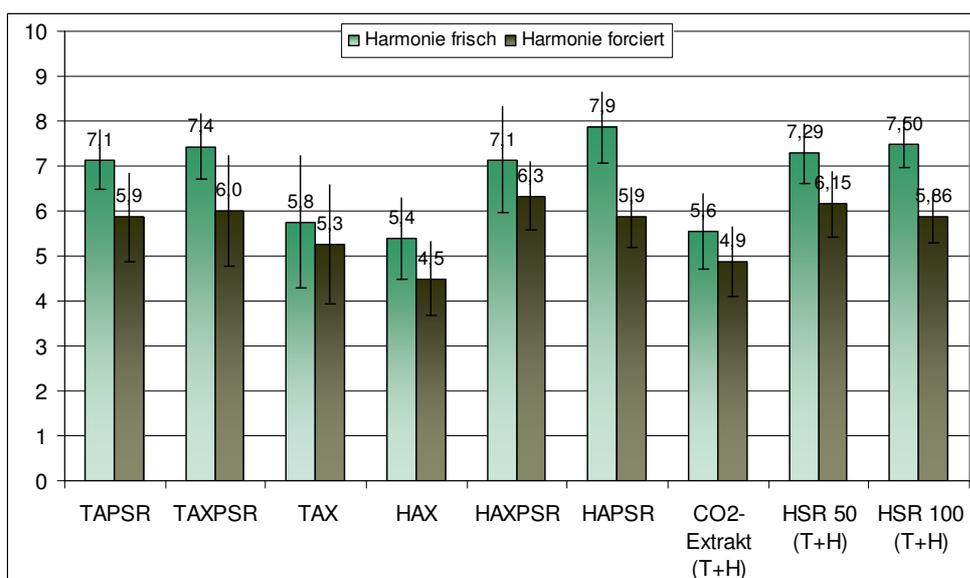


Abbildung 68: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HSR

Bittere im frischen und forcierten Zustand zeigt in Abbildung 69 keine Differenzen. Der Pelletzusatz wirkt sich somit nicht auf die Intensität der Bittere, sondern nur auf die Qualität bzw. Harmonie aus.

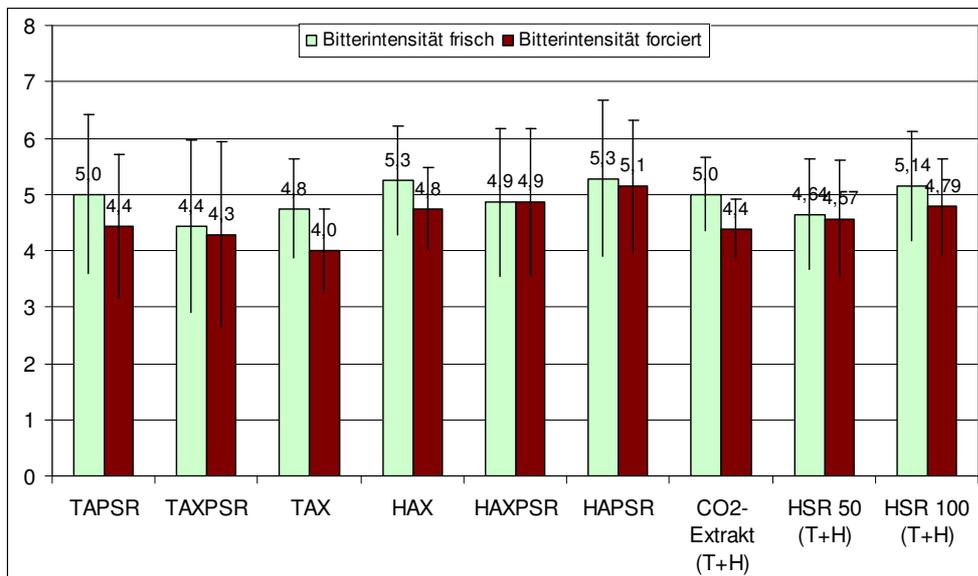


Abbildung 69: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HSR

#### 4.6.2.2 Hallertau Hallertauer Tradition

Die Sorte Hallertauer Tradition zeigt in beiden Braustätten mit steigendem Pelletanteil eine verbesserte Qualität des Aromas in Geruch und Trunk. Einen ebensolchen Trend zeigt die Intensität in Geruch und Trunk. Das Bitterprofil wird bei den Suden mit Pellets als überwiegend harmonisch beschrieben. Im Nachtrunk ist das HHT-50-Bier milder als das reine Extrakt- bzw. Pelletbier. In den Tabellen 90 und 86 im Anhang sind die ausführlichen Ergebnisse der Verkostung nach KALTNER dargestellt. Dieses Bild bezüglich der Bewertung der Bittere spiegelt sich auch in der Harmoniebewertung wieder (s. Abb. 70). Hier zeigt sich ein leicht differenziertes Bild zwischen den Braustätten. Während das 50 % Pelletbier aus Braustätte H am besten bewertet wurde, schneidet aus der T-Serie das reine Pelletbier am besten ab. Die Vereinigung der beiden Harmoniebewertungen aus beiden Braustätten zeigt erneut eine signifikant bessere Bewertung des Bieres mit einem

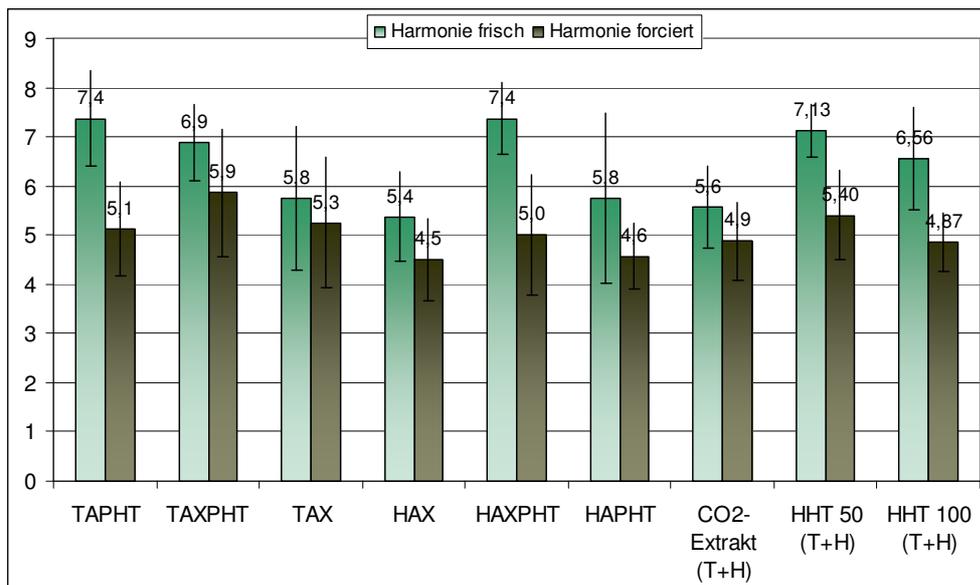


Abbildung 70: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HHT

50%igen Pelletanteil zu Kochbeginn. Aufgrund der niedrigeren Bewertung für den reinen Pelletsud ist hierfür keine deutliche Aussage möglich. Abbildung 71 zeigt die Gesamtbitterintensität, welche bei allen Suden als gleich zu beurteilen ist. Es gibt eine Tendenz zur etwas intensiveren Wahrnehmung der Biere mit Pelletanteil im forcierten Bier.

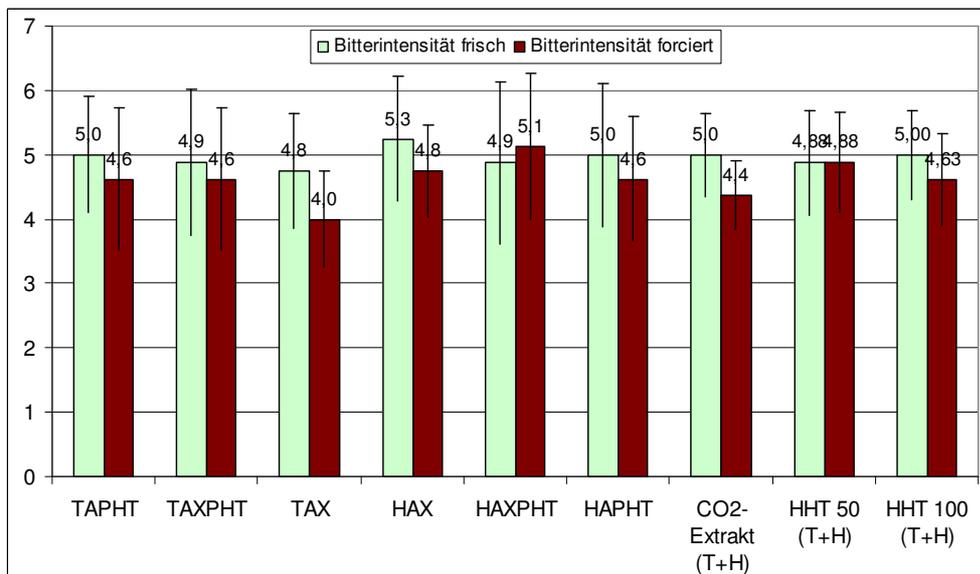


Abbildung 71: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte HHT

#### 4.6.2.3 Tett nang Tett nanger

Die Bewertung des Aromas in Geruch und Trunk steigt, wie bereits auch bei den anderen Sorten berichtet, mit steigendem Pelletanteil leicht an. Im gealterten Bier verschwindet dieser Aromaeindruck aber wieder und die Aromabewertung des reinen Pelletsudes ist schlechter als beim Extraktvergleichssud. Eine ausführliche Darstellung der Verkostungsergebnisse ist im Anhang in den Tabellen 88 und 94 dargestellt. Auch bei dieser Aromahopfensorte zeigt sich, dass eine Verwendung von Pellets gegenüber eines CO<sub>2</sub>-Extraktes der Sorte Taurus der Harmonie förderlich ist. Dadurch wird, wie bei den Sorten Saphir und Hallertauer Tradition, auch bei der Sorte Tett nanger eine bessere Bewertung erzielt, wie Abbildung 72 zeigt. Im Fall der Sorte Tett nanger ist diese Bewertung allerdings nicht so deutlich wie bei den anderen beiden erwähnten Sorten. Bei den H-Bieren der Sorte Tett nanger zeigt sich ein Trend zur Verringerung der Gesamtintensität der Bittere. Anscheinend werden durch die Blattmatrix noch weitere Substanzen eingebracht, die die Bittere etwas abschwächen. Abbildung 73 zeigt dieses Verhalten der Sorte Tett nanger.

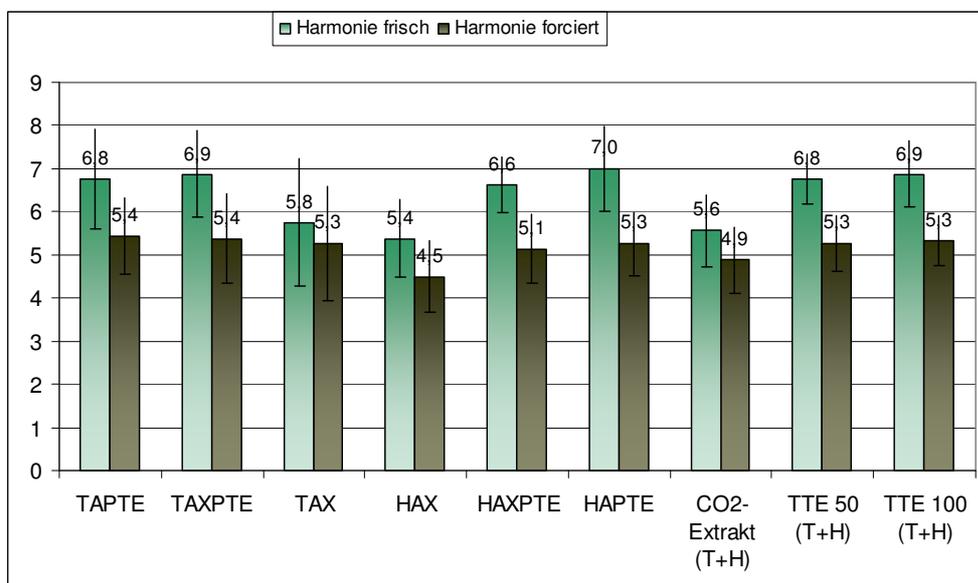
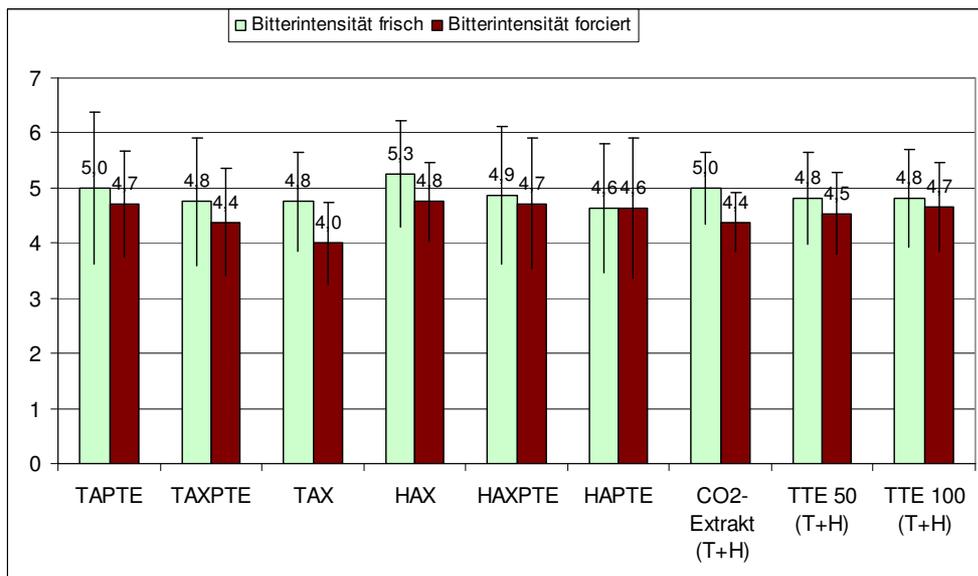


Abbildung 72: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte TTE



**Abbildung 73: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pellet- bzw. Pelletteilgabe der Sorte TTE**

#### 4.6.2.4 Hallertau Taurus

Die Bitterhopfensorte Taurus wurde ebenfalls als Pellets verwendet und mit dem CO<sub>2</sub>-Extrakt derselben Sorte verglichen. Wie auch bei den Aromahopfensorten wird durch Pelleteinsatz ein leichtes Hopfenaroma erzielt, dessen Qualität in Geruch und Trunk gegenüber dem Extraktbier verbessert wird (ausführliche Verkostungsergebnisse in den Tabellen 89 und 93 im Anhang). Obwohl die Intensität der Bittere im Nachtrunk beim Pelletbier als geringer bewertet wurde, ist die Beurteilung des Bitterprofils bei den Pelletbieren beider Braustätten harmonisch, aber mit einem leicht länger anhaltenden Nachtrunk. Abbildung 75 zeigt das gleiche Bild, wonach die Bitterintensität beim Pelletbier in beiden Braustätten tendenziell höher bewertet wird. Dies ist anders als bei den Aromasorten, wo teilweise eine Verringerung der Bitterintensität bei den reinen Pelletbieren bemerkt wurde. Bei der Bewertung der Harmonie zeigt sich, dass ein Einsatz von 100 % Tauruspellets, wie in Abbildung 74 zu sehen, tendenziell zu einem Anstieg in der Harmonie führt. Es ist also anzunehmen, dass durch die CO<sub>2</sub>-Extraktion Substanzen in den Pellettrebern verbleiben, die für die Beeinflussung der Harmonie maßgeblich mit verantwortlich sind.

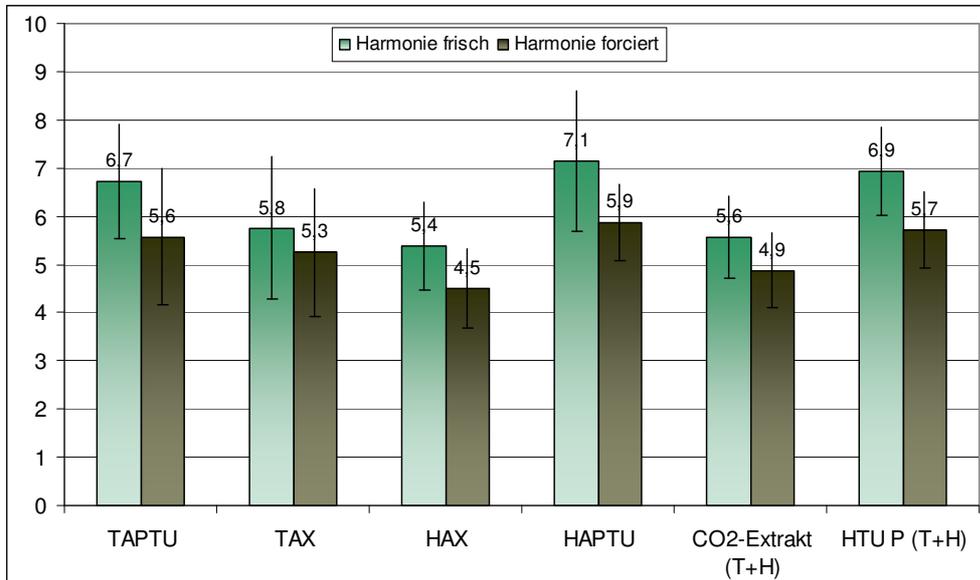


Abbildung 74: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Pelletgabe der Sorte HTU

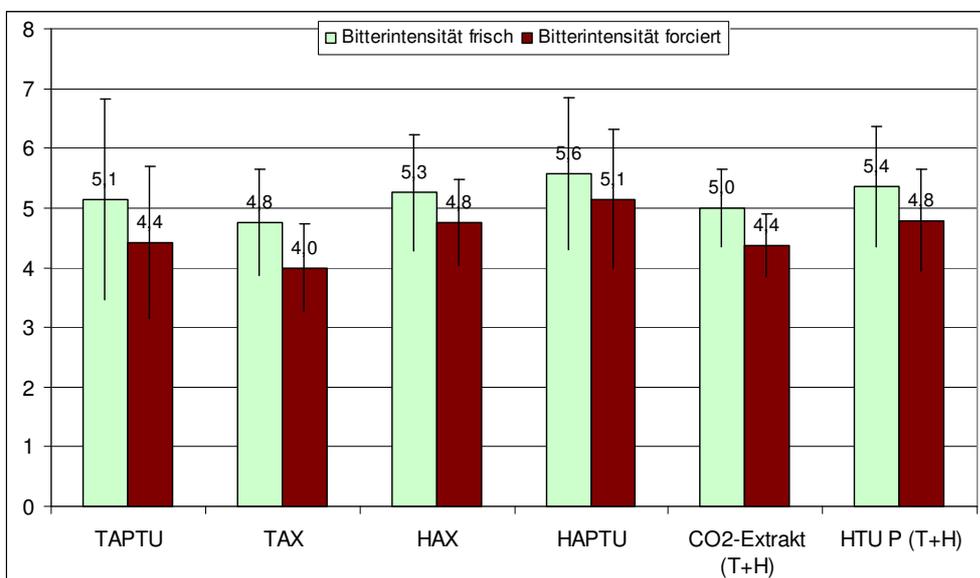
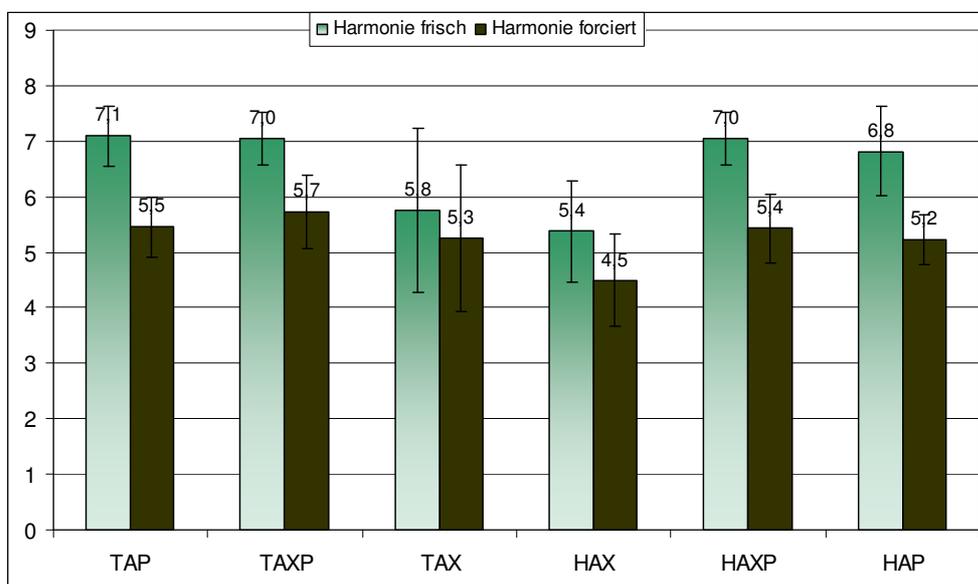


Abbildung 75: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Pelletgabe der Sorte HTU

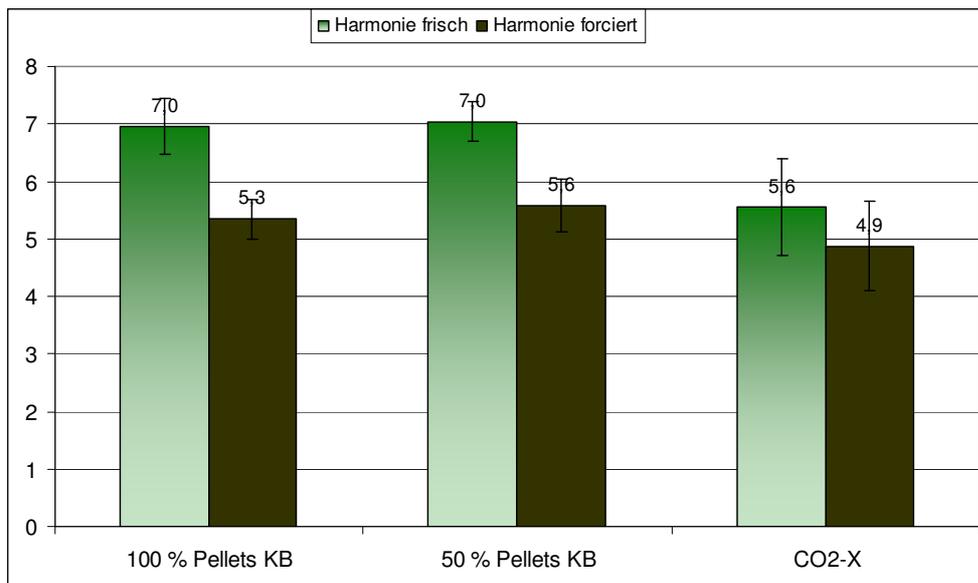
#### 4.6.2.5 sortenunabhängige Betrachtung

Im Folgenden sollen die bisher nach Sorten getrennt betrachteten Biere sortenunabhängig betrachtet und diskutiert werden. Dabei werden nur die Sorten Tettninger, Saphir und Hallertauer Tradition vereint, da von der Sorte TU kein 50 % Pelletsud angefertigt wurde und Taurus als klassische Bitterhopfensorte nur bedingt mit den drei Aromahopfsorten vergleichbar ist.



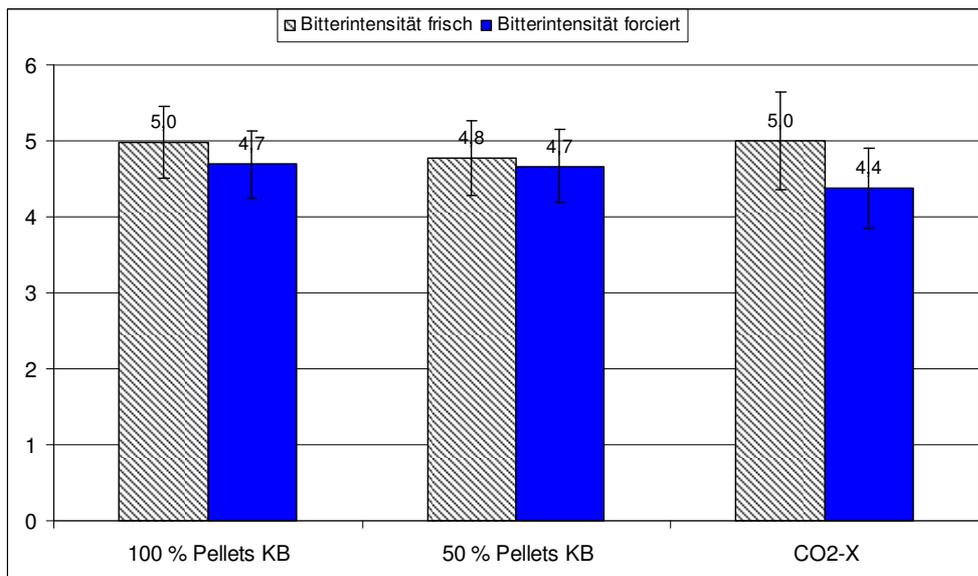
**Abbildung 76: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn**

Abbildung 76 zeigt die durchschnittliche Bewertung der Harmonie der drei vereinten Biere mit Pelletanteil bzw. Extrakt getrennt nach den jeweiligen Braustätten. Hier ist zu sehen, dass die H-Biere aus St. Johann mit 50 % Pelletanteil eine signifikant bessere Harmonie aufweisen als die jeweils mit 100 % Pellet oder Extrakt hergestellten Biere. Bei einer weiteren Vereinigung der Bewertungen zeigt sich, dass die 100 % Pelletbiere sowie die Biere mit 50 % Pelletanteil signifikant besser in der Harmonie sind (s. Abbildung 77). Das bedeutet, dass gewisse Anteile der Pelletmatrix einen positiven Einfluss auf die Harmonie haben. Dies konnte bereits bei den Einzelbetrachtungen gezeigt werden und die Gruppenbetrachtung verdeutlichte die Tendenzen der Sorten. Im gealterten Zustand



**Abbildung 77: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn (beide Braustätten zusammen)**

nivelliert sich dieser Vorsprung allerdings und der sensorische Vorteil der frischen Biere ist zurück gegangen. Im gealterten Bier überwiegen somit die Alterungsreaktionen, die der Harmonie abträglich sind. DOPFER et al. tätigten die Aussage, dass ein Rückgang der Drinkability, die auch auf einer besonderen Harmonie beruht, bereits erkennbar ist, bevor eine Alterung sensorisch bemerkbar wird [72, 73]. Dies bestätigt die hier gefundene Tendenz, dass die frischen Biere eine deutlich bessere Harmonie aufweisen als die gealterten, obwohl die analytische und sensorische Alterung als gut einzustufen ist (die Ergebnisse der Alterungsverkostung der Biere sind in den Tabellen 106 und 107 im Anhang zu finden). Bei der Gesamtintensität der Bittere (s. Abb. 78) gibt es den Trend in den forcierten Bieren zu einer intensiveren Gesamtbittere bei Pelleteinsatz. Dies bedeutet, dass Stoffe, die bei den frischen Bieren positiv wirken im gealterten Bier durch verschiedene oxidative oder andere chemische Reaktionen eine Verstärkung der Bittere verursachen können. Eine Möglichkeit könnten die Polyphenole sein, da diese nicht mit CO<sub>2</sub> extrahiert werden. Eine durch Alterungsprozesse bedingte Polymerisierung könnte die Adstringenz der Polyphenole ansteigen lassen. Die im Bier gelösten Polyphenole können auch Eiweiß-Gerbstoffkomplexe bilden, welche im Zuge der Alterung zunehmen und somit die Bitterempfindung verstärken. Alle durchgeführten Analysen bzw. alle erhaltenen



**Abbildung 78: Veränderung der Bewertung der Bittergesamtintensität durch eine Aromahopfen- bzw. Aromahopfenteilgabe zu Kochbeginn**

Verkostungsdaten wurden mit der Harmoniebewertung der frischen und forcierten Biere korreliert. Ebenso wurden die Akzeptanz der forcierten Biere und die Intensität der Bittere in Antrunk, Trunk, Nachtrunk sowie Gesamtintensität mit diesen Daten korreliert. In den Tabellen 114 (Bieranalysen), 115 (Bieraromastoffe), 116 und 117 (Alterungsindikatoren frisch und forciert), 118 (niedermolekulare Polyphenole), 119-122 (Verkostungsergebnisse) sowie 123 (Hopfengabe) sind die entsprechenden Korrelationskoeffizienten aufgeführt. Daraus geht u. a. hervor, dass die Summe der Wärmeindikatoren eine negative Korrelation mit der Intensität der Bittere im Nachtrunk hat, was wiederum positiv ist, da der Nachtrunk somit abgemildert wird.

In Tabelle 52 sind die Einflussfaktoren auf Harmonie bzw. die Harmonie beeinflussende Eigenschaften aufgeführt, die mindestens eine 95%ige Korrelation ergaben. Dabei zeigt sich, dass bei frühen Hopfengaben eine gewisse Menge Restextrakt benötigt wird, damit das Bier als harmonisch empfunden wird. Wie in Abschnitt 4.1 gezeigt werden konnte, können Dextrine die Bitterempfindung abschwächen. Ebenso positiv wirken sich eine gute Rezenz und verschiedene niedermolekulare Polyphenole aus. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang Isoxanthohumol, welches ebenfalls bitter schmeckt aber laut FRITSCH et al. [405] eine weniger intensive Bittere besitzt. Damit hat das Isoxanthohumol auf die Harmonie und die Bittere eine abrundende Wirkung und wirkt abrundend zu den

Tabelle 52: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei Hopfengaben zu Kochbeginn

Harmonie (Kochbeginn)				
frisch		forciert		
positive Korrelation	negative Korrelation	positive Korrelation	negative Korrelation	
* scheinbarer Extrakt Intensität Hopfenaroma Geruch  fruchtig im Geruch  hopfenwürzig im Trunk  Rezenz (frisch) Protochatechusäure, Cumaroylchinasäure, Kämpferol-3-glucosid, Kämpferolflavonoid  Isoxanthohumol  1-Hexanol Nonansäure Linalool  Pelletgabe Kochbeginn  Gesamthopfungabe Bittere/Qualität (SJ)	Geruch sonstige  Trunk sonstige  Bittere Nachtrunk	Trunk Intensität  Trunk Qualität  Bernsteinsäurediethylester (forciert)  Trunk fruchtig (forciert)  normal (harmonisch) (forciert)  Nonansäure  Trunk (forciert)	iso- $\alpha$ -Säuren  Geruch sonstige  Antrunk abgerundet aber nachhängende Bittere Buttersäure- Ethylester	
** Trunk Intensität Trunk blumig Vollmundigkeit (frisch) DLG Bittere (frisch) DLG Geruch (frisch) DLG Trunk (frisch) DLG		Geruch Qualität Trunk blumig Gewichtete Note (forciert) DLG Trunk Qualität (forciert)  2-Propionylfuran (forciert)  Bittere (forciert) DLG	Bittere Nachtrunk	
*** Geruch Qualität  Trunk Qualität  Gewichtete Note (frisch) DLG	iso- $\alpha$ -Säuren  Antrunk abgerundet aber nachhängende Bitte	Bitterprofil normal (harmonisch)		

iso- $\alpha$ -Säuren, welche einen negativen Einfluss auf die Harmonie haben. Dies zeigt, dass auch die nicht-iso- $\alpha$ -Bitterstoffe für die Harmonie der Bittere und somit des Bieres verantwortlich sind und die Bittere ebenso durch andere nicht flüchtige Verbindungen, wie z. B. die in Tabelle 52 aufgeführten niedermolekularen Polyphenole, positiv beeinflusst wird. Ebenfalls mit 95%iger Signifikanz (\*) hat der Linaloolgehalt einen positiven Einfluss

auf die Harmonie der frischen Biere. Wie bereits bei den Einzelsorten und den kombinierten Betrachtung dieser gezeigt, ist die Höhe des Pelletanteils zu Kochbeginn positiv für die Harmonie des Bieres. Negativ für die Harmonie der frischen Biere ist eine nachhängende Bittere und sonstige, für den Biertyp unübliche, Gerüche (Fehlaromen), sowie der iso- $\alpha$ -Säuren-Gehalt. Bei letzterem ist es wichtig, dass die Bittere in eine entsprechende Gesamtmatrix (Restextrakt, Alkohol, pH-Wert; s. Abschnitt 4.1) „eingebettet“ wird. FORSTER [406] berichtet, dass ein höherer co-Humulongehalt im Hopfen zu signifikant niedrigeren Harmoniebewertungen in Bieren geführt hat. In den vorliegenden Versuchen ergab sich zwischen dem co-iso- $\alpha$ -Säuregehalt und der Harmonie der Biere ein nicht signifikanter aber ebenfalls negativer Zusammenhang (s. Tabelle 114). Wie aus Tabelle 123 zu sehen ist, bringt eine höhere Pelletgabe eine Reduzierung des Nachtrunkes (nicht signifikant) aber auch den Trend zu einer Intensivierung des Antrunkes. Die Alterungsakzeptanz wird allerdings tendenziell negativ durch eine Pelletgabe zu Kochbeginn beeinflusst. Eine ebensolche negative Korrelation zeigte der Gehalt der co-iso- $\alpha$ -Säure in den frischen Bieren. Da der relative Anteil an co-Isolumulon bei der konventionellen Hopfung konstant bei rund 30 % liegt [173], kann hierüber kaum Einfluss auf die Alterungsstabilität genommen werden. MITTER [407] berichtet, dass über den Hopfengabezeitpunkt in gewissen Grenzen auf den co-Anteil Einfluss genommen werden kann. Positiv auf die Alterungsakzeptanz wirkten dagegen alle Einflüsse, die ein, wenn auch nur leichtes, Hopfenaroma im Bier hervorriefen bzw. alle Maßnahmen zur Vermeidung eines Alterungsaromas [80], wie aus Tabelle 53 ersichtlich.

**Tabelle 53: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciert bei einer Hopfengabe zu Kochbeginn**

<b>Alterungsakzeptanz forciert (Pelletgabe Kochbeginn)</b>		
	<b>positive Korrelation</b>	<b>negative Korrelation</b>
*	Bernsteinsäurediethylester (forciert) Geruch Intensität (forciert) Geruch fruchtig (forciert) Geruch blumig (forciert) Geruch grün-grasig (forciert) Trunk grün-grasig (forciert)	co-iso- $\alpha$ -Säure
**	Gewichtete Note (forciert)	
***	Trunk (forciert)	

Tabelle 54: Eigenschaften auf die sich die Höhe der Pelletgabe zu Kochbeginn auswirkt

		Pelletgabe zu Kochbeginn	
		positive Korrelation	negative Korrelation
*	Geruch hopfenwürzig <b>Harmonie</b> geschätzte BE 2-Propionylfuran (frisch) Alterungsnote Geruch (forciert) Vollmundigkeit (frisch) Protocatechusäure Procyanidin B3 (C/C) p-Hydroxybenzoesäure Sinapinsäure Kämpferol-diglykosid Nonansäure	iso- $\alpha$ -Säuren schwaches Bitterprofil Bitterprofil Antrunk abgerundet aber nachhängend Summe der Sauerstoffindikatoren (frisch) Farbe (SJ) Schaum/Haftvermögen (SJ) Ø Optik (SJ)	
**	Geruch Intensität Bitterprofil normal (harmonisch) Methylfurfural (forciert) Procyanidin $\alpha$ -Terpineol	Trans-Zimtsäure	
***	Gesamtpolyphenole Anthocyanogene Tannoide Trunk hopfenwürzig Kaffeoylchinasäure Procyanidin B1 (Ec/C) Catechin Cumaroylchinasäure Chlorogensäure DP Feruloylchinasäure Epicatechin Cumaroylchinasäure p-Cumarsäure Quercetingalactosid Q-glucosid/rutinosid Quercetin-malonylhexosid Kämpferol-3-glucosid Kämpferolflavonoid Isoxanthohumol Summe niedermolekularer Polyphenole	Extraktgabe Kochbeginn	

Die Höhe der Pelletgabe zu Kochbeginn hat verschiedene Auswirkungen auf die Biereigenschaften, die in Tabelle 54 dargestellt sind. Eine höhere Pelletgabe zeigt eine signifikante negative Korrelation mit dem iso- $\alpha$ -Säuregehalt im Bier. Wie im Grundlagenbereich und in Abschnitt 4.5 bereits dargelegt, hängt die Ausbeute von verschiedenen Faktoren ab. In diesen Versuchen resultierte ein niedriger  $\alpha$ -Gehalt der eingesetzten Pellets in einer höheren Pelletdosage. Daher ist anzunehmen, dass mit sinkendem  $\alpha$ -Gehalt im Hopfenprodukt die Ausbeute der iso- $\alpha$ -Säuren ebenfalls zurück geht.

Signifikant positiv (\* bis \*\*\*-Signifikantniveau) korrelieren einige niedermolekulare Polyphenole. Hierunter verschiedene Phenolcarbonsäuren, Catechin, Epicatechin und Isoxanthohumol, welches auch mit der Harmonie positiv korreliert. Auch die Summe der niedermolekularen Polyphenole sowie Gesamtpolyphenole, Anthocyanogene und Tannine korrelieren hoch signifikant mit der Pelletgabe. Dies verdeutlicht, dass Polyphenole eine gewisse Kochzeit benötigen, um aus der Pelletmatrix herausgelöst zu werden. Den Polyphenolen werden auch sensorische Eigenschaften, v. a. ein Beitrag zum Körper des Bieres (Vollmundigkeit) zugeschrieben [138, 400]. Die Pelletgabe zu Kochbeginn korreliert signifikant mit der Vollmundigkeit und mit verschiedenen summarischen und spezifischen Polyphenolanalysen der frischen Biere, so dass den Polyphenolen auf Basis dieser Versuche ebenfalls ein Einfluss auf die Vollmundigkeit zugesprochen werden kann. Wie bereits graphisch in Abbildung 77 und in Tabelle 54 aufgeführt, wird die Harmonie signifikant durch eine Aromahopfungabe in Form von Pellets positiv beeinflusst.

#### **4.6.3 Einfluss mittlerer Hopfengaben**

In traditionellen Betrieben werden auch heutzutage noch mittlere Hopfengaben angewendet, auch wenn diese technologisch in Frage gestellt werden [269]. In dieser Serie B wurde eine Extraktgabe zu Kochbeginn mit einer Pelletgabe bei Kochmitte kombiniert. Beide Gaben wurden so ausgelegt, dass sie jeweils für 50 % der iso- $\alpha$ -Säuren im fertigen

Tabelle 55: Bieranalysen der Serie B (Weihenstephan (T) und St. Johann (H))

	TBXPHT	TBXPST	TBXPTE	TBXPSTU
	HHT KM	HSR KM	TTE KM	HTU KM
Stammwürze [%mas]	11,2	11,36	11,57	11,1
Alkohol [%vol]	4,83	4,88	4,96	4,73
scheinbarer Extrakt [GG%]	2,39	2,15	2,21	2,15
Vergärungsgrad scheinbar [%]	78,7	81,1	80,9	80,6
pH-Wert	4,44	4,4	4,42	4,33
Farbe	6,1	6,3	6,3	6,2
Gesamtpolyphenole [mg/l]	144	205	207	122
Anthocyanogene [mg/l]	61	80	83	44
Tannine [mg/l]	36	40	47	18
Bittereinheiten	25	25	26	25
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	21,3	19,9	21,8	20,9
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	1,7	1,1	1,5	1,5
	HBXPHT	HBXPST	HBXPTE	HBXPSTU
	HHT KM	HSR KM	TTE KM	HTU KM
Stammwürze [%mas]	11,89	12,03	11,8	11,72
Alkohol [%vol]	5,13	5,23	5,14	5,11
scheinbarer Extrakt [GG%]	2,23	2,19	2,12	2,09
Vergärungsgrad scheinbar [%]	81,2	81,8	82,0	82,2
pH-Wert	4,65	4,67	4,69	4,75
Farbe	6,9	6,6	7	7,3
Gesamtpolyphenole [mg/l]	162	219	194	138
Anthocyanogene [mg/l]	75	91	85	60
Tannine [mg/l]	28	48	55	24
Bittereinheiten	18	22	20	20
iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	20,2	18,9	19,1	21,8
$\alpha$ -Säuren [mg/l]	1,4	1,2	1,9	1,3

Bier verantwortlich sind. Tabelle 55 zeigt die allgemeinen Bieranalysen der Biere beider Braustätten. Die Schwankungsbreite der iso- $\alpha$ -Säuren ist relativ gering. Bei den drei Aromahopfsorten ist der Gehalt der phenolischen Verbindungen (Gesamtpolyphenole, Anthocyanogene und Tannine) deutlich höher als bei der Sorte Taurus. Aufgrund der höheren Pelletdosagemengen (Ausbeute nur ca. 50 % der Ausbeute zu Kochbeginn) kann ein vermehrter Eintrag phenolischer Verbindungen gesehen werden, welcher in etwa vergleichbar ist mit den 100 % Pelletsuden der Serie A (Hopfengabe zu Kochbeginn, Abschnitt 4.6.2), die vergleichbare Hopfendosagen enthielten. In Tabelle 112 und 113 sind die Analysen der niedermolekularen Polyphenole aller Biere aufgeführt. Diese zeigen, dass u. a. auch die Polyphenole, die bei Kochbeginn eingebracht werden ebenso bei den Kochmitteversuchen entsprechende Gehalte aufweisen. Bezüglich der Bieraromastoffe (s.

Tabelle 94 im Anhang) weisen alle Biere dieselben brauereispezifischen Eigenschaften auf wie in Serie A. Es ist ebenso zu erkennen, dass durch eine Hopfendosage bei Kochmitte durchaus ein leichtes Hopfenaroma im Bier erzielt wird. Da die Hopfenaromastoffe in der Würze nicht bestimmt wurden, kann an dieser Stelle auch nicht festgestellt werden, ob es sich um glykosidisch eingebrachte Aromastoffe oder um eine unvollständige Ausdampfung der Aromastoffe gehandelt hat. In den Vorversuchen in Abschnitt 4.6.1 erzeugte eine alleinige mittlere Hopfengabe kein solches Aroma. Beide Braustätten zeigen prinzipiell ähnliche Hopfenaromastoffgehalte auf, was die These mit den eingebrachten Glykosiden stützen würde. Tabelle 95 im Anhang zeigt, dass im frischen Zustand keine Unterschiede in den Alterungsindikatoren zwischen den Bieren und Brauereien vorhanden sind. In den forcierten Bieren weisen die T-Biere einen Trend zu höheren Alterungsindikatoren auf. Die Tabellen 106 und 107 im Anhang zeigen die Verkostungsergebnisse nach DLG und der Alterungsverkostung nach EICHORN des Weihenstephaner Panels, während die Tabellen 110 und 111 die Daten des St. Johanner Panels zeigen. Die Unterschiede zwischen den Bieren sind zu gering, um eindeutige Aussagen treffen zu können.

Im Folgenden sollen, wie bereits bei Serie A, die Sorten kurz einzeln betrachtet und im Anschluss gemeinsam diskutiert werden.

#### *4.6.3.1 Hallertau Saphir*

Die Sorte Saphir zeigt bei mittleren Hopfengaben in den frischen Bieren ein überwiegend harmonisches Bitterprofil, welches in den forcierten Bieren zu einem etwas intensiveren Nachtrunk tendiert. Es zeigt sich, dass die T-Biere aromaintensiver bewertet wurden, dies erklärt, dass die Alterungsnote trotz höherer Alterungsindikatoren ähnlich denen der H-Biere ist. Eine detaillierte Darstellung der Verkostungsergebnisse nach KALTNER befindet sich im Anhang in den Tabellen 96 und 98. Auf die Harmoniebewertung hat eine mittlere Hopfendosage der Sorte Saphir einen leicht positiven Einfluss, wenn als Vergleich das CO<sub>2</sub>-Extraktbier herangezogen wird. Diese Steigerung der Harmonie ist allerdings nicht signifikant. Erfolgt der Vergleich mit dem Bier, bei dem 50 % der  $\alpha$ -Säuren durch eine

Pelletgabe der Sorte Saphir zu Kochbeginn erfolgte, fällt auf, dass sich die Harmonie tendenziell verschlechtert. In Abbildung 79 ist die Harmoniebewertung der einzelnen Braustätten und beider Braustätten vereinigt (T+H) dargestellt. Durch die mittlere Hopfengabe steigt, wie aus Abbildung 80 gesehen werden kann, die Bitterintensität zum CO<sub>2</sub>-Vergleichssud tendenziell an.

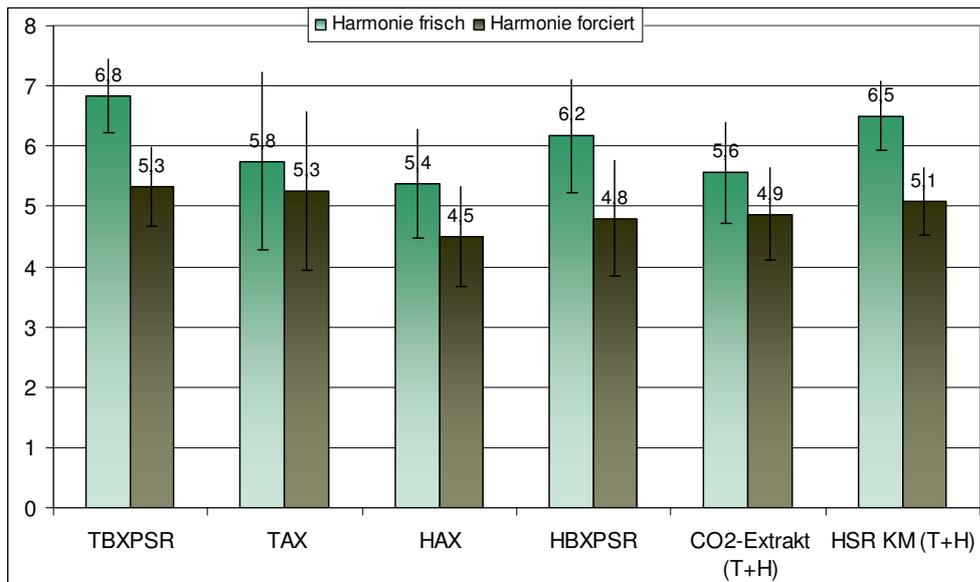


Abbildung 79: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HSR

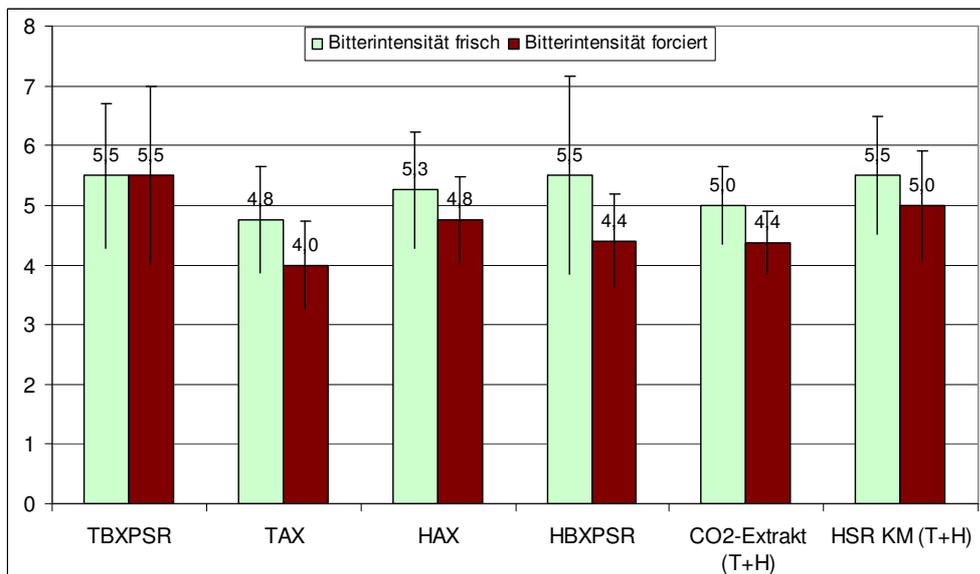


Abbildung 80: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HSR

#### 4.6.3.2 Hallertau Hallertauer Tradition

Wie auch schon bei der Sorte Saphir ändert sich das Bitterprofil während der Bialterung zu einem längeren Nachtrunk hin. Auch bei der Sorte Hallertauer Tradition wurden die T-Biere etwas aromatischer bewertet als die vergleichbaren H-Biere. Im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Vergleichsbier verbessert sich die Harmoniebewertung der jeweiligen Biere tendenziell, wie aus Abbildung 81 hervorgeht. Allerdings zeigt sich bei einem Vergleich mit dem Bier der Serie A, welches mit einer 50%igen Pelletgabe der Sorte Hallertauer Tradition zu Kochbeginn gehopft wurde ebenfalls, dass die Harmonie durch die Verschiebung der Hopfengabe zur Kochmitte leicht negativ beeinflusst wurde. Die Bitterintensität ist in Abbildung 82 dargestellt und ist nicht verschieden zum CO<sub>2</sub>-Extraktvergleichssud. Eine detaillierte Darstellung der Verkostungsergebnisse der Sorte Hallertauer Tradition nach dem Verkostungsschema nach KALTNER ist im Anhang in den Tabellen 96 und 98 zu finden.

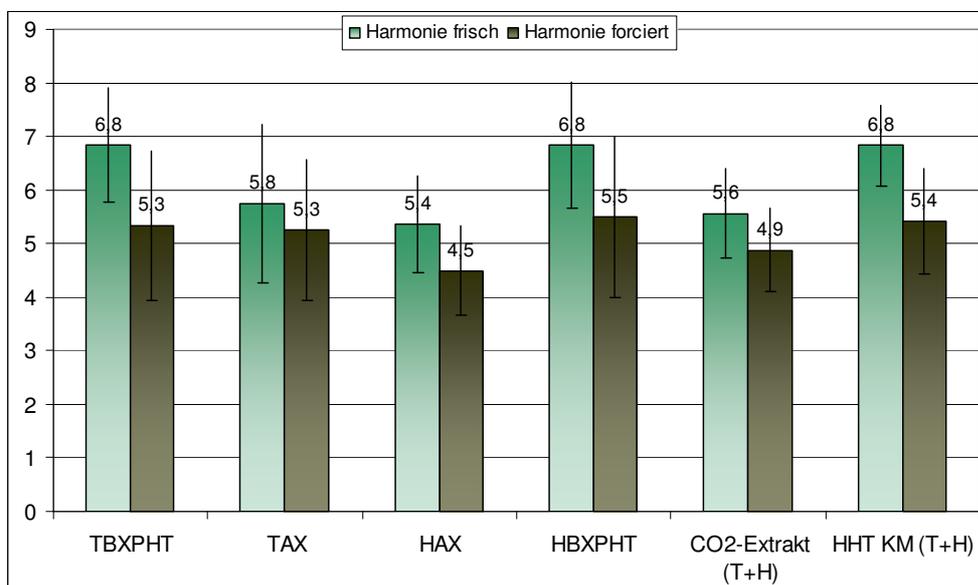
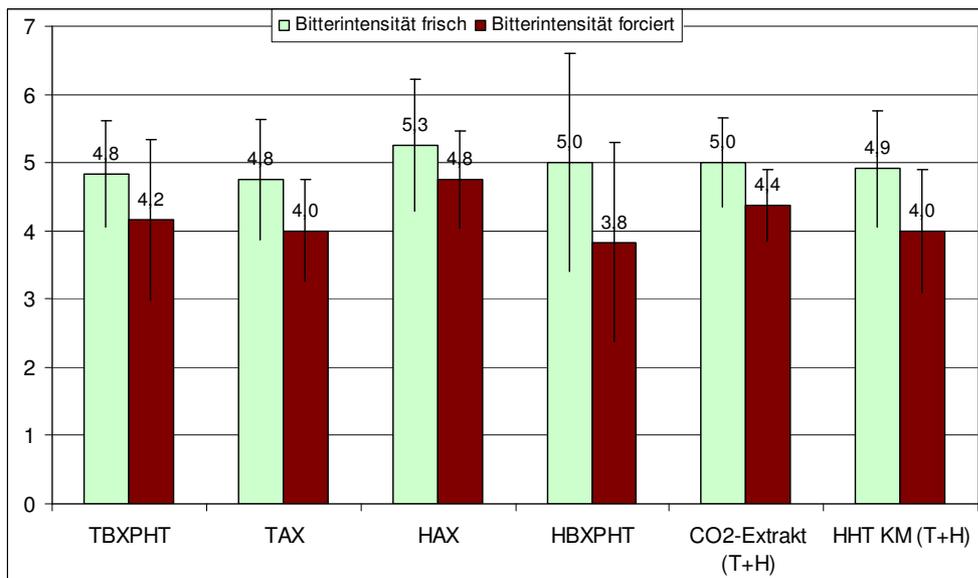


Abbildung 81: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HHT



**Abbildung 82: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HHT**

#### 4.6.3.3 Tettang Tettninger

Bei Betrachtung der Verkostungsergebnisse der Verkostung nach KALTNER (s. Tabellen 97 und 99 im Anhang) ist auch hier auffällig, dass die H-Biere geringere Bewertungen bei der Intensität des Aromas erhielten. Aufgrund ähnlicher Hopfenaromastoffgehalte ist diese intensivere Bewertung auf das fruchtigere Aroma, bedingt durch die höhere Gärintensität (s. 2-Phenylethanolgehalt), zurückzuführen. Das Bitterprofil ist in den frischen Bieren überwiegend harmonisch und verändert sich in den forcierten Bieren zu einer teilweise kratzigen und harten Bittere. Die Bitterintensität (s. Abbildung 84) steigt im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Bier tendenziell leicht an. Bezüglich der Harmoniebewertung tritt auch bei der Sorte Hallertauer Tradition eine nicht signifikante Verbesserung der Harmonie im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Extraktbier ein. Allerdings ist die Harmonie des bei Kochmitte gehopften Bieres geringer als die des Bieres, welches die Hälfte der Bitterstoffe aus Pellets der Sorte Tettang Tettninger zu Kochbeginn erhalten hat. Abbildung 83 zeigt die Veränderung der Harmonie durch die Kochmitte in beiden Braustätten einzeln und vereint.

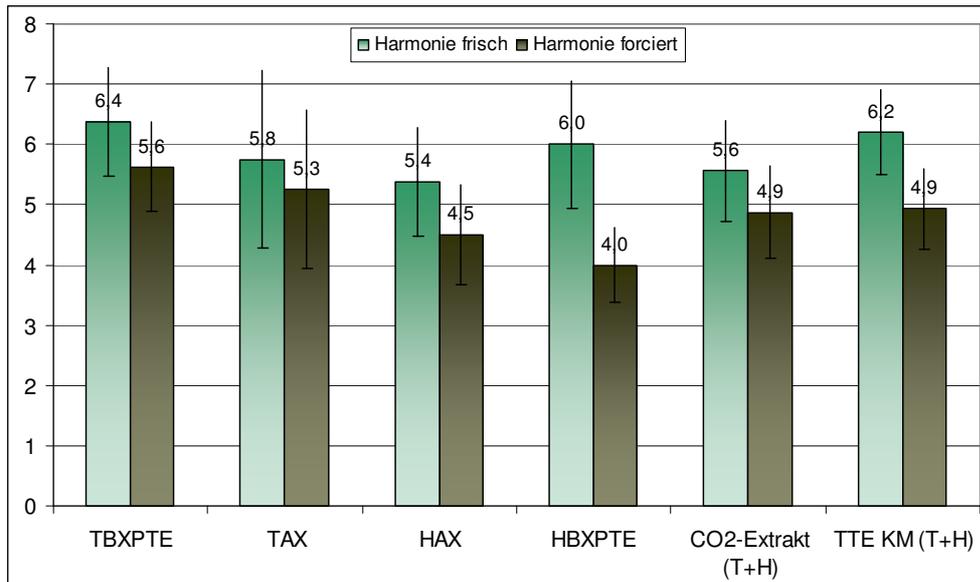


Abbildung 83: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte TTE

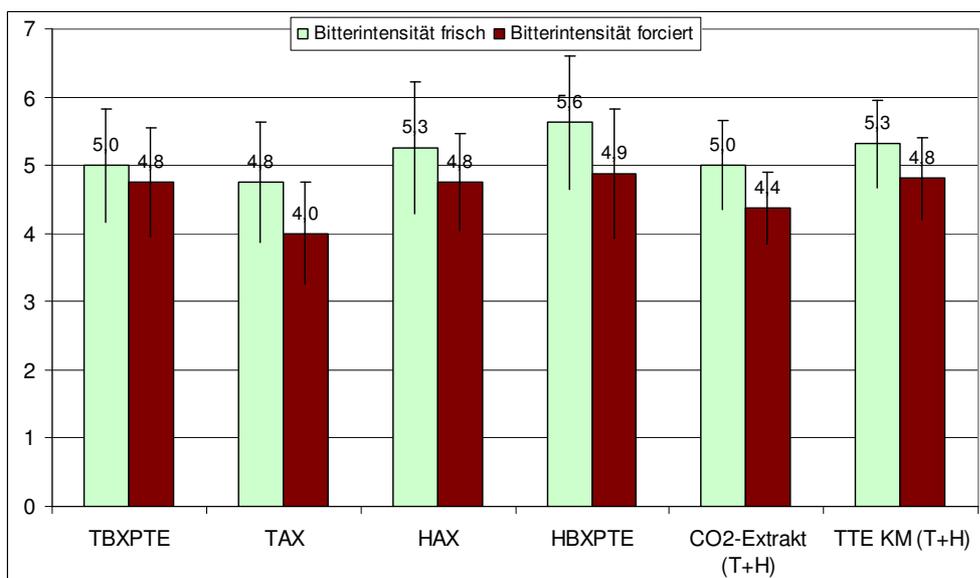


Abbildung 84: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte TTE

#### 4.6.3.4 Hallertau Taurus

Auch bei der Bittersorte Taurus werden Intensität des Geruchs und Trunk der T-Biere höher bewertet. Da die Bewertung auch hier hauptsächlich das fruchtige Aroma betrifft, deutet dies ebenfalls auf die bereits erwähnten Gründe für diesen fruchtigeren Charakter der T-Biere hin. Die Bittere der frischen Biere ist überwiegend harmonisch. Durch die Forcierung der Biere ändert sich die Bittere zu einem etwas längeren Nachtrunk und zu einer teilweise harten und breiten Bittere, die als weniger harmonisch empfunden wird. Dies zeigt auch Abbildung 85 bei der die Harmonie des bei Kochmitte gehopften Bieres im forcierten Zustand deutlich abfällt und auf dem Niveau des Vergleichsbieres ist. Im frischen Zustand ist die Harmonie tendenziell besser als die des CO<sub>2</sub>-Vergleichssudes. Bezüglich des reinen Pelletbieres aus Serie A ist die Harmonie auf einem ähnlichen Niveau. Allerdings sind diese beiden Biere nur schwer vergleichbar, da in Serie A nur ein Bier mit 100 % Pellets gebraut wurde und keine Pellets/Extrakt-Mischung wie bei den anderen Sorten.

Die Bitterintensität (s. Abbildung 86) zeigt keine großen Unterschiede. Allerdings ist anzumerken, dass die Bittere sehr unterschiedlich auf die Verkoster gewirkt hat, wie an den Fehlerbalken zu erkennen ist. Eine ausführliche Darstellung der sensorischen

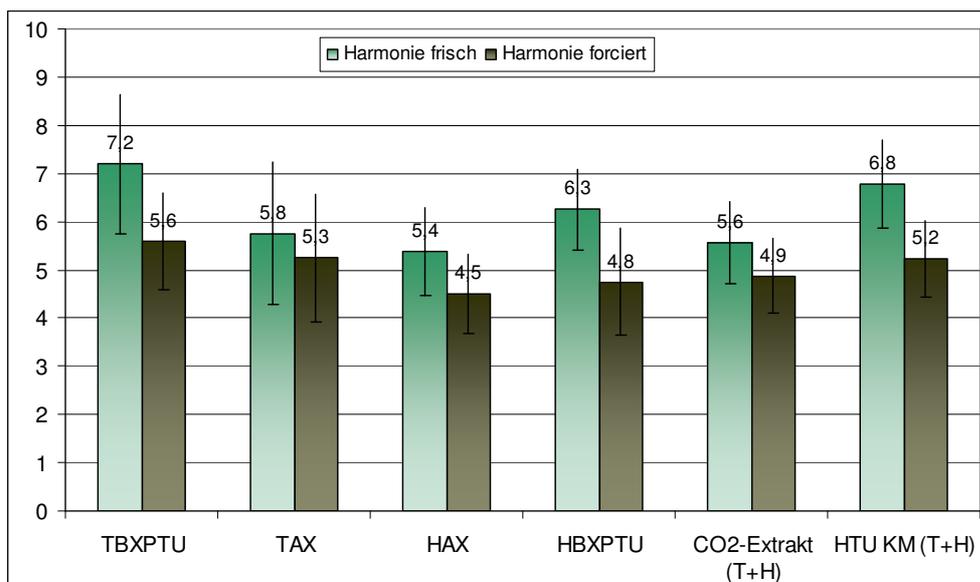
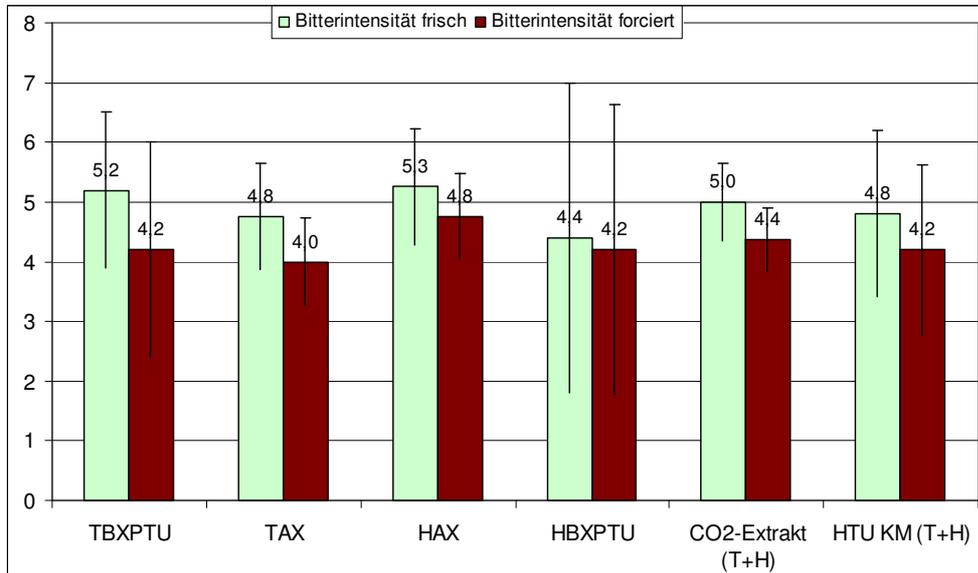


Abbildung 85: Veränderung der Harmoniebewertung durch eine Kochmittegabe der Sorte HTU

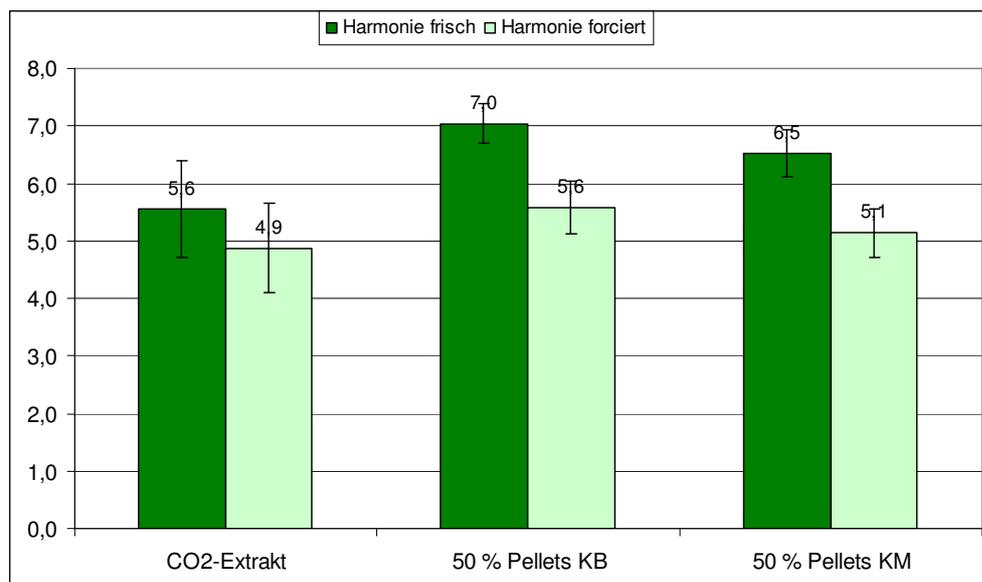
Ergebnisse der Verkostung nach KALTNER ist in den Tabellen 97 und 99 im Anhang zu finden.



**Abbildung 86:** Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch eine Kochmittegabe der Sorte HTU

#### 4.6.3.5 sortenunabhängige Betrachtung

Alle Biere aus der Braustätte St. Johann wurden geringer im Aroma bewertet. Da die Weihenstephaner Biere höhere Gehalte an fruchtigen Bieraromastoffen aufweisen, ist dieser Unterschied in der Wahrnehmung darin begründet. Abbildung 87 zeigt die Unterschiede in der Bewertung der Harmonie der vereinten Verkostungsergebnisse der Biere beider Braustätten, die mit Aromahopfen gebraut wurden. Es zeigt sich, dass eine Verwendung von Pellets bei Kochmitte die Harmonie zwar gegenüber dem CO<sub>2</sub>-Extraktvergleichsud ansteigen lässt, dieser Anstieg aber nicht signifikant ist. Des Weiteren ist die Harmonie tendenziell geringer, wenn sie mit dem Bier, welches mit einer 50%igen Pelletgabe zu Kochbeginn gehopft wurde, verglichen wird. In den Tabellen 124 bis 132 im Anhang sind, wie auch schon für Serie A, die Korrelationskoeffizienten zwischen sensorischen und analytischen Daten und Harmonie, Alterungsakzeptanz, Gesamtbitterintensität sowie Intensität der Bittere in Antrunk, Trunk und Nachtrunk für die



**Abbildung 87: Unterschiede in der Harmonie durch Pelletdosage zu Kochbeginn sowie Kochmitte**

Biere der Serie B aufgeführt. Mit der Harmonie korrelieren hier, zum Teil signifikant, negativ die Tannine, Gesamtpolyphenole und Anthocyanogene, welche mit der Gesamtintensität der Bittere positiv (aber nicht signifikant) zusammenhängen. Bei den Pelletdosagen zu Kochbeginn war dieser Einfluss in der Art nicht gegeben. Daraus folgend müssten Polyphenole einige Zeit gekocht werden, damit diese keinen negativen Einfluss auf die Harmonie ausüben. Das Isoxanthohumol hat, wie auch schon in Serie A, einen signifikant positiven Einfluss auf die Alterungsakzeptanz. Einen negativen Einfluss auf die Harmonie hat der Geraniolgehalt der Biere sowie der Gehalt an 2-Furfural. Positiv ist dagegen u. a. eine entsprechend hohe Qualität des Hopfenaromas im Trunk. Tabelle 56 fasst die Einflussfaktoren auf die Harmonie zusammen. Auf die Alterungsakzeptanz hat der  $\alpha$ -Säuregehalt der Biere einen signifikant negativen Einfluss, während ein wahrnehmbares Hopfenaroma im Trunk positiv für die Alterungsakzeptanz ist. Die Sinapinsäure und das Kämpferolglykosid korrelieren ebenfalls signifikant positiv mit der Alterungsakzeptanz. Weiterhin wird deutlich, dass alle technologischen Maßnahmen zur Verbesserung der Geschmacksstabilität (resultierend in besseren DLG-Benotungen) das Hopfenaroma bewahren und somit die Akzeptanz der gealterten Biere verbessern. In Tabelle 57 sind die Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz dargestellt, die eine mindestens 95%ige Korrelation ergaben.

Während die Höhe der Pelletgabe zu Kochbeginn positiv mit der Vollmundigkeit im frischen Zustand korreliert, zeigt die Pelletdosage zu Kochmitte eine signifikant negative Korrelation mit der Vollmundigkeit. Positiv korrelieren die Gesamtpolyphenole und die

**Tabelle 56: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei einer Extraktgabe zu KB und Pelletgabe zu Kochmitte**

Harmonie (Kochmittegabe)			
frisch		forciert	
positive Korrelation	negative Korrelation	positive Korrelation	negative Korrelation
* Ø DLG (SJ) Ø Verkostung (SJ)	Tannoide hartes und breites Bitterprofil  2-Methylbutanal (forciert)  2-Furfural (frisch) Phenyllessigsäure- ethylester (frisch) Geraniol	Geruch citrus  $\gamma$ -Nonalacton (frisch)  Summe der Wärmeindikatoren (frisch)	2-Methylbutanal (forciert) Bitterprofil hart und breit (forciert)  Geraniol
** Geruch Qualität $\gamma$ -Nonalacton (frisch) Summe der Wärmeindikatoren (frisch)			

**Tabelle 57: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciert bei einer Extraktgabe zu Kochbeginn und einer Pelletgabe zu Kochmitte**

Alterungsakzeptanz forciert (bei Pelletdosage zu Kochmitte)	
positive Korrelation	negative Korrelation
* Trunk Intensität Bittere Nachtrunk Bernsteinsäurediethylester (forciert) 2-Propionylfuran (frisch) Trunk (forciert) Gewichtete Note (forciert) Sinapinsäure Kämpferol-diglykosid	$\alpha$ -Säure Alterungsverkostung Trunk (forciert) Bittere im Trunk (frisch) Vollmundigkeit (frisch) Rezenz (frisch)
** n-/ad-iso- $\alpha$ -Säure Isoxanthohumol	Alterungsverkostung Geruch (forciert) Alterungsverkostung Bittere (forciert)
***	Gewichtete Alterungsnote (forciert)

Tabelle 58: Eigenschaften auf die sich die Höhe der Pelletgabe zu Kochmitte auswirkt

		Pelletgabe zu Kochmitte	
		positive Korrelation	negative Korrelation
*	Gesamtpolyphenole Trunk Intensität Geruch grün-grasig Methylfurfural (forciert) Bernsteinsäurediethylester (forciert) Geruch DLG (forciert) Bittere DLG (forciert) Gewichtete DLG-Note (forciert) Trunk fruchtig (forciert) Bittere Trunk (forciert) geschätzte BE (forciert) Procyanidin B3 (C/C) p-Hydroxybenzoesäure Catechin Cumaroylchinasäure Chlorogensäure DP Cumaroylchinasäure Quercetin-malonylhexosid Summe niedermolekularer Polyphenole Geschmack (SJ)	Vollmundigkeit (frisch) Ø Gesamt (SJ)	
**	Kaffeoylchinasäure Procyanidin B1 (Ec/C) Feruloylchinasäure Epicatechin Quercetingalactosid Q-glucosid/rutinosid		
***	Kämpferol-3-glucosid Kämpferolflavonoid		

Summe niedermolekularer Polyphenole sowie einzelne niedermolekulare Polyphenole und Phenolcarbonsäuren. Das bedeutet, dass bei Kochmitte eher die niedermolekularen Polyphenole gelöst werden, da die Anthocyanogene und Tannoide keine signifikante Korrelation mit der Pelletgabe zu Kochmitte aufweisen. Tabelle 58 enthält eine Auflistung der Eigenschaften, die durch die Höhe der Pelletdosage zu Kochmitte positiv bzw. negativ mit mindestens 95%iger Signifikanz beeinflusst werden. Die positive Beeinflussung der geschätzten Bittereinheiten könnte auf bitter schmeckende niedermolekulare Polyphenole, wie Catechin und Epicatechin, zurückzuführen sein. Eine Pelletgabe zu Kochmitte zeigt einen Trend zu intensiveren Bitterwahrnehmungen (s. Tabelle 133 im Anhang), v. a. in den forcierten Proben. Dies deutet darauf hin, dass die Bittere der forcierten Biere bei der in

Serie B angewandten Hopfung nicht mehr nur durch iso- $\alpha$ -Säuren allein bestimmt wird, da diese mit der Alterung abbauen [169, 257, 229]. Somit könnten Bitterstoffabbauprodukte, Polyphenole oder Polyphenol-Eiweißverbindungen diese Bittere verursachen. Zur Harmonie zeigt die Kochmittegabe einen negativen Trend.

#### 4.6.4 Einfluss später Hopfengaben

Durch späte Hopfengaben werden die Ausdampfverluste der Hopfenaromastoffe reduziert und es wird ein Hopfenaroma erzeugt [128, 269]. Bedingt durch eine mittlere und späte Hopfengabe sind die Gehalte der phenolischen Verbindungen höher als bei Serie A und B (s. Tabelle 59) Die Ergebnisse der niedermolekularen Polyphenole sind in den Tabellen 112 und 113 im Anhang aufgeführt. Aufgrund der unvollständigen Isomerisierung können in den Bieren der Serie C die höchsten  $\alpha$ -Säurekonzentrationen (bis 4 mg/l) gemessen werden. Ein hoher Gehalt dieser unisomerisierten Bitterstoffe führt zu einer besseren mikrobiologischen Stabilität [103] und einer verbesserten Schaumstabilität [80]. Die weiteren Bieranalysen sind mit denen der vorangegangenen Serien vergleichbar und in Tabelle 59 aufgeführt.

Bei den H-Suden kam für diese Serie ein anderes Malz zum Einsatz, was anhand der Farbe erkennbar ist. Bezüglich der allgemeinen Bieraromastoffe (s. Tabelle 100 im Anhang) ergeben die Serie C-Biere das gleiche Bild bezüglich des 2-Phenylethanol und der mittelkettigen Fettsäuren, wie auch schon die beschriebenen Serien A und B. Besondere Beachtung kommt bei dieser Serie den Hopfenaromastoffen zu, die ebenfalls in Tabelle 100 im Anhang aufgeführt sind. Bei beiden Braustätten ist das gleiche Verhalten der Hopfensorten zu erkennen. Biere, die mit der Sorte Taurus aromatisiert wurden, weisen die höchsten Linaloolgehalte auf, während die Tettninger Biere, die mit den niedrigsten Linaloolkonzentrationen sind. Die Hopfengabe erfolgte auf Basis des Linaloolgehaltes in den Pellets und einer angenommenen Transferrate von 75 %. Durch das, wie in Abschnitt 4.5 gezeigt, unterschiedliche Transerverhalten der Sorten können die deutlichen Unterschiede zum Teil erklärt werden. Andererseits zeigten auch die Biere der

Tabelle 59: Bieranalysen der Serie C (Weihenstephan (T) und St. Johann (H))

	<b>TCXPHT</b>	<b>TCXPSR</b>	<b>TCXPTE</b>	<b>TCXPТУ</b>
	<b>HHT KE</b>	<b>HSR KE</b>	<b>TTE KE</b>	<b>HTU KE</b>
<b>Stammwürze [%mas]</b>	11,52	11,55	11,52	11,44
<b>Alkohol [%vol]</b>	4,92	4,85	4,92	4,91
<b>scheinbarer Extrakt [GG%]</b>	2,23	2,41	2,23	2,17
<b>Vergärungsgrad scheinbar [%]</b>	80,6	79,1	80,6	81,0
<b>pH-Wert</b>	4,5	4,59	4,49	4,53
<b>Farbe</b>	6,2	6,8	6,1	6,2
<b>Gesamtpolyphenole [mg/l]</b>	204	206	221	118
<b>Anthocyanogene [mg/l]</b>	70	98	84	55
<b>Tannoinde [mg/l]</b>	31	52	66	37
<b>Bittereinheiten</b>	22	24	27	30
<b>iso-<math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	21,4	17,9	20,4	19,3
<b><math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	1,7	2,3	1,0	4,4
	<b>HCXPHT</b>	<b>HCXPSR</b>	<b>HCXPTE</b>	<b>HCXPТУ</b>
	<b>HHT KE</b>	<b>HSR KE</b>	<b>TTE KE</b>	<b>HTU KE</b>
<b>Stammwürze [%mas]</b>	11,99	12,05	12,19	12,01
<b>Alkohol [%vol]</b>	5,26	5,33	5,37	5,3
<b>scheinbarer Extrakt [GG%]</b>	2,09	2,01	2,1	2,01
<b>Vergärungsgrad scheinbar [%]</b>	82,6	83,3	82,8	83,3
<b>pH-Wert</b>	4,66	4,71	4,74	4,71
<b>Farbe</b>	4,8	5,2	5	4,9
<b>Gesamtpolyphenole [mg/l]</b>	187	213	222	149
<b>Anthocyanogene [mg/l]</b>	101	101	93	60
<b>Tannoinde [mg/l]</b>	53	68	65	23
<b>Bittereinheiten</b>	25	24	26	23
<b>iso-<math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	22,2	20,0	19,5	17,9
<b><math>\alpha</math>-Säuren [mg/l]</b>	2,6	2,2	1,2	2,2

Serie B zum Teil hohe Linaloolgehalte, so dass die deutlichen Differenzen zwischen den Bieren auf unterschiedlichen Transferraten und auf, über die mittlere und späte Gabe eingebrachte Glykoside, die während der Gärung zu den freien Aromastoffen gespalten werden können, zurückzuführen sind. Die in Tabelle 101 im Anhang aufgeführten Alterungsindikatoren zeigen, dass bereits beschriebene Verhalten. In Tabelle 110 und 111 im Anhang sind die Verkostungsergebnisse des St. Johanner Verkostungspanels dargestellt. Hier erhalten die beiden Taurus-Biere eine leicht schlechtere Bewertung als die anderen Biere. Bei Betrachtung der DLG-Verkostung des Weihenstephaner Panels sowie der Alterungsverkostung nach EICHORN (s. Tab. 107 und 108 im Anhang) zeigt sich, dass die aromatischen Biere der Serie C durch die höchsten Bewertungen der Alterungsakzeptanz auffallen. Die positiven Hopfenaromastoffe können ein aufkommendes Alterungsaroma maskieren und somit die sensorische Geschmacksstabilität verbessern,

auch wenn die analytische Beurteilung Defizite aufweist. Diese maskierenden Eigenschaften auf das Alterungsaroma durch positive Aromastoffe wurde ebenfalls von KALTNER [128] beschrieben.

Im Folgenden sollen die einzelnen Sorteneinflüsse auf die Harmonie und die Gesamtbitterintensität getrennt dargestellt und im Anschluss gemeinsam diskutiert werden.

#### 4.6.4.1 Hallertau Saphir

Eine Kochendegabe der Sorte Saphir führte in Braustätte T zu einem wahrnehmbaren Hopfenaroma mit fruchtig-blumig, citrusartiger Ausprägung in Geruch und Trunk. Wie auch schon in Serie B wurden die T-Biere in Geruch und Trunk intensiver beurteilt, was auch in dieser Serie an der fruchtigeren Ausprägung der T-Biere liegt. Das Bitterprofil ist im frischen Zustand bei beiden Braustätten normal harmonisch mit Tendenzen zu einem längeren Nachtrunk. Im forcierten Zustand bleibt dies überwiegend erhalten auch wenn vereinzelt eine harte, kratzig breite Bittere auftrat. Die Harmonie der Bittere steigt durch die letzte Hopfendosage an. Verglichen mit Serie B ist dieser Anstieg allerdings nicht

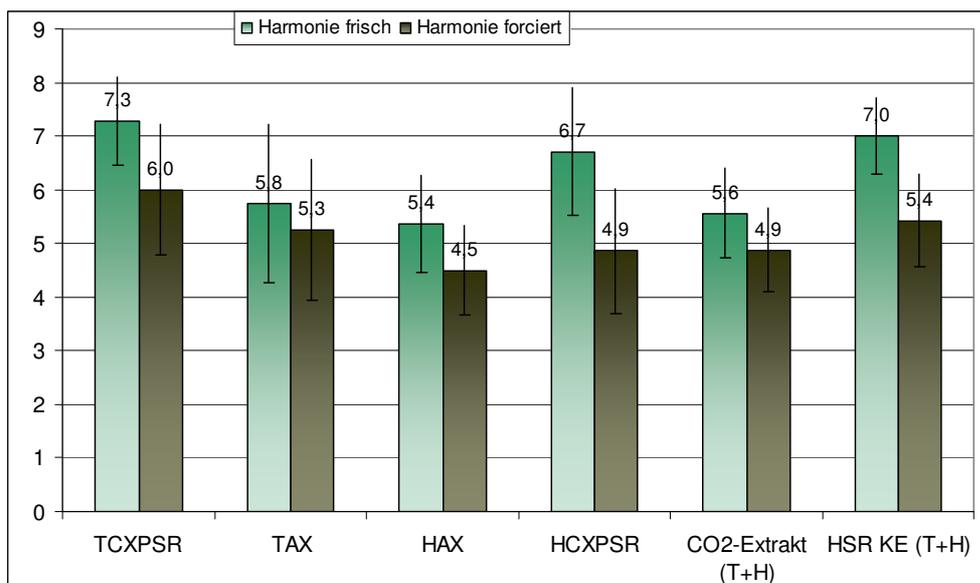
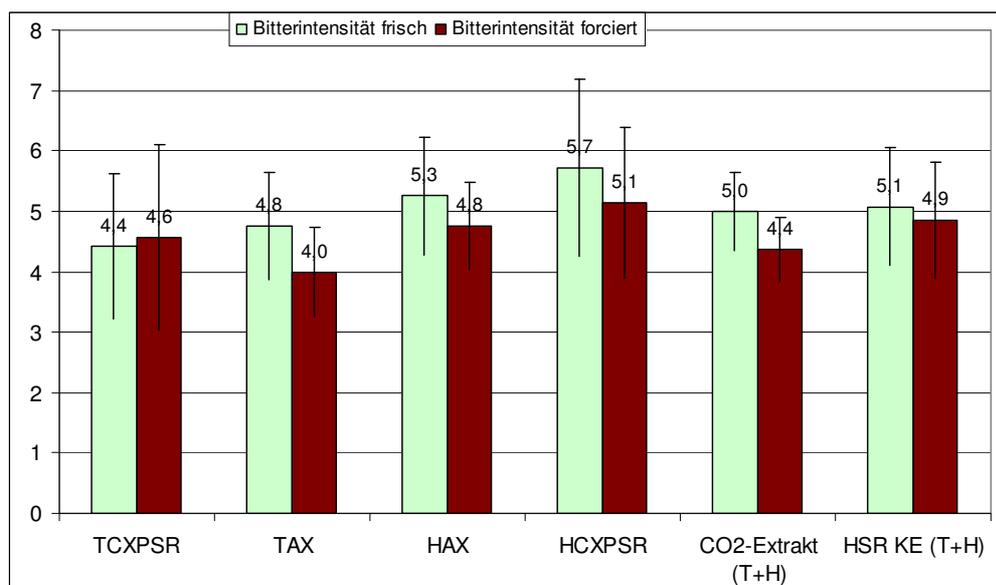


Abbildung 88: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HSR

signifikant, erreicht allerdings fast das Niveau der Serie A, wie Abbildung 88 zeigt. Bezüglich der Bewertung der Gesamtintensität der Bittere zeigt sich kein einheitliches Bild bei den Bieren, wie aus Abbildung 89 ersichtlich ist. Das T-Bier wird etwas weniger intensiv beurteilt als das H-Bier. Die ausführlichen Verkostungsergebnisse der Verkostung nach KALTNER sind in den Tabellen 102 und 104 im Anhang aufgeführt.



**Abbildung 89:** Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HSR

#### 4.6.4.2 Hallertau Hallertauer Tradition

Bei der Sorte Hallertauer Tradition wurden beide Braustätten in der Intensität des Aromas ähnlich bewertet. Qualitativ wurden die T-Biere tendenziell besser bewertet. Im Aromaprofil zeigten die T-Biere einen Trend zum fruchtigeren Charakter, der im bereits diskutierten analytisch fruchtigen Charakter begründet liegt. Das Bitterprofil der Biere ist überwiegend harmonisch mit z. T. längerem Nachtrunk, welches auch im forcierten Zustand keine deutliche Änderung erfährt, auch wenn vereinzelt eine harte und breite Bittere angegeben wurde. In den Tabellen 102 und 104 im Anhang sind die detaillierten Ergebnisse der Verkostung nach KALTNER aufgeführt. Die Bewertung der Harmonie ist in beiden Braustätten besser als das CO<sub>2</sub>-Vergleichsbier, allerdings erst bei der Kombination beider

Braustätten signifikant (T+H in Abb. 90). Im forcierten Bier ist die Harmonie nicht signifikant, sondern nur tendenziell höher als im entsprechenden Vergleichsbier. Die Bitterintensität, die in Abbildung 91 dargestellt ist, zeigt keinen deutlichen Unterschied zwischen den Bieren.

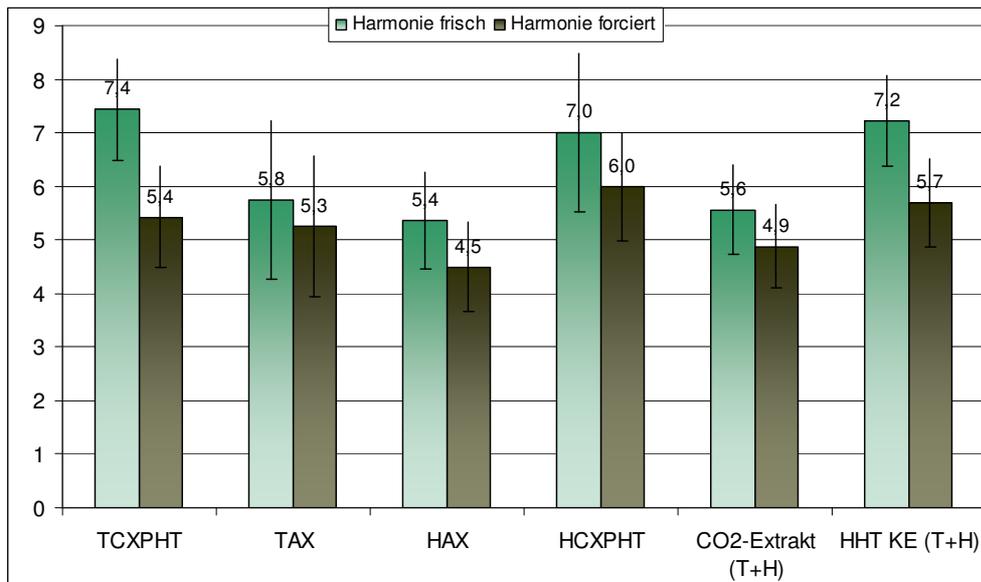


Abbildung 90: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HHT

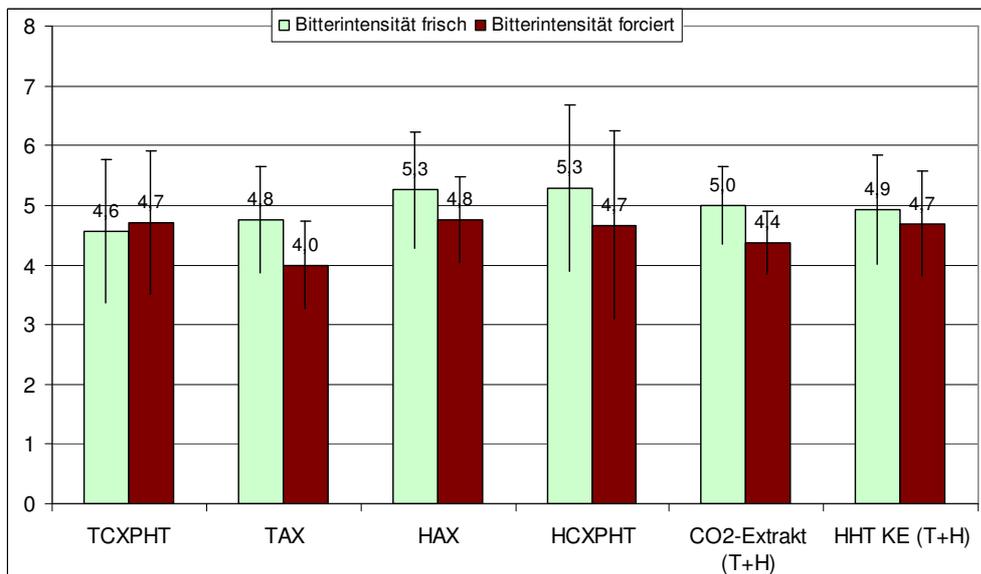


Abbildung 91: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HHT

#### 4.6.4.3 Tett nang Tett nanger

Ebenso wie bei den bisher betrachteten Sorten zeigen auch die T-Biere, die mit der Sorte Tett nanger gehopft wurden, höhere Bewertungen in der Intensität des Geruchs und in der Qualität des Trunks und Geruchs. Auch hier ist das Aromaprofil eher fruchtig und somit zum Teil auf die bereits erwähnten Gründe zurückzuführen. Das in den frischen Bieren ausgeprägte harmonische Bitterprofil wird in den forcierten Bieren als zum Teil nachhängend empfunden. In den Tabellen 103 und 105 sind die ausführlichen Verkostungsergebnisse der Verkostung nach KALTNER aufgelistet. Auch bei der Sorte Tett nanger zeigt sich eine Verbesserung der Harmonie durch zwei Hopfengaben, die allerdings nicht signifikant ist (s. Abb. 92). Bezüglich der Gesamtintensität der Bittere (Abbildung 93) fällt auf, dass die forcierten Biere der Sorte Tett nanger intensiver wahrgenommen werden. Eventuell ist dies auf das Hopfenaroma zurückzuführen, welches auch noch im forcierten Bier wahrgenommen wird. Wahrscheinlich impliziert dieses Aroma bei den Verkostern einen höheren Hopfeneinsatz und führt daher zu der intensiveren Bewertung, so dass es sich eher um eine psychologisch wahrgenommene Bittere handelt als um eine wirklich sensorische.

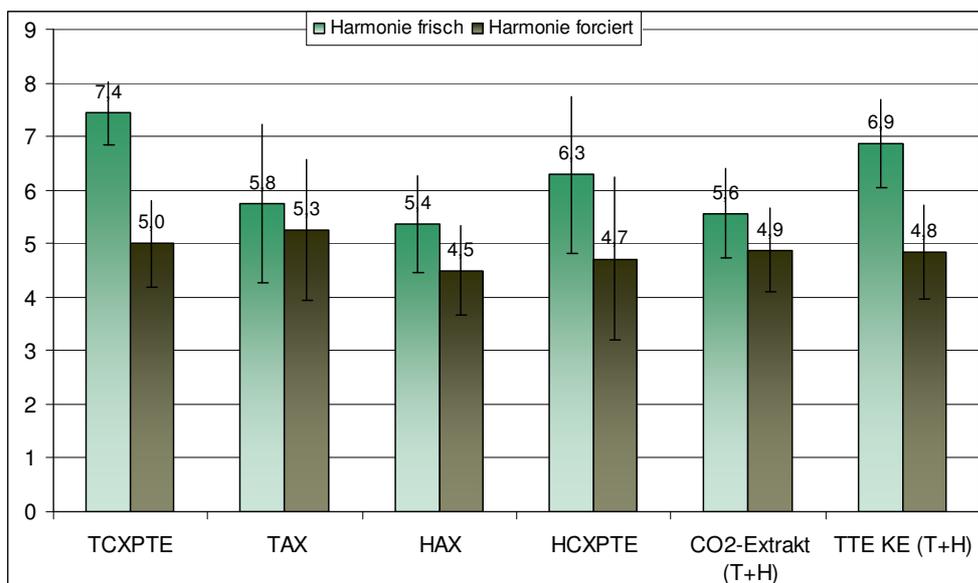
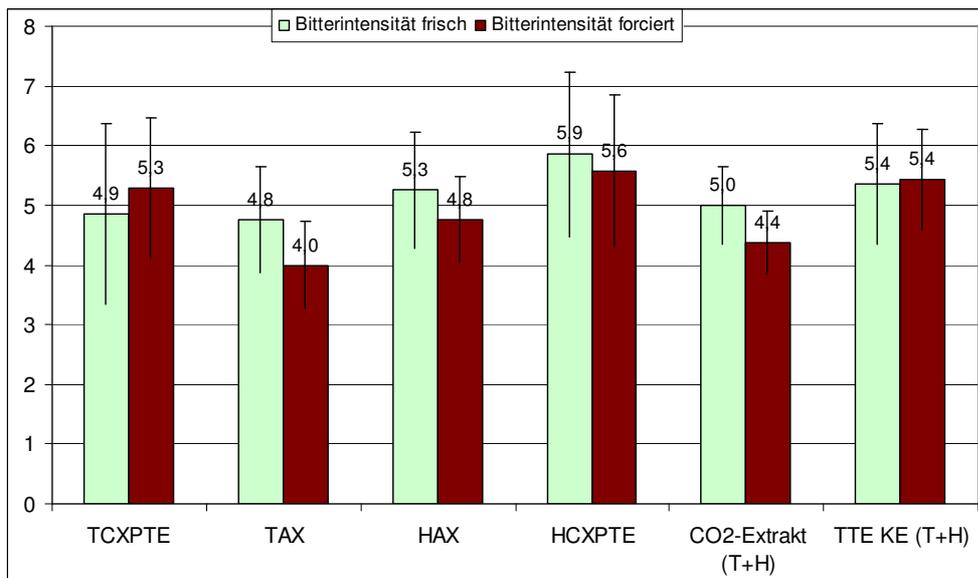


Abbildung 92: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte TTE



**Abbildung 93: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte TTE**

#### 4.6.4.4 Hallertau Taurus

Die Hüller Bitterhopfensorte Taurus findet eher eine Verwendung bei frühen Hopfengaben. Aufgrund der guten Aromausprägungen, die bei den Versuchen in Abschnitt 4.5 ermittelt wurden, wurde diese Sorte ebenfalls für Serie C eingesetzt. Wie bereits erwähnt, zeigten die Taurus-Biere die höchsten Linaloolgehalte. Die Aromausprägungen der Biere beider Braustätten zeigten einen eher citrusartigen Charakter mit fruchtig-blumigen Noten. Qualität und Intensität des Aromas in Geruch und Trunk wurden als deutlich bzw. angenehm empfunden. Auch bei dieser Sorte zeigte sich die etwas höhere Bewertung der T-Biere. Das Bitterprofil wurde im frischen und forcierten Zustand der Biere beider Brauereien als überwiegend harmonisch beurteilt. In den Tabellen 103 und 105 sind die ausführlichen Verkostungsergebnisse dargestellt.

Der Anstieg der Harmonie im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Vergleichsbier ist nicht nur im frischen, sondern auch in den forcierten Bieren zu sehen (s. Abbildung 94). Dieser ist allerdings nicht signifikant. Die in Abbildung 95 dargestellte Bitterintensität zeigt, dass durch eine Kombination mittlerer und später Hopfengaben die wahrgenommene Bittere ansteigt. Allerdings könnte auch hier die Wahrnehmung der Bittere durch Aromastoffe beeinflusst worden sein. Hinweise dazu sind in der Literatur zu finden [262, 268].

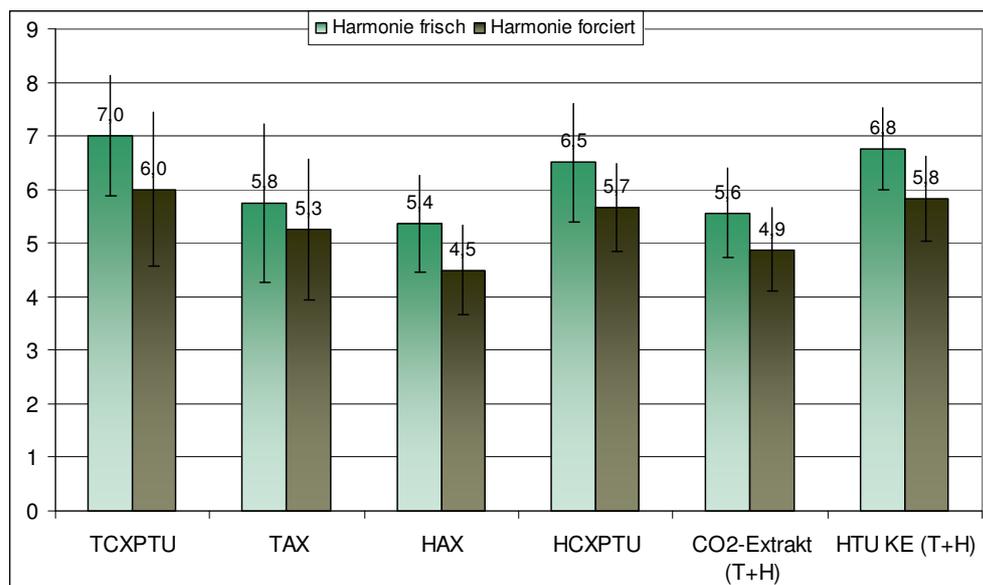


Abbildung 94: Veränderung der Harmoniebewertung durch späte Hopfengaben bei der Sorte HTU

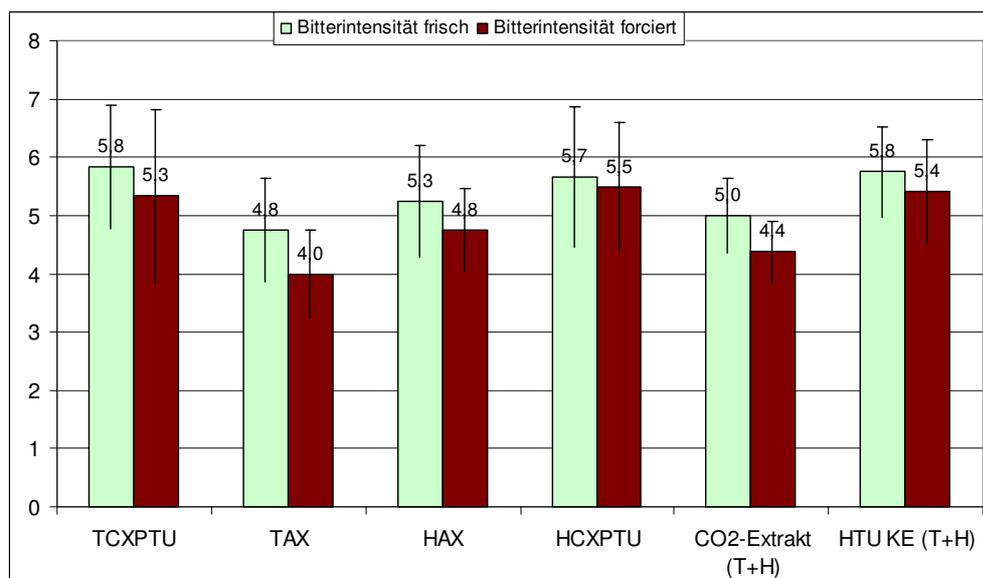


Abbildung 95: Veränderung der Bewertung der Gesamtbitterintensität durch späte Hopfengaben bei der Sorte HTU

#### 4.6.4.5 sortenunabhängige Betrachtung

Bei allen verwendeten Sorten stieg die Harmonie durch die Kombination der mittleren mit der späten Hopfengabe an im Vergleich zur alleinigen mittleren Hopfengabe an. Dieser Anstieg war meist nicht signifikant. Werden alle Biere mit Aromahopfen kombiniert ergibt sich das in Abbildung 96 dargestellte Bild. Im forcierten Zustand gibt es keine Unterschiede in der Harmonie, wobei die Biere mit der späten Hopfengabe allerdings ein wahrnehmbares Hopfenaroma aufweisen und eine höhere Alterungsakzeptanz besitzen. Die frischen Biere mit der kombinierten späten Hopfengabe weisen eine signifikant bessere Harmonie auf als das CO<sub>2</sub>-Vergleichsbier. Aber die spät gehopften Biere sind nicht besser in der Harmonie als die Biere, bei denen ein Teil der Hopfengabe zu Kochbeginn durch Aromahopfenpellets ersetzt wurde. Bei beiden Bieren (50 % Aromahopfen zu Kochbeginn und kombinierte mittlere und späte Gabe) wurden 50 % der Bittere durch Pellets eingebracht. Durch die späte Gabe wurde der negative Trend der mittleren Gabe ausgeglichen. Auf die Harmonie der frischen bzw. forcierten Biere haben u. a. die in Tabelle 60 aufgeführten Größen einen signifikanten Einfluss. Weitere Einflussgrößen auf die Harmonie- sowie die verschiedenen Bitterbewertungen (Antrunk, Trunk, Nachtrunk und Gesamtintensität) sind in den Tabellen 134 bis 143 im Anhang (aufgeschlüsselt nach den verschiedenen sensorischen und analytischen Gruppen) anhand ihrer

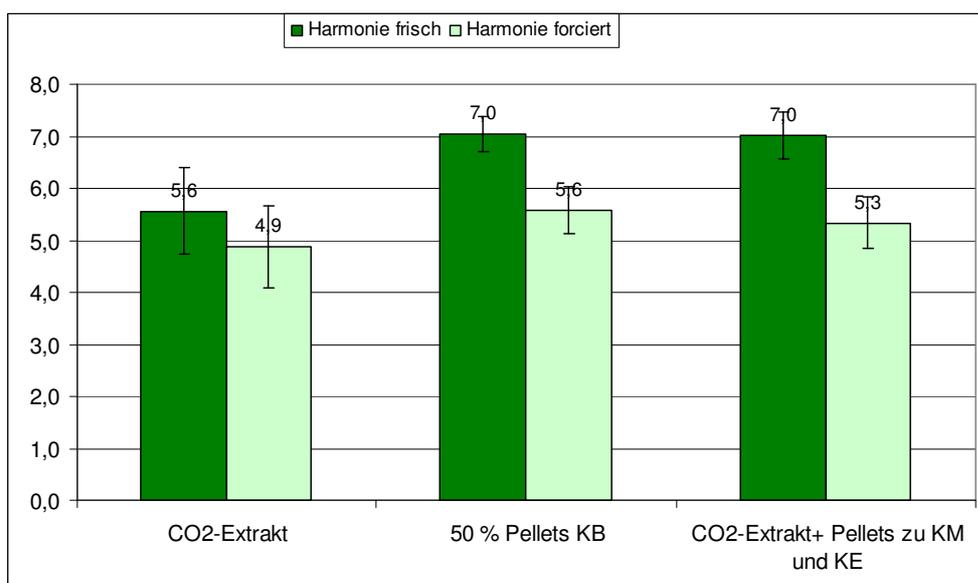


Abbildung 96: Unterschiede in der Harmonie durch Pelletdosage zu Kochbeginn sowie Kochmitte/Kochende

**Tabelle 60: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) bei einer Extraktgabe zu KB und Pelletgabe zu Kochmitte und Kochende**

Harmonie (Kochende)				
frisch		forciert		
positive Korrelation	negative Korrelation	positive Korrelation	negative Korrelation	
*	Summe der Sauerstoffindikatoren (frisch)	Alkohol	Nicotinsäureethylester (forciert)	Gesamtpolyphenole
	Akzeptanz (%) (forciert)	Bittere Gesamtintensität	Rezenz (forciert)	Bittere Antrunk (forciert)
	Geruch (frisch)	geschätzte BE	Geruch blumig (forciert)	Bittere Trunk (forciert)
	Procyanidin B2 ( Ec/Ec )	Nicotinsäureethylester (frisch)	hartes Bitterprofil (forciert)	Nerol
	Vanillinsäure	Gewichtete Alterungsnote (forciert)	Vollmundigkeit (SJ)	
	Syringasäure	Decansäure-Ethylester		
	2-Phenylethanol	Octansäure		
	Essigsäure-Isobutylester	Dodecansäure		
	Essigsäure-Heptylester			
	Essigsäure-2-Phenylethylester			
	gamma-Nonalacton			
Weichheit (SJ)				
**		Stammwürze	2-Acetylfuran (forciert)	Bittere Gesamtintensität (forciert)
		pH-Wert		
		Procyanidin		
		1-Octanol		
		1-Decanol		
		Octansäure-Ethylester Decansäure		

Korrelationskoeffizienten aufgelistet. Bei den Bieren der Serie C hatten Alkohol, Stammwürze und der pH-Wert negative Einflüsse auf die Harmonie. Ein hoher pH-Wert verstärkt die Bitterwahrnehmung, wie in Abschnitt 4.1 gezeigt, und kann zu einer unangenehmen Bittere führen. Ebenso negativ auf die Harmonie wirken die mittelkettigen Fettsäuren, sowie deren Ethylester, da hier das Aroma des Bieres negativ beeinflusst wird. Essigsäureester wirken dagegen positiv auf die Harmonie der Serie C Biere.

Alle Faktoren, die die wahrgenommene Bittere positiv beeinflussen, haben auf die Harmonie z. T. deutlich negativen Einfluss. Gesamtpolyphenole und Tannoide (s. Tabelle 134) korrelieren z. B. signifikant mit der Bitterintensität aber auch deutlich negativ mit der Harmonie. Dies bedeutet, dass die Bittere, die durch phenolische Substanzen

**Tabelle 61: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciertter Biere bei einer Extraktgabe zu Kochbeginn und einer Pelletgabe zu Kochmitte und Kochende**

<b>Alterungsakzeptanz forciert (bei kombinierte mittlerer und später Hopfengabe)</b>	
<b>positive Korrelation</b>	<b>negative Korrelation</b>
* scheinbarer Extrakt Harmonie Methylfurfural (forciert) Trans-Zimtsäure Weichheit (SJ)	Stammwürze Alkohol Vergärungsgrad scheinbar Bittere Gesamtintensität Bittere Antrunk Bittere Trunk geschätzte BE Bitterprofil kratzig (forciert) Bitterprofil kratzig (forciert) 1-Decanol
** Alterungsnote Geruch (forciert) Gewichtete Alterungsnote (forciert) Bittere Trunk (forciert) Procyanidin	Geruch (forciert) Bittere/Intensität (SJ)

hervorgerufen wird, als negativ einzuordnen ist. Auch ein geringer Restextrakt in Form eines hohen Vergärungsgrades verstärkt die Bittere, da zum einen mehr bitterer Ethanol gebildet und zum anderen der abmildernde Restextrakt abgebaut wurde. Dies zeigt, dass Bier ein komplexes Gebilde aus sensorischen Gegenspielern ist, welche für die Harmonie verantwortlich sind. Aber nicht nur auf die Harmonie wirken diese Eigenschaften wie Alkohol und Stammwürze. Auch auf die Alterungsakzeptanz haben diese in der Serie C einen signifikant negativen Einfluss. Tabelle 61 zeigt zusammenfassend die Größen, die mit der Alterungsakzeptanz korrelieren. Linalool zeigt mit den in Tabelle 135 aufgeführten Bitterattributen meist negative Korrelationen auch wenn diese nicht signifikant sind. Einen negativen Einfluss auf die Harmonie hat Nerol, welches mit den Bitterattributen positiv korreliert. Die bestätigt die Aussagen von MARRIOT [262] sowie die Ergebnisse von SILBEREISEN et al. [268], wonach verschiedene Aromastoffe bzw. Aromastofffraktionen Einfluss auf die wahrgenommene Bittere haben können.

Positiv mit der Harmonie und negativ mit den Bitterimpressionen korreliert die Hopfenmenge, die zu Kochende dosiert wird (s. Tabelle 143).

#### 4.6.5 Sorten- und Dosagezeitpunktunabhängige Betrachtung

Im Folgenden sollen alle Biere der Serien A, B und C unabhängig von der Serie und Hopfensorte betrachtet werden. Alle Korrelationskoeffizienten der Harmonie, Alterungsakzeptanz sowie den bereits erwähnten Bitterattributen mit analytischen und sensorischen Daten sind in den Tabellen 144 bis 153 im Anhang aufgeführt.

##### 4.6.5.1 Harmonie

In Tabelle 62 sind die Einflussfaktoren auf die Harmoniebewertung der frischen und forcierten Biere aufgeführt. Es zeigt sich, dass primär sensorische Attribute mit der Harmonie korrelieren. Werden diese nicht berücksichtigt, wird deutlich, dass der Gehalt des Restextraktes positiv für die Harmonie ist, da dieser die Bittere kompensiert. Soll ein Bier mit einem höheren Bitterstoffgehalt hergestellt werden, ist es für die Harmonie von Vorteil, dieses Bier nicht zu hoch zu vergären. Ebenfalls einen deutlich positiven Einfluss auf die Harmonie hat die isomerisierte Form des Prenylflavonoides Xanthohumol. Da Isoxanthohumol ebenfalls Bitter schmeckt [405] zählt es zur nicht-iso- $\alpha$ -Bittere, der somit ein wichtiger Beitrag in der Abrundung der  $\alpha$ -/iso- $\alpha$ -Bittere zukommt. Negativ auf die Harmonie wirkt sich ein hoher Geraniolgehalt in den frischen und den forcierten Bieren aus. Dies zeigt, dass nicht alle Hopfenaromastoffe positiv für die Harmonie sind. Alkohol und Vergärungsgrad haben einen signifikant negativen Einfluss auf die Harmonie der forcierten Biere.

Tabelle 62: Einflussfaktoren auf die Harmonie (frisch und forciert) über alle Serien

Harmonie				
frisch		forciert		
	positive Korrelation	negative Korrelation	positive Korrelation	negative Korrelation
*	Geruch Intensität	Bittere Nachtrunk	Geruch Intensität	Alkohol
	Trunk Intensität	Bitterprofil hart und breit	Vanillinsäure	Vergärungsgrad scheinbar
	Geruch blumig	Alterungsnote Bittere (forciert)	$\gamma$ -Nonalacton (frisch)	Geruch sonstige
	Trunk (forciert)	hart und breit (forciert)	Summe der Wärmeindikatoren (frisch)	2-Phenylethanal (forciert)
	Protochatechusäure	1-Octanol	Summe der Alterungskomponenten (frisch)	Alterungsnote Trunk (forciert)
	Sinapinsäure	Buttersäure-Ethylester	Geruch (forciert)	Gewichtete Alterungsnote (forciert)
	1-Hexanol	Geraniol	Vollmundigkeit (forciert)	Bitterprofil hart und breit (forciert)
	Essigsäure-Hexylester Essigsäure-Heptylester Weichheit (SJ) Bittere/Qualität (SJ)	Extrakt dosage Kochbeginn	Geruch (frisch) Vollmundigkeit (frisch) Rezenz (frisch) Bittere (frisch) Gewichtete Note (frisch)	Apigeninflavonoid 1-Octanol Geraniol
**	scheinbarer Extrakt	Vergärungsgrad scheinbar	Geruch Qualität	Alterungsnote Bittere (forciert)
	Geruch fruchtig	Geruch sonstige	Trunk Qualität	
	Trunk fruchtig		Trunk blumig	
	Trunk blumig		normal (harmonisch)	
	Geruch (frisch)		Trunk (forciert)	
	Vollmundigkeit (frisch)		Bittere (forciert)	
	Rezenz (frisch) Isoxanthohumol		Akzeptanz (forciert) Geruch Qualität (forciert) Trunk Qualität (forciert) Bitterprofil normal (harmonisch) (forciert)	
***	Geruch Qualität	Schaum/Haftvermögen (SJ)	Harmonie (frisch)	
	Trunk Qualität	Antrunk abgerundet aber nachhängend	Gewichtete Note (forciert)	
	Bitterprofil normal (harmonisch)			
	Trunk (frisch)			
	Bittere (frisch) Gewichtete Note (frisch)			

#### 4.6.5.2 Alterungsakzeptanz

Die Alterungsakzeptanz gibt Aussage darüber wie viel Prozent der Verbraucher dieses Bier als frisch bzw. ohne Beanstandung akzeptieren würden. Aus diesem Grund sind alle Maßnahmen, die den Zeitraum, in dem das Bier noch kein wahrnehmbares Alterungsaroma aufweist, von großer Bedeutung. Tabelle 63 zeigt die Faktoren/Größen, die positiv bzw. negativ mit der Alterungsakzeptanz korrelieren. Es zeigt sich, dass

**Tabelle 63: Einflussfaktoren auf die Alterungsakzeptanz forciert** über alle Serien

<b>Alterungsakzeptanz forciert (alle Serien)</b>	
<b>positive Korrelation</b>	<b>negative Korrelation</b>
* 3-Methylbutanal (forciert) 2-Propionylfuran (frisch) Bittere (frisch) Geruch Qualität (forciert) Geruch fruchtig (forciert) Vanillinsäure Nonansäure Farbe (SJ)	Farbe iso- $\alpha$ -Säure 1-Octanol Octansäure-Ethylester Schaum/Porengröße (SJ) Schaum/Haftvermögen (SJ) Ø Optik (SJ) co-iso- $\alpha$ -Säure
** Geruch Qualität (frisch) Trunk Qualität (frisch) 2-Propionylfuran (forciert) Vollmundigkeit (forciert) Trunk Qualität (forciert) Geruch blumig (forciert) Trunk hopfenwürzig (forciert) Harmonie (forciert) Pelletdosage Kochende BE/isoalpha	
*** Geruch Intensität (frisch) Trunk Intensität (frisch) Bernsteinsäurediethylester (forciert) Bernsteinsäurediethylester (frisch) Geruch (forciert) Trunk (forciert) Bittere (forciert) Gewichtete Note (forciert) Geruch Intensität (forciert) Trunk Intensität (forciert) Geruch grün-grasig (forciert) Trunk grün-grasig (forciert) Linalool	Gewichtete Alterungsnote (forciert) Alterungsnote Geruch (forciert) Alterungsnote Trunk (forciert) Alterungsnote Bittere (forciert)

Maßnahmen, die dazu dienen das Bier zu aromatisieren, zu einer besseren Alterungsakzeptanz führen. Hochsignifikant korreliert daher die Höhe der Hopfengabe zu Kochende, durch die blumige, fruchtige, citrusartige und hopfenwürzige bzw. grün-grasige Noten in das Bier eingebracht werden können. Diese Aromanoten sind auch im forcierten Bier bemerkbar und reduzieren somit die Wahrnehmung des Alterungsaromas. Die hier dargestellten Ergebnisse unterstützen die Ergebnisse von KALTNER [128], der diese unterdrückenden Effekte ebenfalls beobachtet hat. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass der Linaloolgehalt hochsignifikant positiv mit der Alterungsakzeptanz korreliert. Somit sind späte Hopfengaben gut für die Geschmacksstabilität, da die Alterungsaromen, v. a. in den frühen Stadien der Alterung durch die Hopfenblume überdeckt werden. Negativ korrelieren zum einen optische und sensorische Eigenschaften aber auch analytische Faktoren. Eine zu intensive Farbe ist ein negativer Faktor, da dunklere Biere mehr Maillardprodukte enthalten. Des Weiteren sind die charakteristischen Aromastoffe in dunklen Bieren die gleichen, wie die Alterungsaromen in hellen Bieren [408]. Zu hohe iso- $\alpha$ -Säuren-Gehalte haben einen signifikant negativen Einfluss auf die Alterungsakzeptanz. Von den Bitterstoffen können über verschiedene oxidative Reaktionen Seitenketten abgespalten werden, darunter auch die typischen Aldehyde, die am Alterungsaroma beteiligt sind [219, 220, 223]. Dadurch wird das Alterungsaroma durch die Bitterstoffe zusätzlich verstärkt.

#### 4.6.5.3 Linalool

Aufgrund der Wichtigkeit des Aromastoffes Linalool für die Alterungsakzeptanz und auch wegen der sensorischen Relevanz des Linalools für das Hopfenaroma (s. Abschnitt 4.3) soll an dieser Stelle auf die Einflußgrößen für diesen Aromastoff eingegangen werden. Die Abbildungen 97 und 98 zeigen die Linaloolgehalte der Biere der Serien A bis C aus den verschiedenen Braustätten sowie aller verwendeter Sorten. Bei Serie B fällt die Sorte Saphir in beiden Brauereien deutlich heraus. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass diese Charge der Sorte Saphir relativ hohe Glykosidgehalte aufwies. Allerdings zeigt die Sorte Saphir in Serie C nicht dieses Verhalten. Hier besitzt die Sorte Tettninger eine

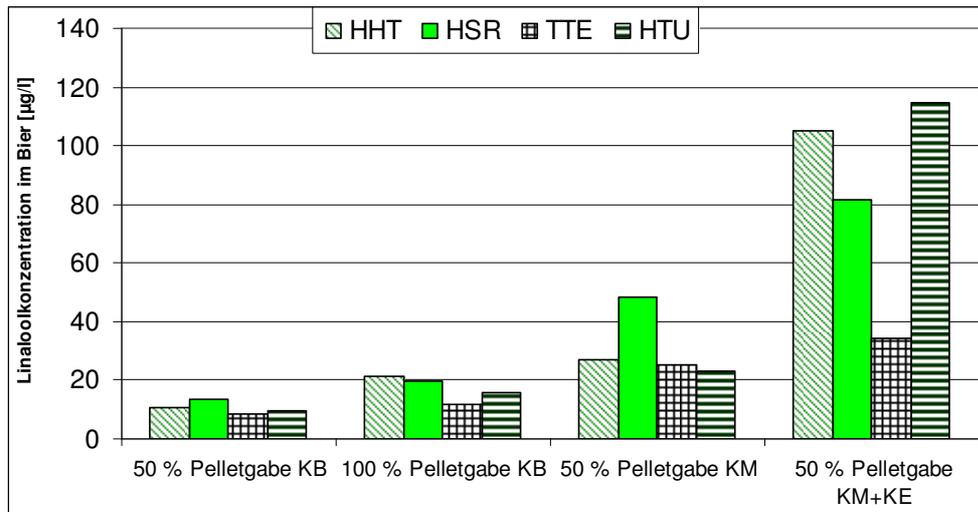


Abbildung 97: Linaloolgehalte der Weihenstephaner Biere

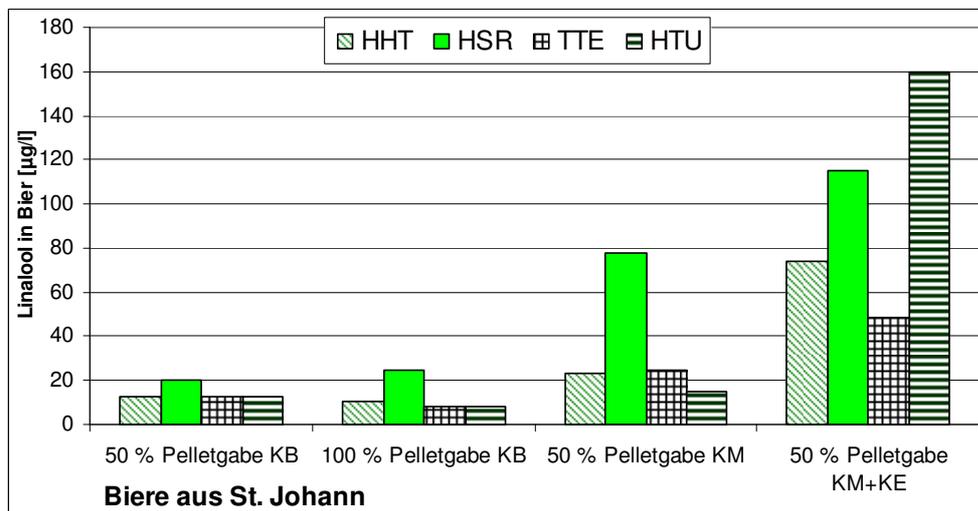


Abbildung 98: Linaloolgehalte der St. Johanner Biere

Außenseiterstellung, da die Linaloolgehalte deutlich niedriger sind als bei den anderen drei Sorten. Die Sorte Tettlinger zählt ebenso wie die Sorte Spalter (s. Abschnitt 4.5) zum Saazer Formenkreis, die bei den Transferversuchen ebenfalls durch deutlich niedrigere Aromastoffausbeuten auffiel.

Bei Serie C kommt es wahrscheinlich aufgrund verschiedener Effekte zu diesen deutlichen Unterschieden in den Linaloolgehalten. Neben dem Gehalt glykosidisch gebundener Aromastoffe ist auch die Transferrate der freien Aromastoffe von Bedeutung, die wie in Abschnitt 4.5 gezeigt, differieren können. In Tabelle 64 sind die Größen aufgeführt, mit denen Linalool korreliert. Es zeigt sich, dass mit den verschiedenen hopfenaromatischen

**Tabelle 64: Eigenschaften/Einflussgrößen, die mit dem Linaloolgehalt korrelieren**

		<b>Linaloolgehalt im Bier</b>	
		<b>positive Korrelation</b>	<b>negative Korrelation</b>
		Bittereinheiten Geruch Qualität Geruch grün-grasig Bittere Gesamtintensität Bittere Nachtrunk Bitterprofil hart und breit Bitterprofil hart und breit * Trunk (forciert) Rezenz (frisch) Geruch citrus (forciert) Trunk citrus (forciert) Trunk hopfenwürzig (forciert) Bittere Gesamtintensität (forciert) Nonansäure Farbe (SJ) Geruch (SJ)	Bitterprofil normal (harmonisch) Antrunk abgerundet aber nachhängend Bittere/Intensität (SJ) Alterungsnote Trunk (forciert) Alterungsnote Bittere (forciert) Gewichtete Alterungsnote (forciert) Schaum/Porengröße (SJ)
	**	Trunk grün-grasig harmonisch, langer Nachtrunk Gewichtete Note (forciert) Vollmundigkeit (frisch) Geruch Intensität (forciert) Trunk Intensität (forciert) Geruch grün-grasig (forciert) Bittere Antrunk (forciert) Bittere Trunk (forciert) Cumaroylchinasäure p-Cumarsäure $\alpha$ -Terpineol	iso- $\alpha$ -Säuren Syringasäure gamma-Nonalacton
	***	$\alpha$ -Säuren Geruch Intensität Trunk Intensität Geruch citrus Trunk citrus Bernsteinsäurediethylester (forciert) Bernsteinsäurediethylester (frisch) Vollmundigkeit (forciert) Akzeptanz (forciert) Trunk grün-grasig (forciert) 1-Heptanol Pelletgabe Kochende	Farbe

Eindrücken eine signifikante Korrelation auftritt, was insofern nicht verwundert, da durch die späten Hopfengaben neben Linalool noch weitere Aromastoffe eingebracht werden, die zwar aufgrund ihrer in Abschnitt 4.2 bestimmten sensorischen Relevanz keinen direkten Einfluss auf das Hopfenaroma haben, aber über additive Effekte oder über oxidierte und/oder reduzierte Derivate das Hopfenaroma in den verschiedenen Ausprägungen bestimmen. Durch späte Hopfengaben werden neben Linalool auch vermehrt  $\alpha$ -Säuren eingebracht. Ein hoher  $\alpha$ -Gehalt ist positiv für die mikrobiologische Stabilität und ebenso für die Schaumstabilität der fertigen Biere. Durch die eingebrachten  $\alpha$ -Säuren steigen auch die photometrischen Bittereinheiten, obwohl der iso- $\alpha$ -Gehalt sinkt, da die Isomerisierungsrate bei späten Hopfengaben geringer ist. Bei Bierern, die relativ hohe Linaloolgehalte aufwiesen, wurde die Vollmundigkeit in den forcierten Bierern als gut bewertet.

#### ***4.7 Einfluss verschiedener Hopfenaromastoffe auf die sensorische Wahrnehmung des Hopfenaromas***

Da es in der Literatur vielfältige Aussagen über den Einfluss der Hopfenaromastoffe auf das Hopfenaroma gibt, wurden alle Biere, die im Rahmen dieser Arbeit hergestellt wurden, vereint und die sechs Hopfenaromastoffe mit den sensorischen Attributen Intensität und Qualität des Hopfenaromas in Geruch und Trunk korreliert. Tabelle 65 zeigt, dass  $\beta$ -Caryophyllen, Geraniol und Linalool signifikant mit der Intensität des Hopfenaromas im Geruch korrelieren. Der graphische Zusammenhang zwischen Linalool und der Intensität im Geruch ist ebenfalls in Abbildung 99 dargestellt. Es ist hier anzumerken, dass bei zu hohen Linaloolgehalten, die Biere als unangenehm parfümiert wahrgenommen werden können. Allerdings kann die Konzentration, ab der die Biere dieses parfümartige Aroma aufweisen nicht pauschal festgelegt werden, da dies ein subjektives Empfinden eines jeden einzelnen Verkosters/Konsumenten ist. Mit der Qualität des Hopfenaromas im Geruch korreliert einzig der Linaloolgehalt positiv. Bei  $\beta$ -Caryophyllen ist diese Korrelation nicht signifikant. Ein ähnliches Bild ist bei der Beurteilung der Intensität des Hopfenaromas im Trunk zu erkennen, da hier ebenfalls allein Linalool signifikant und  $\beta$ -Caryophyllen und Geraniol nicht signifikante Korrelationen aufweisen. Die Qualität des Hopfenaromas im

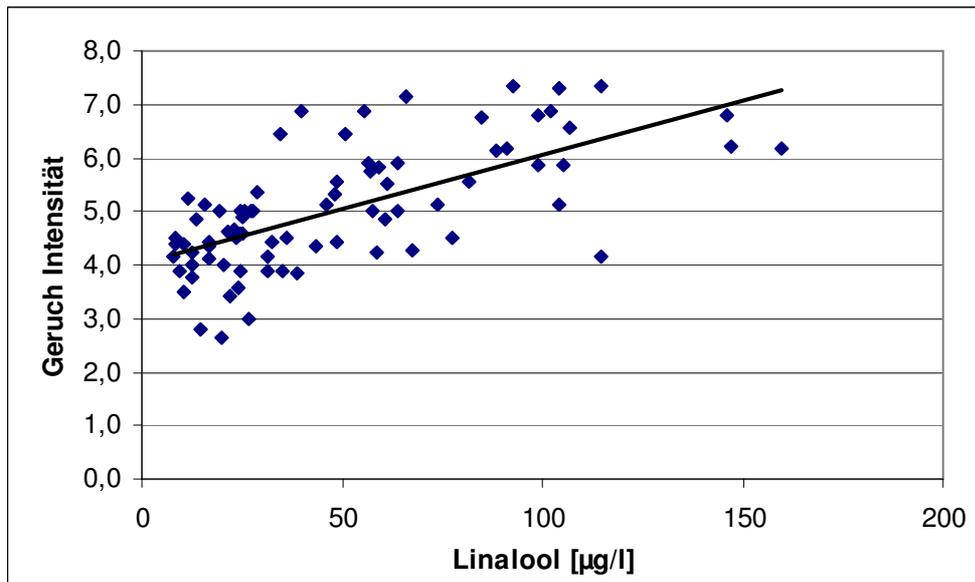


Abbildung 99: Einfluss des Linaloolgehaltes auf die Intensität des Geruches des Hopfenaromas

Tabelle 65: Korellationskoeffizienten zwischen Wahrnehmung des Hopfenaromas in Geruch und Trunk und den Hopfenaromastoffen

	<i>Geruch Intensität</i>	<i>Geruch Qualität</i>	<i>Trunk Intensität</i>	<i>Trunk Qualität</i>	<i>β-Caryophyllen</i>	<i>Geraniol</i>	<i>Humulen</i>	<i>Linalool</i>	<i>Nerol</i>	<i>α-Terpineol</i>
<i>Geruch Intensität</i>		<b>0,761</b>	<b>0,853</b>	<b>0,633</b>	<u>0,230</u>	<b>0,294</b>	0,111	<b>0,665</b>	0,027	0,075
<i>Geruch Qualität</i>	<b>0,761</b>		<b>0,677</b>	<b>0,826</b>	0,203	0,072	0,014	<b>0,470</b>	0,187	0,076
<i>Trunk Intensität</i>	<b>0,853</b>	<b>0,677</b>		<b>0,695</b>	0,195	0,169	0,019	<b>0,623</b>	0,102	0,099
<i>Trunk Qualität</i>	<b>0,633</b>	<b>0,826</b>	<b>0,695</b>		0,188	0,015	-0,116	<b>0,407</b>	<u>0,233</u>	0,108
<i>β-Caryophyllen</i>	<u>0,230</u>	0,203	0,195	0,188		-0,077	-0,057	0,160	<b>0,336</b>	0,065
<i>Geraniol</i>	<b>0,294</b>	0,072	0,169	0,015	-0,077		<b>0,456</b>	<b>0,392</b>	<b>-0,410</b>	-0,163
<i>Humulen</i>	0,111	0,014	0,019	-0,116	-0,057	<b>0,456</b>		0,041	-0,150	-0,178
<i>Linalool</i>	<b>0,665</b>	<b>0,470</b>	<b>0,623</b>	<b>0,407</b>	0,160	<b>0,392</b>	0,041		-0,005	<u>0,282</u>
<i>Nerol</i>	0,027	0,187	0,102	<u>0,233</u>	<b>0,336</b>	-0,410	-0,150	-0,005		0,198
<i>α-Terpineol</i>	0,075	0,076	0,099	0,108	0,065	-0,163	-0,178	<u>0,282</u>	0,198	
kritische Korellationskoeffizienten [409]	N=80, FG=78				0,221*		0,289**		0,365***	

Trunk wird zusätzlich zum Linalool noch signifikant positiv vom Nerol beeinflusst.  $\beta$ -Caryophyllen und  $\alpha$ -Terpineol korrelieren nicht signifikant, positiv mit der Qualität des Hopfenaromas, während Humulen nicht signifikant, negativ mit der Qualität des Aromas im Trunk korreliert. Es zeigt sich also, dass nicht alle Hopfenaromastoffe in gleichem Maße die Intensität und/oder die Qualität des Hopfenaromas in Geruch bzw. Trunk beeinflussen und dass es Aromastoffe gibt, die eher den Trunk als den Geruch beeinflussen. Durch hohe Linalooldosagen werden auch vermehrt diese anderen Aromastoffe in das Bier eingebracht. Dabei ist auffällig, dass Nerol und Geraniol hoch signifikant negativ miteinander korrelieren. In Abbildung 100 ist die gegenseitige Beeinflussung zwischen Nerol und Geraniol anhand ihrer jeweiligen Konzentrationen im Bier dargestellt. Diese negative Korrelation ist über die cis-trans-Isomerie beider Aromastoffe zueinander erklärbar (s. Abbildung 8). Des Weiteren konnte in der Literatur gezeigt werden, dass diese Aromastoffe ineinander durch geeignete schwach saure Lösungen (wie Bier) oder Hefe umgewandelt werden können [275, 274, 305, 410]. Die Umwandlung erfolgt u. a. über Linalool als Zwischenprodukt [410]. KING et al. [274] schreiben, dass Geraniol hauptsächlich zu Citronellol und Nerol abgebaut wird.

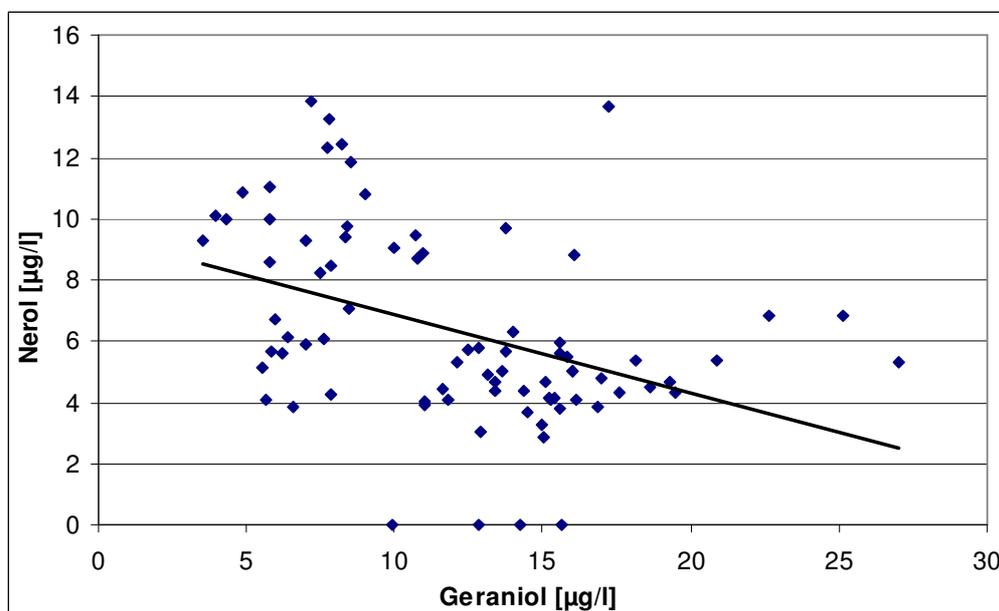


Abbildung 100: Gegenseitige Beeinflussung der Aromastoffe Nerol und Geraniol

#### **4.8 Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Hopfenaromastoffe und Würzequalität**

In den letzten Jahren sind zahlreiche neue Kochsysteme auf den Markt gekommen, die verbesserte Würzeigenschaften durch effektiveren Energieeinsatz und dadurch bedingt eine schonender Kochung hervor bringen [346]. Vier moderne Kochsysteme wurden in dieser Versuchsreihe näher betrachtet und deren Auswirkungen auf die Würzequalität sollen nachfolgend erläutert werden. In Tabelle 66 sind die Würzeanalysen der vier Kochsysteme aufgeführt. Alle Versuche wurden in Doppelbestimmung durchgeführt. Hier werden nur die Mittelwerte der Sude aufgeführt, da die Einzelsude dieselben Tendenzen aufweisen. Über die Reproduzierbarkeit der Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan wurde bereits an anderer Stelle berichtet [63]. Alle Kochsysteme zeigen eine akzeptable TBZ-Zunahme. Der Innenkocher weist mit 12 einen leicht größeren Anstieg von Pfannevoll- zu Ausschlagwürze als die anderen. Die Zunahme der TBZ durch die Whirlpoolrast beträgt jeweils 2-3 Einheiten. Die geringere Zunahme bei Vakuumsystem 2 liegt daran, dass vor der Whirlpoolrast eine Abkühlung der Würze auf ~88 °C stattfindet und somit die Würze einer leicht geringeren thermischen Belastung ausgesetzt ist, was sich auch in der TBZ widerspiegelt. Das Bild der TBZ wird gestützt durch den Verlauf von 2-Furfural (s. Abb. 102) welches beim Innenkocher höhere Konzentrationen aufweist. Bei diesem Aromastoff ist auch die andere Verfahrensweise bei Vakuumsystem 1 zu erkennen. Durch die 60minütige Heißhaltung wird im Vergleich zu den anderen (konventionellen) Systemen weniger 2-Furfural gebildet.

Mit fortschreitender Kochzeit steigen die Polyphenolgehalte an. Bei den Tannoiden ist bei allen Systemen jeweils ein hopfengabebedingter Anstieg nach 10 min zu erkennen, wobei die Konzentration zur Ausschlagwürze hin wieder absinkt, um durch die Whirlpoolgabe wieder anzusteigen. Gesamtpolyphenole und Anthocyanogene steigen mit zunehmender Kochzeit überwiegend an. Dies bestätigt die in Abschnitt 4.6 getroffene Aussage, dass durch die Hopfengabe Polyphenole eingebracht werden, diese aber eine gewisse (Koch)Zeit benötigen, um extrahiert zu werden.

Die photometrischen Bittereinheiten liegen bei allen Systemen im gleichen Bereich, wobei Vakuumsystem 2 zwei BE weniger in der KM-Würze aufweist, allerdings sind die Unterschiede zu gering, um eine Aussage treffen zu können.

Tabelle 66: Würzeanalysen und Veränderung der Würzeparameter in Abhängigkeit der Kochzeit und des Kochsystemes

		Innenkocher				Außenkocher			
		1	4	13	16	1	4	13	16
<b>Stammwürze</b>	GG %	11,14	11,30	11,83	11,78	11,15	11,30	11,83	11,82
<b>Farbe</b>		-	-	-	9,8	-	-	-	7,8
<b>TBZ</b>		12	-	24	26	12	-	20	23
<b>Koag. N (auf 12 %)</b>	mg/100 ml	6,8	-	2,3	2,5	7,0	-	2,1	2,0
<b>Tannine</b>	mg PVP/l	74	107	93	137	82	126	108	179
<b>Anthocyanogene (bez. a. 12 %)</b>	mg/l	70	104	95	115	94	123	113	148
<b>Gesamtpolyphenole (bez. a. 12 %)</b>	mg/l	109	204	172	244	132	202	205	277
<b>Flavanoide</b>	mg Catechin/l	32	-	48	56	38	-	54	65
<b>Bittereinheiten</b>	EBC	1	43	45	72	2	43	46	71
		Vakuumsystem 1				Vakuumsystem 2			
		1	4	13	16	1	4	13	16
<b>Stammwürze</b>	GG %	11,36	11,48	11,58	12,05	11,29	11,43	11,86	11,90
<b>Farbe</b>		-	-	-	7,5	-	-	-	8,5
<b>TBZ</b>		12	-	20	22	12	-	23	24
<b>Koag. N (bez. a. 12 %)</b>	mg/100 ml	6,0	-	2,9	2,5	5,4	-	2,2	2,4
<b>Tannine</b>	mg PVP/l	110	113	132	158	77	101	93	155
<b>Anthocyanogene (bez. a. 12 %)</b>	mg/l	89	121	123	137	84	117	105	132
<b>Gesamtpolyphenole (bez. a. 12 %)</b>	mg/l	171	279	240	290	162	239	267	299
<b>Flavanoide</b>	mg Catechin/l	35	-	50	59	34	-	46	59
<b>Bittereinheiten</b>	EBC	2	42	49	71	3	43	44	69

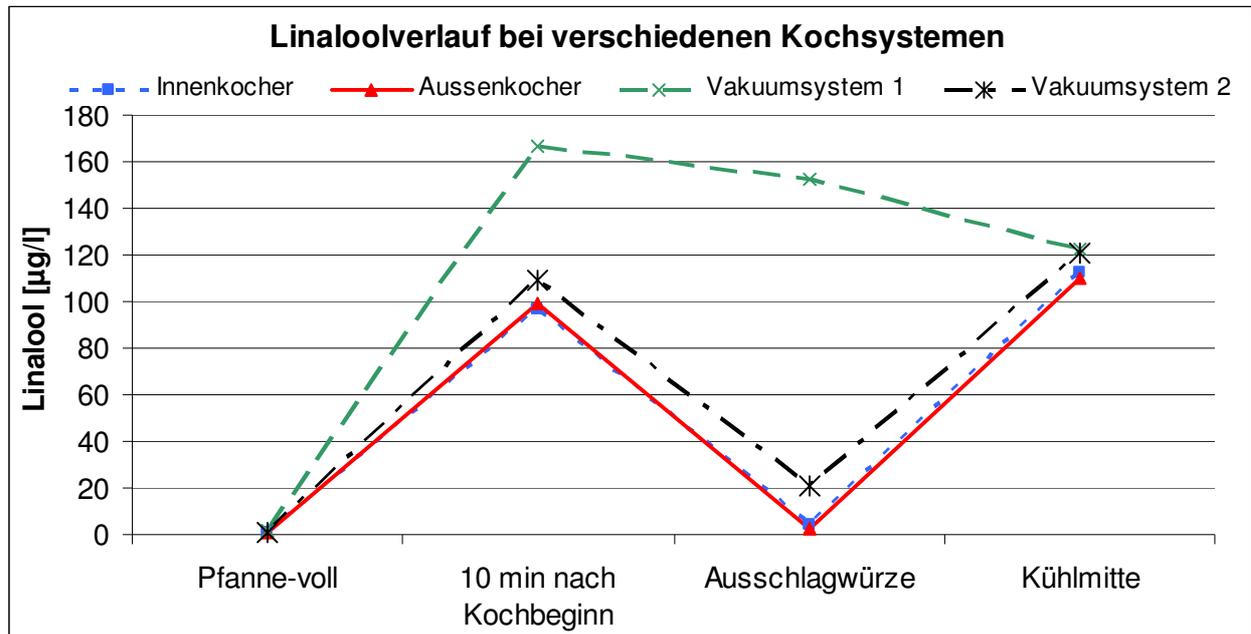
1=Pfanne-Voll, 4=10 min nach Kochbeginn, 13=Ausschlagwürze, 16=Kühlmitte

Tabelle 67 zeigt den Verlauf der sechs Hopfenaromastoffe bei den vier Kochsystemen über die Kochzeit. Es zeigt sich, dass Innen- und Außenkocher sehr dicht beieinander liegen und vergleichbare Ausdampfeffizienzen besitzen. Die beiden Vakuumsysteme zeigen hier systembedingte Abweichungen. Bei Vakuumsystem 2 sind nach 60 min Kochzeit noch 20 µg/l Linalool in der Würze zu finden, während bei Innen- sowie Außenkocher jeweils Werte < 5 µg/l gemessen werden können. Besonders deutlich ist der Unterschied zu Vakuumsystem 1, welches während der einstündigen Heißhaltung kaum verdampft. Die Konzentrationsabnahme von Probe Nr. 4 zu Nr. 13 ist durch ein kurzes Aufwallen während der Heißhaltung zu erklären. Bei Kühlmitte haben alle Systeme ähnliche Linaloolgehalte, wie aus Abbildung 101 zum Linaloolverlauf bei den Kochsystemen zu erkennen ist. Hier zeigt sich auch besonders deutlich, wie ähnlich Innen-

Tabelle 67: Verlauf der Hopfenaromastoffe bei unterschiedlichen Kochsystemen

		Pfanne-voll	10 min Kochzeit	Ausschlagwürze		Kühlmitte
Innenkocher	Geraniol	0,9	21	9		18
	$\alpha$ -Terpineol	0,8	7,6	2,7		7,6
	Caryophyllen	2,9	128	16,1		9,4
	Nerol	1,0	19	3,0		2,0
	Humulen	5,3	242	27,8		19
	Linalool	1,0	96	4,5		112
Außenkocher		Pfanne-voll	10 min Kochzeit	Ausschlagwürze		Kühlmitte
	Geraniol	0,4	24	8,0		18
	$\alpha$ -Terpineol	Sp.	8,1	3,2		7,8
	Caryophyllen	1,4	92	47		20
	Nerol	1,9	18	5,3		3,3
	Humulen	2,5	178	81		44
	Linalool	0,8	100	2,7		110
Vakuumsystem 1		Pfanne-voll	10 min Heißhaltezeit	Ausschlagwürze	nach Whirlpool	Kühlmitte
	Geraniol	0,5	19	20	24	25
	$\alpha$ -Terpineol	Sp.	16	14	15	16
	Caryophyllen	0,9	21	10	11	14
	Nerol	Sp.	5,1	3,7	3,3	3,9
	Humulen	1,8	47	28	27	32
	Linalool	1,5	166	152	192	122
Vakuumsystem 2		Pfanne-voll	10 min Kochzeit	60 min Kochzeit	nach Verdampfungsphase	Kühlmitte
	Geraniol	0,6	20	12	10	19
	$\alpha$ -Terpineol	1,1	8,5	3,6	6,1	13
	Caryophyllen	5,0	102	9,5	73	25
	Nerol	1,0	14	2,0	11	4,7
	Humulen	11	201	20	128	53
	Linalool	1,0	109	20	21	121

sowie Außenkocher im Linaloolausdampfverhalten sind. Parallel dazu verläuft das Vakuumsystem 2, welches aber eine etwas geringere Ausdampfeffizienz aufweist. Deutlich zu erkennen ist der sich von diesen drei Systemen unterscheidende Verlauf des Linalools bei Vakuumsystem 1. In Abbildung 102 sind die Verläufe der weiteren Hopfenaromastoffe sowie anderer wichtiger Würzearomastoffe und Stoffgruppen bei den verschiedenen Kochsystemen graphisch dargestellt. Die ausführlichen Würzeanalysen sind im Anhang in den Tabellen 154-157 zu finden. Bei den Hopfenaromastoffen zeigt sich, dass einige Aromastoffe nach einer Hopfengabe ansteigen. Humulen,  $\beta$ -Caryophyllen und Nerol nehmen aber, trotz Hopfengabe in den Whirlpool, während



**Abbildung 101: Linaloolverlauf bei unterschiedlichen Kochsystemen**

der Whirlpoolrast ab. Für die Substanzen Humulen und  $\beta$ -Caryophyllen beobachteten MITTER et al. [300] ebenfalls starke Austreibungsverluste durch die Kochung und Konzentrationsabnahmen im Whirlpool. Aus Abbildung 102 ist zu erkennen, dass die Würze aus Vakuumsystem 1 mehr Geraniol und  $\alpha$ -Terpineol enthält als die der anderen Kochsysteme. Die Vakuumsystem 2-Würze enthält ebenfalls höhere Gehalte an  $\alpha$ -Terpineol, was evtl. auf die niedrigere Whirlpooltemperatur zurückzuführen ist. Auffällig ist der jeweils deutlich niedrigere Verlauf von  $\beta$ -Caryophyllen, Humulen und Nerol bei Vakuumsystem 1, also den Aromastoffen, die bei den konventionellen Systemen während der Whirlpoolrast abnehmen. Anscheinend findet hier entweder eine Freisetzung aus Vorstufen statt, die Kochtemperatur benötigt (bzw. eine entsprechende Energie) oder ein thermischer Ab- oder Umbau (evtl. oxidativ?). Den Hopfenöxidationsprodukten, v. a. von Humulen, wurde in älteren Arbeiten auch ein großer Beitrag zum Hopfenaroma zugesprochen bzw. wurden als Indikatorsubstanzen definiert [411, 142, 412, 233, 292, 413, 280]. Der Anstieg einiger Aromastoffe im Whirlpool ist neben der direkten Dosage dieser durch die Pellets auch auf den Abbau von Glykosiden durch thermische und Säure katalysierte Reaktionen zurückzuführen [300, 305]. Es ist beim Blick auf die Hopfenaromastoffe zu erkennen, dass das Kochsystem z. T. deutliche Auswirkungen auf

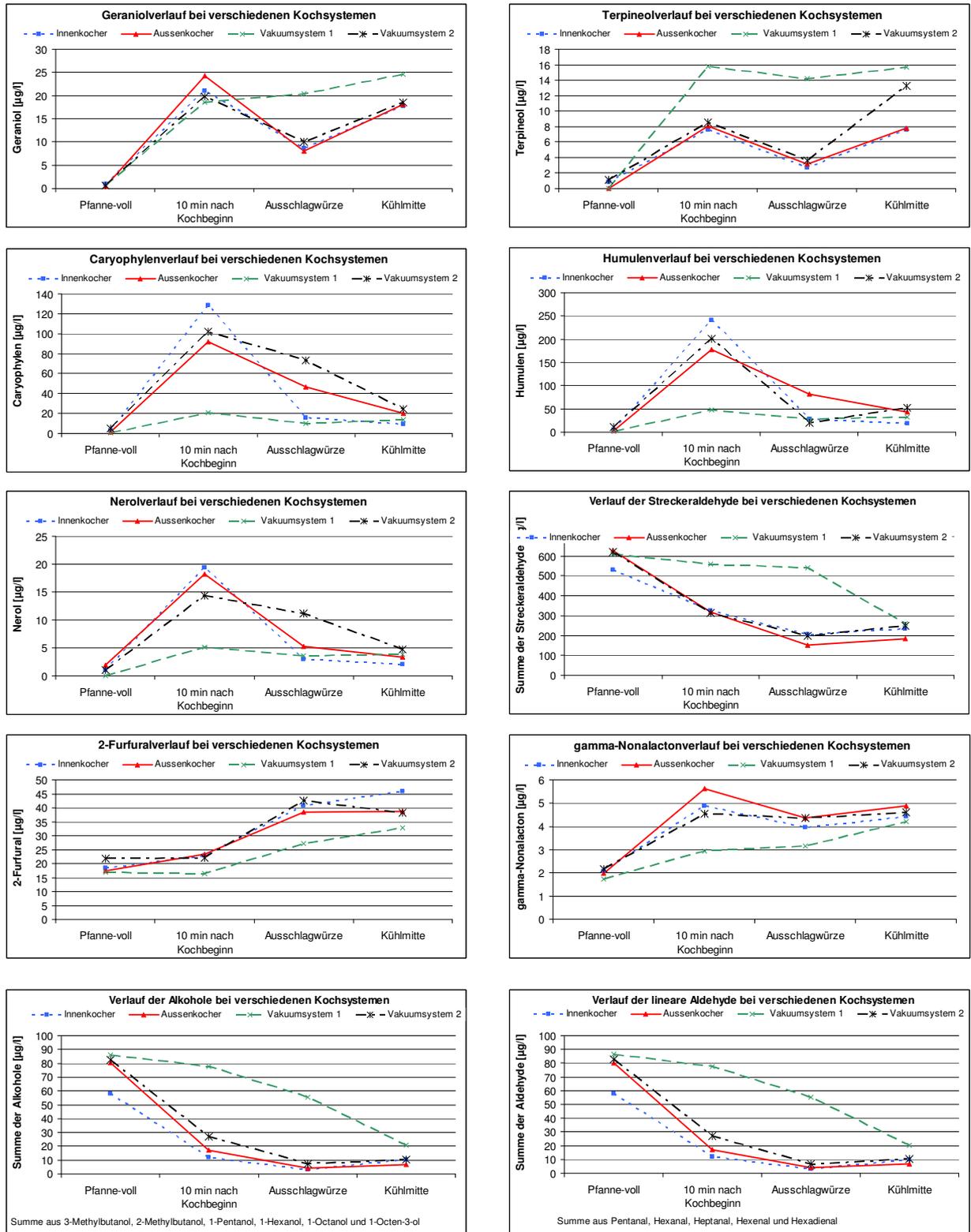


Abbildung 102: Verläufe verschiedener Aromastoffe bei verschiedenen Kochsystemen

das analytische Hopfenaromastoffprofil in der Würze hat, wie dies auch schon von KALTNER sowie MITTER et al. in Bezug auf Praxiserfahrungen mit Vakuumsystem 1 beschrieben wurde [414, 415, 301].

Streckeraldehyde, Alkohole und lineare Aldehyde können bei der Würzebereitung als Indikatoren für die Ausdampfung gesehen werden, da ihr Gehalt während der Kochung innerhalb weniger Minuten stark reduziert wird. Wie auch DE SCHUTTER et al. [383] berichten, steigt der Gehalt an 2-Furfural während der Kochung unabhängig von der Verdampfung. Hier ist auch, wie bereits erwähnt, der Unterschied in der thermischen Belastung durch die Kochsysteme zu erkennen. Gamma-Nonalacton steigt ebenfalls über die Kochzeit an und es zeigt sich ebenfalls bei Vakuumsystem 1 ein verzögerter/geringerer Anstieg. Allerdings bei Kühlmitte sind alle Konzentrationen wieder im gleichen Konzentrationsbereich, was u. a. auf die Einengung der Würze im Verdampfer des Vakuumsystem 1 zurückzuführen ist. Der vergleichbare Analysenwert für Vakuumsystem 1 in der Probe nach dem Whirlpool aber vor dem Verdampfer zeigt mit 3,7 µg/l ebenfalls einen geringeren Wert an als die drei anderen Systeme (s. Tabellen 154-157 im Anhang). Bei Betrachtung der Aromastoffe sind die Systeme Innenkocher, Außenkocher und Vakuumsystem 2 meist in ähnlichen Bereichen. Zum Teil deutlich davon unterscheidet sich Vakuumsystem 1, da durch die von der Heißhaltung abgekoppelte Verdampfung [349] die Austreibung der Aromastoffe erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet. Ein Vergleich dieser Kochsysteme ergibt allerdings, dass Vakuumsystem 1 bei Alkoholen und Aldehyden/Streckeraldehyden leicht höhere Werte aufweist. Der Außenkocher zeigt bei den Streckeraldehyden die niedrigsten Konzentrationen. Auch HERRMANN et al. [63] konnten diese Differenzen zwischen einzelnen Kochsystemen beobachten.

Tabelle 68 zeigt die Transferraten der Hopfenaromastoffe für die unterschiedlichen Kochsysteme. Die Ausbeuten wurden auf Basis der Würzeanalysen vor dem Whirlpool (Ausschlagwürze) und Kühlmitte (bei Vakuumsystem 1 nach Whirlpool aber vor Expansionsverdampfer) und der durch die Hopfengabe dosierten Aromastoffmenge bestimmt. Dabei wird ersichtlich, dass Vakuumsystem 1 durch deutlich geringere Raten auffällt. Die Transferraten für Linalool der anderen Systeme sind im Rahmen der analytischen und technologischen Variation. Diese Werte bestätigen auch die für die Sorte

Tabelle 68: Transferraten von Hopfenaromastoffen bei unterschiedlichen Kochsystemen

	Innenkocher	Außenkocher	Vakuumsystem 1	Vakuumsystem 2
<b>Geraniol</b>	135,2	154,2	62,9	113,7
<b><math>\alpha</math>-Terpineol</b>	31,5	30,4	8,1	44,6
<b><math>\beta</math>-Caryophyllen</b>	-2,8	-10,6	0,2	-17,3
<b>Nerol</b>	-5,7	-11,5	-2,2	-33,3
<b>Humulen</b>	-2,8	-11,1	-0,4	-19,4
<b>Linalool</b>	107,6	111,4	41,8	91,7

HSR im Pilotmassstab (Abschnitt 4.5) gefundenen Ausbeuten. Bei Vakuumsystem 1 liegt die Vermutung nahe, dass hier eine gewisse Sättigung der Würze mit diesen Aromastoffen erreicht wird, da diese bedingt durch ihre chemische Struktur hydrophob sind. Durch den Expansionsverdampfer des Vakuumsystemes 1 wurden ca. 40 % des Linalools ausgetrieben, was die Ergebnisse aus den Versuchen im Industriemassstab aus Abschnitt 4.5 bestätigt. Durch dieses Verdampfungssystem geht zwar ein großer Teil der positiven Aromastoffe vor dem Kühler verloren aber durch die lange Zeit bei minimaler Verdampfung werden mehr von diesen in der Würze angereichert. Im Vergleich zur konventionellen Kochung ergibt das Vakuumsystem 1 tendenziell höhere Linaloolgehalte. Durch die relativ hohe Hopfengabe in den Whirlpool (Linalooldosage ca. 100  $\mu\text{g/l}$ ) sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Kochsystemen nicht besonders groß. Bei einer niedrigeren zweiten Gabe würde der Linaloolgehalt in den „konventionellen“ Würzen und der Vakuumsystem 2-Würze deutlich geringer ausfallen verglichen mit Vakuumsystem 1 als bei den vorliegenden Versuchen. Bei einer Streichung der zweiten Gabe wäre dieser Effekt noch deutlicher, da bei Vakuumsystem 1 in der Ausschlagwürze bereits 160  $\mu\text{g Linalool/l}$  vorhanden waren. Bei einer Reduktion des Linaloolgehaltes um ca. 50 % durch den Vakuumverdampfer hätte die KM-Würze immer noch rund 80  $\mu\text{g/l}$  Linalool, was ebenfalls einem deutlichen Hopfenaroma im späteren Bier entsprechen würde.

Aufgrund der verschiedenen Technologien zur Würzebereitung zeigten die Würzen auch ein leicht unterschiedliches Trubbildungsverhalten. Besonders deutlich waren die optischen Unterschiede zwischen den beiden Vakuumsystemen. Durch die Würzevorkühlung aufgrund der dem Whirlpool vorgelagerten Verdampfungsphase, zeigte der Trub des Vakuumsystem 2 den Trend zum Zerlaufen. Im Whirlpool sollte eine Temperatur von 85 °C nicht unterschritten werden, da die Trubkegel sonst zerfließen [346]. In den durchgeführten Versuchen wurde die Würze bei Vakuumsystem 2 mit ca. 88 °C in den Whirlpool gepumpt

und kühlte dort weiter ab. Vor dem Kühler wurde eine Temperatur von  $<80\text{ }^{\circ}\text{C}$  mittels Temperatursensor gemessen, so dass hier der Grund im Zerlaufen gesehen werden kann. Des Weiteren ist auch das Verhalten der Trubpartikel beim Durchlaufen des Vakuumgefäßes bei System 2 nicht vollständig geklärt, so dass Vakuumverdampfungsanlagen oftmals erst nach dem Whirlpool in den Würzestrom eingebunden werden [416]. Ein besonders kompakter Trubkegel bildete sich bei Vakuumsystem 1. REED und JORDAN beschrieben bereits 1991, dass durch Heißhalten und Rühren eine gute Trubbildung zu erreichen ist [417] und MEZGER et al. [349] fanden ebenfalls, dass auch ohne Kochung kompakte Trubkegel sich ergeben. Bei Vakuumsystem 1 konnten 26 kg nasser Trub mit einem Feststoffanteil von 53 % ( $\triangleq$  13,8 kg feuchter Trub

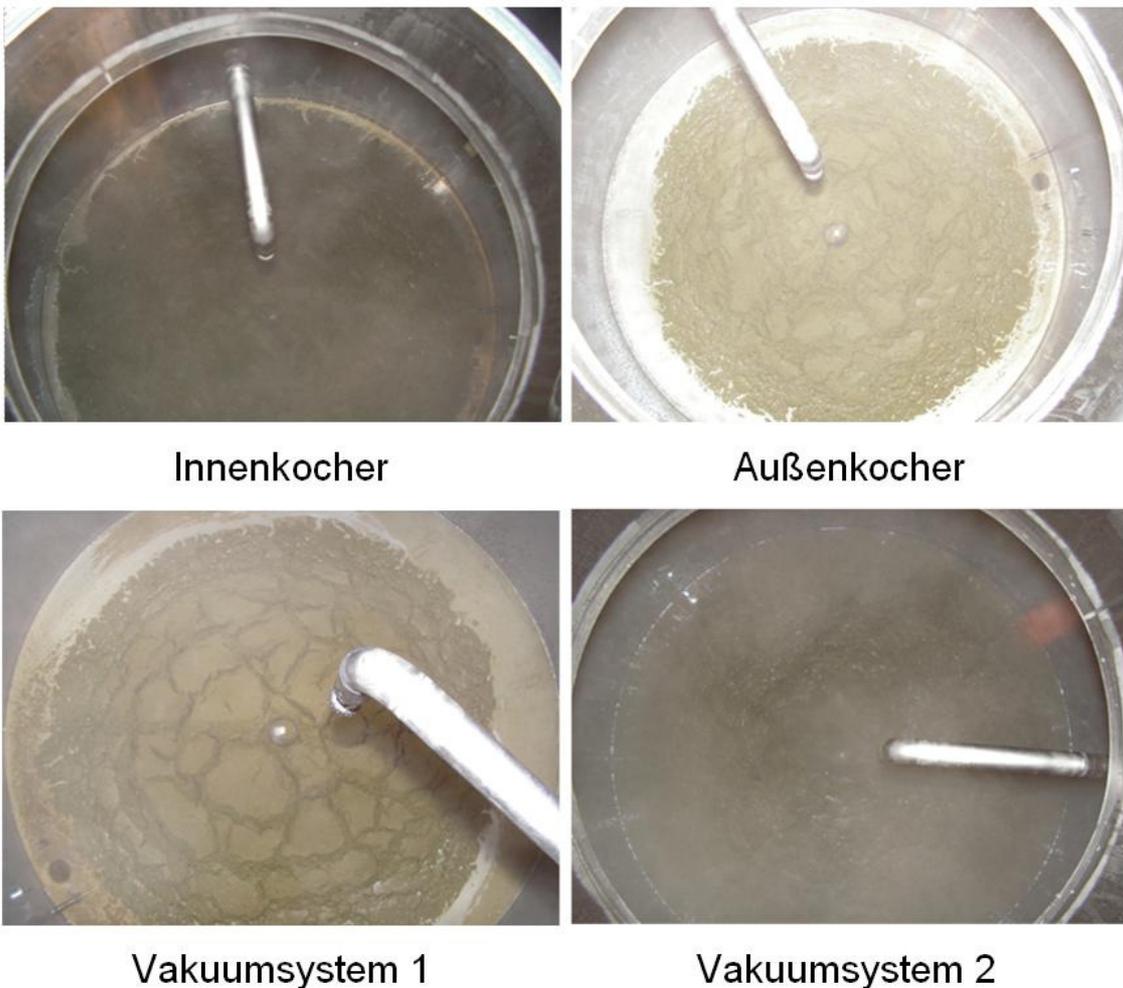


Abbildung 103: Trubkegel bei verschiedenen Kochsystemen

mit ~77 % Wassergehalt) aus dem Whirlpool geholt werden. Vakuumsystem 2 ergab ebenfalls 26 kg nasses Trubgemisch aber nur mit 39 % Feststoffanteil ( $\pm$  10,4 kg feuchter Trub mit ~77 % Wassergehalt). Bei Innen- und Außenkocher betrug der Feststoffanteil 41-43 % bei einer vergleichbaren Trubmenge. In Abbildung 103 sind die unterschiedlichen Trubkegelausprägungen bei den vier untersuchten Kochsystemen abgebildet.

Tabelle 69 zeigt die Ergebnisse der endogenen antioxidativen Aktivität der Ausschlag- und Kühlmittewürzen. Die Werte für Vakuumsystem 2 bezüglich Lag-Time (lagT) und Radikalgenerierung sind sehr kritisch zu betrachten, da hier womöglich während der Probennahme/Aufbewahrung oder Analyse eine oxidative Schädigung stattgefunden hat. Daher werden diese Werte bei der Diskussion nicht berücksichtigt. Durch die Hopfengabe in den Whirlpool nahm bei allen Würzen das antiradikalische Potential (ARP) zu. Neben Polyphenolen wirken auch Maillardprodukte hier positiv [390]. Der Anstieg ist bei allen

**Tabelle 69: Bewertung der endogenen antioxidativen Eigenschaften der verschiedenen Würzen**

		LagT [min]	Radikal-generierung	Änderung von AW zu KM		ARP %	Änderung von AW zu KM
				$\Delta$ LagT [min]	$\Delta$ Radikal-generierung		$\Delta$ ARP %
Innenkocher	Ausschlagwürze	16	6,1	8,5	-1,4	61,5	<b>8,0</b>
	Kühlmittewürze	25	4,7			69,5	
Außenkocher	Ausschlagwürze	10	8,2	5,0	-0,1	66	<b>9,5</b>
	Kühlmittewürze	15	8,2			75,5	
Vakuumsystem 1	Ausschlagwürze	23	8,5	12,5	-4,3	63	<b>7,5</b>
	Kühlmittewürze	35	4,2			70,5	
Vakuumsystem 2	Ausschlagwürze	26	9,7	0,5	3,4	60	<b>8,0</b>
	Kühlmittewürze	26	13,0			68	

Kochsystemen ähnlich und wahrscheinlich auf die Hopfenpolyphenole zurückzuführen. Des Weiteren ist zu sehen, dass die LagT der Würze während der Whirlpoolrast ansteigt. Die LagT gibt an, wie stark die Induktionsphase für die Radikalgenerierung ist bzw. wie lange die Radikalgenerierung unterdrückt werden kann [351]. Je höher dieser Wert ist desto länger dauert es, bis die Radikalkettenreaktion startet und desto mehr Radikalfänger sind in der Würze vorhanden. Dies bedeutet, dass durch die Hopfengabe in den Whirlpool Radikalfänger eingebracht werden. Ein vergleichbares Bild zeigt die Rate zur Radikalgenerierung. Diese nimmt von der Ausschlag- zur KM-Würze ab, so dass die Radikalgenerierungsreaktion langsamer wird.

**Tabelle 70: Korrelation zwischen Polyphenolen und antioxidativer Eigenschaft der Würze**

	Tannoinde	Anthocyanogene	Gesamtpolyphenole	Flavanoide
<b>ARP [%]</b> (n=16)	0,877	0,836	0,427	0,881
<b>LagT [min]</b> n=14	0,112	-0,011	0,304	-0,075
<b>Radikalgenerierung</b> n=14	-0,080	0,244	-0,030	0,063
		*	**	***
kritische Korellationskoeffizienten [409]	n=16, FG=14	0,497	0,623	0,742
	n=12, FG=10	0,576	0,708	0,823

Tabelle 70 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen Anthocyanogenen, Gesamtpolyphenolen, Tannoiden sowie Flavanoiden und ARP, LagT sowie Radikalgenerierung aller erhaltenen Würzen. Es zeigt sich, dass das ARP stark signifikant mit Tannoiden, Anthocyanogenen und Flavanoiden korreliert aber nicht so deutlich mit den Gesamtpolyphenolen. Diese zeigen maximal eine Tendenz auf. Die LagT wird nur geringfügig von den Gesamtpolyphenolen beeinflusst. Aus dieser Tabelle zeigt sich, dass die phenolischen Verbindungen einen deutlichen Einfluss auf die antioxidativen Eigenschaften der Würze haben und dass diese über eine späte Hopfengabe positiv beeinflusst werden können. Da mit der LagT und der Radikalgenerierung keine der vier aufgeführten summarischen Analysen deutlich korreliert, müssen diese antioxidativen Eigenschaften durch andere (bei den Analysen nicht erfasste), evtl. wie von WURZBACHER et al. [403] vermutet, niedermolekulare nicht oxidierte phenolische Verbindungen und evtl. weitere Würzeinhaltsstoffe (Maillardprodukte?) hervorgerufen werden.

## **Zusammenfassung Einfluss verschiedener Kochsysteme auf die Hopfenaromastoffe und Würzequalität**

In dieser Versuchsreihe wurde untersucht, inwiefern sich das Kochsystem auf die Würzequalität und besonders die Hopfenaromastoffe auswirkt. Dabei wurden Innenkocher, Außenkocher sowie zwei unterschiedliche Vakuumsysteme betrachtet. Es zeigte sich, dass durch das Kochsystem eine Beeinflussung der Würzearomastoffzusammensetzung möglich ist. Besonders beim Einsatz von Vakuumverdampfungssystemen kann der Gehalt der Aromastoffe sich von der konventionellen Kochung unterscheiden. Es konnte gezeigt werden, dass die in Abschnitt 4.5 ermittelten Transferraten für Hopfenaromastoffe (z. B. Linalool) auch im halbtechnischen Maßstab der Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan hier bestätigt wurden. Dabei wurde deutlich, dass einige Hopfenaromastoffe bei späten Hopfengaben ein von Linalool und Geraniol abweichendes Verhalten aufweisen und sich der Gehalt auch ohne Verdampfung reduziert. Die Gründe hierfür wurden diskutiert.

Durch späte Hopfengaben werden neben Aromastoffen auch phenolische Verbindungen in die Würze eingebracht, die das antioxidative Potential dieser verbessern und einen positiven Beitrag zur späteren Geschmacksstabilität der Biere leisten.

Mit einer angepassten Hopfungstechnologie ist es somit möglich Würzen zu erzeugen, die eine sehr gute Basis für spätere hopfenaromatische und geschmacksstabile Biere darstellen.

## 5 Zusammenfassung

Hopfen ist bei der Bierbereitung ein unverzichtbarer Bestandteil, denn nur durch ihn wird dem Bier eine angenehme Bittere verliehen. In dieser Arbeit wurden verschiedene Teilaspekte des Hopfens, insbesondere Bitter- und Aromawahrnehmung, im Hinblick auf die Geschmacksstabilität und Harmonie des Bieres behandelt und sollen an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden.

Nicht-flüchtige Bierbestandteile, wie organische Säuren, Dextrine und Ethanol haben einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Bitterwahrnehmung. In hohen Konzentrationen wirken Ethanol und Dextrine unterdrückend auf die Bitterwahrnehmung der iso- $\alpha$ -Säuren. Um eine angenehme Bittere im Bier zu erzielen, bedarf es höherer Restextraktkonzentrationen und eines optimalen pH-Wertes, der im Bereich 4,5 liegt. Ein ausgeglichenes Ethanol/Dextrin-Verhältnis ist, wie aus den Versuchen mit binären Lösungen ersichtlich notwendig, um eine Bitterwahrnehmung (auf Basis des Schwellenwertes) zu erhalten, die harmonisch ist. Bei Ethanol und Dextrinen in ähnlichen Konzentrationen (z. B. beide jeweils 5 %) werden die deutlichen Eigenschaften der Dextrine und des Ethanols jeweils gemindert und die iso- $\alpha$ -Säuren-Bittere etwas abgemildert.

Beim Konsum eines Bieres ist auch der Aromaeindruck von großer Bedeutung, da Fehlgerüche den Genusswert/die Harmonie negativ beeinflussen. Es konnte gezeigt werden, dass Mischungen von Fruchtgerüchen synergistische Effekte aufzeigen und somit zu einem intensiveren und charakteristischeren Aroma führen. Einzelne Hopfenaromastoffkombinationen zeigten verstärkende Effekte. Es wurde deutlich, dass von den untersuchten Hopfenaromastoffen Linalool derjenige ist, welcher aktiv (auf Basis des Schwellenwertes) zum Hopfenaroma beiträgt. Ein höherer Gehalt an Linalool kann die Wahrnehmung negativer Alterungsgerüche unterdrücken und somit die sensorische Geschmacksstabilität verbessern. Allerdings kann ein hoher Linaloolgehalt auch die Wahrnehmung von Diacetyl, DMS und Isovaleriansäure verstärken und somit an der Ausprägung von Fehlgerüchen beteiligt sein.

Auf die Wahrnehmung des Hopfenaromas spielt die Gärtemperatur eine große Rolle. Biere, die bei 12 °C vergoren wurden, hatten zwar teilweise geringere Hopfenaromastoffgehalte, wurden aber in der Intensität des Hopfenaromas stärker beurteilt. So wurde die Wahrnehmung von Linalool als Indikator für das Hopfenaroma durch die Gärungsnebenprodukte 2-Phenylethanol, Ethylacetat und Isoamylacetat z. T. deutlich unterdrückt. Nerol und Geraniol wurden dagegen zum Teil leicht verstärkt. Daher ist die intensivere Wahrnehmung bei wärmerer Vergärung auf das allgemein fruchtigere Aromaprofil dieser Biere zurückzuführen, was auch positiv auf das wahrgenommene Hopfenaroma wirken kann, da die fruchtige Ausprägung unterstützt wird. Diese Beeinflussung der Hopfenaromastoffe durch Gärungsnebenprodukte sowie der Einfluss von Linalool auf Fehlgerüche konnte in dieser Arbeit erstmals gezeigt werden.

Durch späte Hopfengaben wird vermehrt Linalool in die Würze eingebracht. Da der Gehalt der Hopfenaromastoffe jährlichen Schwankungen unterliegt, ist bei der Dosage auf den Aromastoffgehalt zu achten. In dieser Arbeit wurden erstmals Transferraten für Hopfenaromastoffe ermittelt. Es konnte darüber hinaus beschrieben werden, inwiefern sich verschiedene Sorten und Dosagehöhen auf die Aromastoffausbeute auswirken.

Bei der Untersuchung verschiedener Kochsysteme zeigte sich, dass Systeme mit Vakuumverdampfungstechnologie sich im Ausdampfverhalten deutlich von den konventionellen Systemen unterscheiden können. Durch eine Hopfendosage zu Kochende auf Basis des Linaloolgehaltes ist es aber möglich, Schwankungen durch verschiedene Systeme oder durch unterschiedliche Rohstoffzusammensetzungen auszugleichen und somit gleichmäßigere hopfenaromatische Biere zu erzeugen. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine gleichbleibende Heißwürzebehandlung, da diese auch einen großen Einfluss auf den Transfer von Hopfenaromastoffen hat, wie am Beispiel der halbtechnischen und großtechnischen Versuche gezeigt werden konnte.

Über den Dosagezeitpunkt des Hopfens wird neben dem Aroma auch die Bitterstoffausbeute und somit die Bittere beeinflusst. Je länger die Kochzeit ist, desto höher ist die Ausbeute und desto geringer werden die Verluste durch den Heißtrub. Durch die Einstellung des pH-Wertes wird die Bitterstoffausbeute negativ beeinflusst, sofern das

Sauergut zu Kochbeginn dosiert wird. Die Trubbildung setzt bei später Säuregabe schneller ein und der Trub setzt sich auch schneller ab. Bestätigt werden konnte die Aussage, dass die Bitterstoffverluste vor allem in den ersten Minuten nach der Hopfengabe auftreten und diese durch niedrige pH-Werte verstärkt werden. Die Verluste durch solche pH-abhängigen Reaktionen sind höher als Verluste, die durch Adsorption an den Heißtrub auftreten.

Bei Versuchen mit gealtertem Hopfen zeigte sich, dass eine moderate Hopfenalterung die Harmonie des Bieres anheben kann. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass ein Teil der  $\alpha$ -Säuren unter inerter Atmosphäre zu iso- $\alpha$ -Säuren umgewandelt werden, die bei der Dosage berücksichtigt werden müssen. Stark gealterter Hopfen wirkt sich dagegen negativ auf Bittere und Harmonie aus, so dass Hopfen mit einem HSI  $>0,5$  nicht mehr Verwendung finden sollte.

Eine Verwendung von Aromahopfenpellets zu Kochbeginn führt dazu, dass die Biere harmonischer werden als bei reiner CO<sub>2</sub>-Extrakt-hopfung. Dabei ist eine 50%ige Beimischung ebenso harmoniefördernd, wie eine alleinige Verwendung von Aromahopfenpellets zu Kochbeginn. Eine Verschiebung der Pelletgabe zur Kochmitte führt zu einer etwas abgeschwächten Harmonie verglichen mit einer Pellet(teil)gabe zu Kochbeginn. Durch eine weitere Pelletgabe zu Kochende wird die Harmonie wieder angehoben.

In dieser Arbeit werden Faktoren, die sich statistisch signifikant auf die Harmonie auswirken aufgezeigt und diskutiert. Bei diesen Versuchen wurden verschiedene Hopfensorten in verschiedenen Brauereien eingesetzt, welche alle ein vergleichbares Bild in den fertigen Bieren ergaben. Die Rolle des Linalools für das Hopfenaroma bestätigte sich, da dieses hochsignifikant die Intensität und die Qualität des Hopfenaromas in Geruch und Trunk beeinflusst hat.

Diese Arbeit zeigt anhand der Versuche in beiden Versuchsbrauereien mit verschiedenen Sorten einen bedeutenden Einfluss des Hopfens auf den Genusswert bzw. die Harmonie des Bieres. Durch die Pelletgabe werden neben Aroma- und Bitterstoffen auch weitere Substanzen (Polyphenole, unspezifische Weich- und Hartharze) in die Würze/das Bier eingebracht, die sich positiv auf die Harmonie auswirken. Auch durch späte Hopfengaben werden phenolische Verbindungen in die Würze eingebracht, die das antioxidative

Potential dieser verbessern und einen positiven Beitrag zur Geschmacksstabilität leisten können.

In der vorliegenden Arbeit hat sich somit gezeigt, dass mit einer angepassten Hopfungstechnologie einerseits eine angenehme Bittere sowie ein erwünschtes Hopfenaroma erzielt wird, andererseits aber auch ein wichtiger Beitrag für die Harmonie und die Geschmacksstabilität geleistet wird.

## 6 Literaturverzeichnis

- 1 Breslin, P. A. S.; Huang, L.: Human taste: peripheral anatomy, taste transduction, and coding. In: *Advances in oto-rhino-laryngology* 63 (2006), S. 152–190
- 2 Drewnowski, A.: The science and complexity of bitter taste. In: *Nutrition reviews* 59 (2001), Nr. 6, S. 163–169
- 3 Hyde, R. J.; Feller, R. P.: Age and sex effects on taste of sucrose, sodium chloride, citric acid, and caffeine. In: *Neurobiology of Aging* 2 (1981), Nr. 4, S. 315–318
- 4 Köster, E. P.: The psychology of food choice: some often encountered fallacies. In: *Food Quality and Preference* 14 (2003), Nr. 5/6, S. 359–373
- 5 Meilgaard, M. C.: Individual differences in sensory threshold for aroma chemicals added to beer. In: *Food Quality and Preference* 4 (1993), Nr. 3, S. 153–167
- 6 Fukunaga, A.; Uematsu, H.; Sugimoto, K.: Influences of aging on taste perception and oral somatic sensation. In: *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 60 (2005), Nr. 1, S. 109–113
- 7 Kaneda, H.; Maeshima, K.; Goto, N.; Kobayakawa, T.; Ayabe-Kanamura, S.; Saito, S.: Decline in taste and odor discrimination abilities with age, and relationship between gustation and olfaction. In: *Chemical senses* 25 (2000), Nr. 3, S. 331–337
- 8 Mojet, J.; Heidema, J.; Christ-Hazelhof, E.: Taste perception with age: generic or specific losses in supra-threshold intensities of five taste qualities? In: *Chemical Senses* 28 (2003), Nr. 5, S. 397–413
- 9 Schiffman, S. S.; Gatlin, L. A.; Frey, A. E.; Heiman, S. A.; Stagner, W. C.; Cooper, D. C.: Taste perception of bitter compounds in young and elderly persons: Relation to lipophilicity of bitter compounds. In: *Neurobiology of Aging* 15 (1994), Nr. 6, S. 743–750
- 10 Schiffman, S. S.; Graham, B. G.; Suggs, M. S.; Sattely-Miller, E. A.: Effect of psychotropic drugs on taste responses in young and elderly persons. In: Murphy, C. (Hrsg.): *Olfaction and Taste XII - Annals of the New York Academy of Sciences*. New York: New York Academy of Sciences, S. 732–737, 1998
- 11 Stevens, J. C.; Bartoshuk, L. M.; Cain, W. S.: Chemical senses and aging: taste versus smell. In: *Chemical Senses* 9 (1984), Nr. 2, S. 167–179
- 12 Duffy, V. B.; Bartoshuk, L. M.; Striegel-Moore, R.; Rodin, J.: Taste changes across pregnancy. In: Murphy, C. (Hrsg.): *Olfaction and Taste XII - Annals of the New York Academy of Sciences*. New York: New York Academy of Sciences, S. 805-809, 1998
- 13 Maga, J. A.: Influence of color on taste thresholds. In: *Chemical Senses and Flavor* 1 (1974), Nr. 1, S. 115–119
- 14 Paulus, K.; Reisch, A. M.: The influence of temperature on the threshold values of primary tastes. In: *Chemical Senses* 5 (1980), Nr. 1, S. 11–21
- 15 Breslin, P. A. S.: Human gustation and flavor. In: *Flavour and Fragrance Journal* 16 (2001), Nr. 6, S. 439–456

- 16 Yamaguchi, S.; Ninomiya, K.: Umami and food palatability. In: *The Journal of Nutrition* 130 (2000), Nr. 4S, S. 921S–926S
- 17 Kurihara, K.; Kashiwayanagi, M.: Introductory remarks on umami taste. In: Murphy, C. (Hrsg.): *Olfaction and Taste XII - Annals of the New York Academy of Sciences*. New York: New York Academy of Sciences, S. 393–397, 1998
- 18 Scott, K.: The sweet and the bitter of mammalian taste. In: *Current Opinion in Neurobiology* 14 (2004), Nr. 4, S. 423–427
- 19 Margolskee, R. F.: Molecular mechanisms of bitter and sweet taste transduction. In: *Journal of Biological Chemistry* 277 (2002), Nr. 1, S. 1–4
- 20 Behrens, M.; Meyerhof, W.: Bitter taste receptors and human bitter taste perception. In: *Cellular and Molecular Life Sciences* 63 (2006), Nr. 13, S. 1501–1509
- 21 Boelens, M.: Developments in taste perception. In: *Perfumer & Flavorist* 31 (2006), Nr. 6, S. 38–52
- 22 Fischer, A.; Gilad, Y.; Man, O.; Paeaebo, S.: Evolution of bitter taste receptors in humans and apes. In: *Molecular Biology and Evolution* 22 (2005), Nr. 3, S. 432–436
- 23 Meyerhof, W.; Behrens, M.; Brockhoff, A.; Bufe, B.; Kuhn, C.: Human bitter taste perception. In: *Chemical Senses* 30 Suppl 1 (2005), S. i14–i15
- 24 Meyerhof, W.: Geschmacksfragen – Neues aus der Ernährungsforschung. In: *LCI – Moderne Ernährung heute* (2003), Nr. 1 (März), S. 1–5
- 25 Schönberger, C.: Bitter is better. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 59 (2006), Nr. 3/4, S. 56–66
- 26 Drewnowski, A.; Gomez-Carneros, C.: Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. In: *The American Journal of Clinical Nutrition* 72 (2000), Nr. 6, S. 1424–1435
- 27 Chandrashekar, J.; Mueller, K. L.; Hoon, M. A.; Adler, E.; Feng, L. X.; Guo, W.; Zuker, C. S.; Ryba, N. J. P.: T2Rs function as bitter taste receptors. In: *Cell* 100 (2000), Nr. 6, S. 703–711
- 28 Kurihara, K.; Katsuragi, Y.; Matsuoka, I.; Kashiwayanagi, M.; Kumazawa, T.; Shoji, T.: Receptor Mechanisms of Bitter Substances. In: *Physiology & Behavior* 56 (1994), Nr. 6, S. 1125–1132
- 29 Intelmann, D.; Batram, C.; Kuhn, C.; Haseleu, G.; Meyerhof, W.; Hofmann, T.: Three TAS2R Bitter Taste Receptors Mediate the Psychophysical Responses to Bitter Compounds of Hops (*Humulus lupulus* L.) and Beer In: *Chemosensory Perception* 2 (2009), Nr. 3, S. DOI 10.1007/s12078-12009-19049-12071
- 30 Kallithraka, S.; Bakker, J.; Clifford, M. N.: Red wine and model wine astringency as affected by malic and lactic acid. In: *Journal of Food Science* 62 (1997), Nr. 2, S. 416–420
- 31 Lawless, H. T.; Corrigan, C. J.; Lee, C. B.: Interactions of Astringent Substances. In: *Chemical Senses* 19 (1994), Nr. 2, S. 141–154
- 32 Lawless, H. T.; Horne, J.; Giasi, P.: Astringency of organic acids is related to pH. In: *Chemical Senses* 21 (1996), Nr. 4, S. 397–403
- 33 Lesschaeve, I.; Noble, A. C.: Polyphenols: Factors influencing their sensory properties and their effects on food and beverage preferences. In: *American Journal of Clinical Nutrition* 81 (2005), Nr. 1S, S. 330S–335S

- 34 Li, Y.; Xu, Y.; Schwarz, P. B.; Gu, G.: Organic acids of commercial beers in China: A chemometric study. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 65 (2007), Nr. 2, S. 86–91
- 35 Siebert, K. J.; Euzen, C.; Maekawa, A.; Lynn, P. Y.: The Effect of Acids on the perception of Astringency. In: *120th Annual Convention of the Master Brewers Association of the Americas*. Nashville, 2007, S. O-45
- 36 Carvalho, E.; Mateus, N.; Plet, B.; Pianet, I.; Dufourc, E.; De Freitas, V.: Influence of Wine Pectic Polysaccharides on the Interactions between Condensed Tannins and Salivary Proteins. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (2006), Nr. 23, S. 8936–8944
- 37 Lea, A. G. H.; Arnold, G. M.: Phenolics of Ciders - Bitterness and Astringency. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29 (1978), Nr. 5, S. 478–483
- 38 Hartwig, P.; McDaniel, M. R.: Flavor characteristics of lactic, malic, citric, and acetic acids at various pH levels. In: *Journal of Food Science* 60 (1995), Nr. 2, S. 384–388
- 39 Kallithraka, S.; Bakker, J.; Clifford, M. N.: Effect of pH on Astringency in Model Solutions and Wines. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (1997), Nr. 6, S. 2211–2216
- 40 Thomas, C. J.; Lawless, H. T.: Astringent subqualities in acids. In: *Chemical Senses* 20 (1995), Nr. 6, S. 593–600
- 41 Woods, M. P.: Taste and flavour perception. In: *The Proceedings of the Nutrition Society* 57 (1998), Nr. 4, S. 603–607
- 42 Moncrieff, R. W.: *The Chemical Senses*. 2. Auflage London: Leonard Hill, 1951
- 43 Beets, M. G. J.: *Structure-Activity Relationships in Human Chemoreception*. Barking: Applied Science Publishers Ltd., 1978
- 44 Maruniak, J. A.: The sense of smell. In: Piggott, J. R. (Hrsg.): *Sensory analysis of foods*. London: Elsevier Applied Science, 1988
- 45 Hornung, D. E.: Nasal anatomy and the sense of smell. In: *Advances in oto-rhino-laryngology* 63 (2006), S. 1–22
- 46 Rawson, N. E.; Yee, K. K.: Transduction and coding. In: *Advances in oto-rhino-laryngology* 63 (2006), S. 23–43
- 47 Costanzo, R. M.; Miwa, T.: Posttraumatic olfactory loss. In: *Advances in oto-rhino-laryngology* 63 (2006), S. 99–107
- 48 Baker, R. A.: Response Parameters Including Synergism-Antagonism in Aqueous Odor Measurement. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 116 (1964), S. 495–503
- 49 Stevens, J. C.: Detection of tastes in mixture with other tastes: Issues of masking and aging. In: *Chemical Senses* 21 (1996), Nr. 2, S. 211–221
- 50 Meilgaard, M. C.: Flavor Chemistry of Beer. Part I: Flavor Interaction Between Principal Volatiles. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 12 (1975), Nr. 2, S. 107–117
- 51 Noble, A. C.: Taste-aroma interactions. In: *Trends in Food Science & Technology* 7 (1996), Nr. 12, S. 439–444

- 52 Segal, G. M.; Lewis, M. J.; Woskow, M. H.: Evaluation of beer flavor compounds. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 25 (1967), S. 156–164
- 53 Bakker, J.: Flavor interactions with the food matrix and their effects on perception. In: *Food Science and Technology* 66 (1995), S. 411–439
- 54 Day, E. A.; Lillard, D. A.; Montgomery, M. W.: Autoxidation of milk lipids. III. Effect on flavor of the additive interactions of carbonyl compounds at subthreshold concentrations. In: *Journal of Dairy Science* 46 (1963), Nr. 4, S. 291–294
- 55 Lillard, D. A.; Montgomery, M. W.; Day, E. A.: Flavor Threshold values of certain carbonyl compounds in milk. In: *Fifty-Seventh Annual Meeting of the American Dairy Science Association*. University of Maryland College Park June 17–21, 1962, *Journal of Dairy Science* 5 (45) 1962, S. 660
- 56 Reddy, M. C.; Lindsay, R. C.; Bills, D. D.: Ester production by *Pseudomonas fragi*. III. Synergistic flavor interaction of esters at subthreshold concentrations. In: *Journal of Dairy Science* 52 (1969), Nr. 8, S. 1198–1201
- 57 Guadagni, D. G.; Burr, H. K.; Buttery, R. G.; Okano, S.: Additive Effect of Sub-Threshold Concentrations of Some Organic Compounds Associated with Food Aromas. In: *Nature* 200 (1963), Nr. 491, S. 1288–1289
- 58 Rosen, A. A.; Peter, J. B.; Middleton, F. M.: Odor thresholds of mixed organic chemicals. In: *Journal - Water Pollution Control Federation* 34 (1962), S. 7–14
- 59 Stevens, J. C.: Detection of very complex taste mixtures. In: Murphy, C. (Hrsg.): *Olfaction and Taste XII - Annals of the New York Academy of Sciences*. New York: New York Academy of Sciences, S. 831–833, 1998
- 60 Collin, S.; Derdelinckx, G.; Dufour, J.-P.: Relationships between the chemical composition and sensory evaluation of lager beers. In: *Food Quality and Preference* 5 (1994), Nr. 1/2, S. 145–149
- 61 Webb, A. D.; Muller, C. J.: Volatile Aroma Components of Wines and Other Fermented Beverages. In: *Advances in Applied Microbiology*. Academic Press, 1972, S. 75–146
- 62 Engan, S.: Organoleptic threshold values of some alcohols and esters in beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 78 (1972), Nr. 1, S. 33–36
- 63 Herrmann, M.; Klotzbücher, B.; Wurzbacher, M.; Hanke, S.; Kattein, U.; Back, W.; Krottenthaler, M.: A new validation of relevant substances for the evaluation of beer aging depending on the employed boiling system. In: *Journal of the Institute of Brewing* (2020), Nr. 1
- 64 Saison, D.; De Schutter, D. P.; Uyttendhove, B.; Delvaux, F.; Delvaux, F. R.: Contribution of staling compounds to the aged flavour of lager beer by studying their flavour thresholds. In: *Food Chemistry* 114 (2009), Nr. 4, S. 1206–1215
- 65 Culleré, L.; Cacho, J.; Ferreira, V.: An Assessment of the Role Played by Some Oxidation-Related Aldehydes in Wine Aroma. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (2007), Nr. 3, S. 876–881

- 66 Palamand, S. R.; Hardwick, W. A.: Studies on the relative flavor performance of some beer constituents. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 6 (1969), Nr. 2, S. 117–128
- 67 Ferkl, P.; Curin, J.: Change of Organoleptic Parameters of Beer in relation to the use of Adjuncts and Shortening of Maturing Times. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 16 (1979), Nr. 4, S. 214–217
- 68 Hlaváček, J.; Prucha, P.; Kosar, K.: The influence of technological parameters on the antioxidant capacity and drinkability of beer. In: *27th European Brewery Convention Congress*. Cannes, EBC 1999, S. 27–36
- 69 Mattos, R.; Moretti, R. H.: Beer Drinkability-A Review. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 42 (2005), Nr. 1, S. 13–15
- 70 Nagao, Y.; Kodama, H.; Yamaguchi, T.; Yonezawa, T.; Taguchi, A.; Fujino, S.; Morimoto, K.; Fushiki, T.: Reduced urination rate while drinking beer with an unpleasant taste and off-flavor. In: *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 63 (1999), Nr. 3, S. 468–473
- 71 Nagao, Y.; Kodama, H.; Yonezawa, T.; Taguchi, A.; Fujino, S.; Nakahara, K.; Haruma, K.; Fushiki, T.: Correlation between the drinkability of beer and gastric emptying. In: *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 62 (1998), Nr. 5, S. 846–851
- 72 Dopfer, C.; Engelhardt, F.; Roth, S.; Schmidt, G.: Frische am Point of Sale - Drinkability, Geschmacksstabilität und MHD. In: *Brauwelt* 145 (2005), Nr. 34/35, S. 1094–1097
- 73 Dopfer, C.; Engelhardt, F.; Roth, S.; Schmidt, G.: Frische am POS - Fakten und mögliche Maßnahmen. In: *Brauwelt* 145 (2005), Nr. 40, S. 1326–1329
- 74 McEwan, J. A.; Colwill, J. S.: The sensory assessment of the thirst-quenching characteristics of drinks. In: *Food Quality and Preference* 7 (1996), Nr. 2, S. 101–111
- 75 Cowart, B. J.: The addition of CO<sub>2</sub> to traditional taste solutions alters taste quality. In: *Chemical Senses* 23 (1998), Nr. 4, S. 397–402
- 76 Guinard, J. X.; Souchart, A.; Picot, M.; Rogeaux, M.; Sieffermann, J. M.: Sensory Determinants of the Thirst-quenching Character of Beer. In: *Appetite* 31 (1998), Nr. 1, S. 101–115
- 77 Foster, R. T., II; Weber, K.; Jangaard, N. O.: The effect of hop acids transformation on kettle utilization and finished beer flavor and aroma. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 18 (1981), Nr. 3, S. 109–115
- 78 Bréfort, H.; Guinard, J. X.; Buhlert, J. E.; Lewis, M. J.: The contribution of dextrans of beer sensory properties. Part II. Aftertaste. In: *Journal of the Institute of Brewing* 95 (1989), Nr. 6, S. 431–435
- 79 Pangborn, R. M.; Lewis, M. J.; Yamashita, J. F.: Comparison of Time-Intensity with Category Scaling of Bitterness of Iso-Alpha-Acids in Model Systems and in Beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 89 (1983), Nr. 5, S. 349–355
- 80 Back, W.: *Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie*. 2. Auflage Nürnberg: Hans Carl, 2008
- 81 Langstaff, S. A.; Lewis, M. J.: The mouthfeel of beer - a review. In: *Journal of the Institute of Brewing* 99 (1993), Nr. 1, S. 31–37

- 82 Dadic, M.: Recent advances in phenolic research in brewing 1978-1979. In: *The Brewers Digest* 55 (1980), Nr. 4, S. 30–39
- 83 Meilgaard, M.: Hop Analysis, Cohumulone Factor and the Bitterness of Beer: Review and Critical Evaluation. In: *Journal of the Institute of Brewing* 66 (1960), Nr. 1, S. 35–50
- 84 Weiss, A.; Schönberger, C.; Mitter, W.; Biendl, M.; Back, W.; Krottenthaler, M.: Sensory and analytical characterisation of reduced, isomerised hop extracts and their influence and use in beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 108 (2002), Nr. 2, S. 236–242
- 85 Fischer, U.; Noble, A. C.: The effect of ethanol, catechin concentration, and pH on sourness and bitterness of wine. In: *American Journal of Enology and Viticulture* 45 (1994), Nr. 1, S. 6–10
- 86 Louw, A.: The Occurrence Of Bitterness In Wine: An Overview. In: *Wynboer - A technical Guide for Wine Producers* (2001), Nr. 12, online: <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/1201bitter.php3>
- 87 Martin, S.; Pangborn, R. M.: Taste Interaction of Ethyl Alcohol with Sweet, Salty, Sour and Bitter Compounds. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 21 (1970), Nr. 12, S. 653–655
- 88 Guinard, J.-X.; Hong, D. Y.; Zoumas-Morse, C.; Budwig, C.; Russell, G. F.: Chemoreception and Perception of the Bitterness of Isohumulones. In: *Physiology & Behavior* 56 (1994), Nr. 6, S. 1257–1263
- 89 Williams, A. A.; Rosser, P. R.: Aroma enhancing effects of ethanol. In: *Chemical Senses* 6 (1981), Nr. 2, S. 149–153
- 90 Hinreiner, E.; Filipello, F.; Webb, A. D.; Berg, H. W.: Evaluation of thresholds and minimum difference concentrations for various constituents of wines. III. Ethyl alcohol, glycerol, and acidity in aqueous solution. In: *Food Technology* 9 (1955), S. 351–353
- 91 Scinska, A.; Koros, E.; Habrat, B.; Kukwa, A.; Kostowski, W.; Bienkowski, P.: Bitter and sweet components of ethanol taste in humans. In: *Drug and Alcohol Dependence* 60 (2000), Nr. 2, S. 199–206
- 92 Cepicka, J.; Strejcek, F.; Pokorny, J.: Development of the sensory bitterness during the tasting of beer. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 44 (1992), Nr. 10, S. 329–331
- 93 Verzele, M.: Non-bitter hop contributions to beer. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 28 (1970), S. 63–67
- 94 Brenner, M. W.; Vigilante, C.; Owades, J. L.: A Study of Hop Bitters (Isohumulones) in Beer. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 14 (1956), S. 48–61
- 95 Guinard, J.-X.; Pangborn, R. M.; Lewis, M. J.: Effect of Repeated Ingestion on Temporal Perception of Bitterness in Beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 44 (1986), Nr. 1, S. 28–32
- 96 Bamforth, C. W.: pH in Brewing: An Overview. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 38 (2001), Nr. 1, S. 1–9
- 97 Grimm, J.; Grimm, W.: Das Deutsche Wörterbuch. <http://germazope.uni-trier.de/Projects/DWB>. - Aktualisierungsdatum: 2007.

- 98 Braungart, R.: *Der Hopfen aller hopfenbauenden Länder der Erde als Braumaterial*. München: R. Oldenbourg, 1901
- 99 Moir, M.: Hops - A Millennium Review. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 58 (2000), Nr. 4, S. 131–146
- 100 Hughes, P. S.; Simpson, W. J.: Production and composition of hop products. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 30 (1993), Nr. 4, S. 146–154
- 101 Sakamoto, K.; Konings, W. N.: Beer spoilage bacteria and hop resistance. In: *International Journal of Food Microbiology* 89 (2003), Nr. 2-3, S. 105–124
- 102 Hayduck, M.: Ueber die bitteren und harzigen Bestandtheile des Hopfens. In: *Wochenschrift für Brauerei* 5 (1888), Nr. 47, S. 937–947
- 103 Kaltner, D.; Bohak, I.; Forster, A.; Gahr, A.; Back, W.: Investigations of the Influence of Hop Products on the Microbiological Stability of Beer. In: *28th European Brewery Convention Congress*. Budapest, 2001, S.
- 104 Teuber, M.: Low antibiotic Potency of Isohumulone. In: *Applied Microbiology* 19 (1970), Nr. 5, S. 871
- 105 Emslander, F.: Ueber hygienische Wirkungen des Bieres. In: *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide* 9 (1911), Nr. 3, S. 118–120
- 106 Blanco, C. A.; Rojas, A.; Nimubona, D.: Effects of acidity and molecular size on bacteriostatic properties of beer hop derivates. In: *Trends in Food Science & Technology* 18 (2007), Nr. 3, S. 144–149
- 107 Behr, J.: *Mechanisms of hop inhibition, tolerance and adaption in Lactobacillus brevis*. Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2008
- 108 Behr, J.; Vogel, R. F.: Mechanisms of Hop Inhibition: Hop Ionophores. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (2009), Nr. 14, S. 6074–6081
- 109 Archibald, H. W.; Weiner, J. P.; Taylor, L.: Observations on Factors affecting Beer Foam characteristics. In: *14th European Brewery Convention Congress*. Salzburg, Elsevier 1973, S. 349–362
- 110 Fly, W. H.; Chicoye, E.: The effect of countercurrent distribution fractions of hop extracts on beer foam. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 35 (1977), Nr. 2, S. 69–72
- 111 Geys, K.: Über Schaummessungen beim Bier und Faktoren die den Schaum beeinflussen. In: *Wochenschrift für Brauerei* 43 (1926), Nr. 39, S. 439–444
- 112 Asano, K.; Hashimoto, N.: Contribution of hop bitter substances to head formation of beer. In: *Report of the Research Laboratories of Kirin Brewery Company* (1976), Nr. 19, S. 9–16
- 113 Bamforth, C. W.: The foaming properties of beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 91 (1985), Nr. 6, S. 370–383
- 114 Bamforth, C. W.: Recent Progress on our understanding of beer foam. In: *Cerevisia and Biotechnologie* 18 (1993), Nr. 2, S. 49–51

- 115 Diffor, D. W.; Likens, S. T.; Rehberger, A. J.; Burkhardt, R. J.: The Effect of Isohumulone/ Isocohumulone Ratio on Beer Head Retention. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 36 (1978), Nr. 2, S. 63–65
- 116 Evans, D. E.; Sheehan, M. C.: Don't be fobbed off: The substance of beer foam - A review. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 60 (2002), Nr. 2, S. 47–57
- 117 Ferreira, I. M. P. L. V. O.; Jorge, K.; Nogueira, L. C.; Silva, F.; Trugo, L. C.: Effects of the combination of hydrophobic polypeptides, iso-alpha acids, and malto-oligosaccharides on beer foam stability. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 12, S. 4976–4981
- 118 Honno, E.: Improvement of Foam Lacing of Beer. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 34 (1997), Nr. 3, S. 299–301
- 119 Lusk, L.; Ting, P.; Goldstein, H.; Ryder, D.; Navarro, A.: Foam Tower Fractionation of Beer Proteins and Bittering Acids. In: *EBC Monograph 27 Symposium Beer Foam Quality*. Nürnberg: Hans Carl, 1999, S. 166–187
- 120 Roberts, R. T.: Interaction between Beer Protein and Isohumulone. In: *Journal of the Institute of Brewing* 82 (1976), Nr. 5, S. 282
- 121 Smith, R. J.; Davidson, D.; Wilson, R. J. H.: Natural foam stabilizing and bittering compounds derived from hops. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 56 (1998), Nr. 2, S. 52–57
- 122 Wilson, R. J. H.; Roberts, T. R.; Smith, R. J.; Bradley, L. L.; Moir, M.: The Inherent Foam Stabilizing and Lacing Properties of some Minor, Hop-Derived Constituents of Beer. In: *EBC Monograph 27 Symposium Beer Foam Quality*. Nürnberg: Hans Carl, 1999, S. 188–207
- 123 Clark, D. C.; Wilde, P. J.; Wilson, D. R.: The Effect of Pre-Isomerized Hop Extract on the Properties of Model Protein Stabilized Foams. In: *Journal of the Institute of Brewing* 97 (1991), Nr. 3, S. 169–172
- 124 Roberts, R. T.: Colloidal Aspects of Beer Foam. In: *The Brewers Digest* 52 (1977), Nr. 6, S. 50–58
- 125 Simpson, W. J.; Hughes, P. S.: Stabilisation of foams by hop-derived bitter acids chemical interactions in beer foam. In: *Cerevisia and Biotechnologie* 19 (1994), Nr. 3, S. 39–42
- 126 Kolbach, P.; Wilharm, G.: Hopfenaromatische Biere. In: *Wochenschrift für Brauerei* 61 (1944), S. 18–20
- 127 Ono, M.; Hashimoto, S.; Kakudo, Y.; Nagami, K.; Kumada, J.: Foaming and Beer Flavor. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 41 (1983), Nr. 1, S. 19–23
- 128 Kaltner, D.: *Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere*. Freising, Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2000
- 129 Biendl, M.: Polyphenole-Pflanzeninhaltsstoffe mit Vermarktungspotential. In: *Hopfenrundschau International* (2005), S. 22 – 27
- 130 Vidal, S.; Francis, L.; Williams, P.; Kwiatkowski, M.; Gawel, R.; Cheynier, W.; Waters, E.: The mouth-feel properties of polysaccharides and anthocyanins in a wine like medium. In: *Food Chemistry* 85 (2004), Nr. 4, S. 519–525

- 131 Noble, A. C.: Bitterness in Wine. In: *Physiology & Behavior* 56 (1994), Nr. 6, S. 1251–1255
- 132 Stevens, J. F.; Miranda, C. L.; Buhler, D. R.; Deinzer, M. L.: Chemistry and Biology of Hop Flavonoids. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 56 (1998), Nr. 4, S. 136–145
- 133 Biendl, M.: Hops and health. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 46 (2009), Nr. 2, S. 416–422
- 134 Wunderlich, S.; Zürcher, A.; Back, W.: Enrichment of xanthohumol in the brewing process. In: *Molecular Nutrition & Food Research* 49 (2005), Nr. 9, S. 874–881
- 135 Bellmer, H. G.: Hopfenpolyphenole im Brauprozeß. In: *Brauwelt* 121 (1981), Nr. 8, S. 240–245
- 136 Peacock, V.: Fundamentals of Hop Chemistry. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 35 (1998), Nr. 1, S. 4–8
- 137 Reichard, A.: Ueber Gerbstoffreaktionen und deren brautechnische Bedeutung. In: *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide* 10 (1912), Nr. 5, S. 209–214
- 138 Knorr, F.: Polyphenole im Brauprozeß. In: *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 166 (1978), Nr. 4, S. 228–233
- 139 Krottenthaler, M.: Hopfen. In: Heyse, K.-U. (Hrsg.): *Praxishandbuch der Brauerei*. Hamburg: Behr's, 2003
- 140 Kammhuber, K.: Differenzierung des Welthopfensortimentes nach Bitterstoffen und Polyphenolen. In: *Hopfenrundschau International* (2005), S. 42–46
- 141 Li, H.-J.; Deinzer, M. L.: Structural Identification and Distribution of Proanthocyanidins in 13 Different Hops. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (2006), Nr. 11, S. 4048–4056
- 142 Kowaka, K.; Fukuoka, Y.; Kawasaki, H.; Asano, K.: The true value of aroma hops in brewing. In: *19th European Brewery Convention Congress*. London, 1983, S. 71–78
- 143 Briggs, D. E.; Boulton, C. A.; Brookes, P. A.; Stevens, R.: *Brewing Science and Practice*. Woodhead Publishing Ltd., 2004
- 144 Schur, F.: Auswirkungen der Hopfung auf Technologie und Bierqualität. In: *Schweizer Brauerei-Rundschau* 87 (1976), Nr. 1/2, S. 19–29
- 145 Mikyška, A.; Hrabák, M.; Haškova, D.; Šrogl, J.: The role of malt and hop polyphenols in beer quality, flavour and haze stability. In: *Journal of the Institute of Brewing* 108 (2002), Nr. 1, S. 78–85
- 146 McMurrough, I.; Hennigan, G. P.; Loughrey, M. J.: Quantitative-Analysis of Hop Flavonols Using High-Performance Liquid-Chromatography. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 30 (1982), Nr. 6, S. 1102–1106
- 147 Forster, A.: Hopfen- mehr als nur ein alpha-Säureträger. 48. Arbeitstagung der österr. Braumeister und Brautechniker, Innsbruck, 1998
- 148 Walters, M. T.; Heasman, A. P.; Hughes, P. S.: Comparison of (+)-Catechin and Ferulic Acid as Natural Antioxidants and Their Impact on Beer Flavor Stability. Part 1: Forced Ageing. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 55 (1997), Nr. 2, S. 83–89

- 149 Walters, M. T.; Heasman, A. P.; Hughes, P. S.: Comparison of (+)-Catechin and Ferulic Acid as Natural Antioxidants and Their Impact on Beer Flavor Stability. Part 2: Extended Storage Trials. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 55 (1997), Nr. 3, S. 91–98
- 150 Piendl, A.; Biendl, M.: Über die physiologische Bedeutung der Polyphenole und Hopfenbitterstoffe des Bieres. In: *Brauwelt* 140 (2000), Nr. 13/14, S. 526–544
- 151 Munekata, H.; Honjo, T.; Koshino, S.; Hosaka, M.: Studies on Gushing of beer. In: *Bulletin of Brewing Science* 6 (1961), S. 1–11
- 152 Laws, D. R. J.; McGuinness, J. D.: Origin and estimation of the gushing potential of isomerized hop extracts. In: *Journal of the Institute of Brewing* 78 (1972), Nr. 4, S. 302–308
- 153 Wöllmer, W.: Über die Bitterstoffe des Hopfens. In: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 49 (1916), S. 780–794
- 154 Wöllmer, W.: Über die Bitterstoffe des Hopfens. In: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft / B* 58 (1925), S. 672–678
- 155 Wöllmer, W.: Ueber die Bitterstoffe des Hopfens. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 19, S. 112–113
- 156 Wieland, H.: Ueber die chemische Natur der Hopfenharz-Säuren. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 18, S. 105–107
- 157 Wieland, H. S., W.; Martz, E.: Über die chemische Natur der Hopfenharz-Säuren. In: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft / B* 58 (1925), S. 102–112
- 158 Kolbach, P.: Ueber Nomenklatur und Analyse der Hopfenbitterstoffe. In: *Wochenschrift für Brauerei* 39 (1922), Nr. 40, S. 233–235
- 159 Kolbach, P.: Die antiseptische Wirkung des Hopfens und der Bitterstoffe. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 11, S. 61–64
- 160 Kolbach, P.: Die antiseptische Wirkung des Hopfens und der Bitterstoffe (Forts.). In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 12, S. 67–69
- 161 Kolbach, P.: Die antiseptische Wirkung des Hopfens und der Bitterstoffe (Schluß). In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 13, S. 73–75
- 162 Kolbach, P.: Probleme der Hopfenchemie. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 27, S. 157–159
- 163 Kolbach, P.: Probleme der Hopfenchemie (Forts.). In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 28, S. 163–166
- 164 Rigby, F. L.; Bethune, J. L.: Cohumulone, a New Hop Constituent. In: *Journal of the American Chemical Society* 74 (1952), Nr. 23, S. 6118–6119
- 165 Govaert, F.: Bitter principles of the hop. In: *Journal of the Institute of Brewing* 55 (1949), Nr. 3, S. 175–176
- 166 Fritsch, A.; Shellhammer, T. H.: Alpha-acids do not contribute bitterness to lager beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 65 (2007), Nr. 1, S. 26–28

- 167 Hildebrand, R. P.: The Isomerization of Humulone. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 1 (1964), Nr. 3, S. 167–175
- 168 Hughes, P.: Differences in the UV-Spectra of the hop-derived cis- and trans-iso-alpha-acids. In: *World Brewing Congress*. San Diego, 2004
- 169 De Cooman, L.; Aerts, G.; Overmeire, H.: Alterations of the Profiles of Iso-alpha-Acids During Beer Ageing, Marked Instability of Trans-Iso-alpha-Acids and Implications for Beer Bitterness Consistency in Relation to Tetrahydroiso-alpha-Acids. In: *Journal of the Institute of Brewing* 106 (2000), Nr. 3, S. 169–178
- 170 Techakriengkrai, I.; Paterson, A.; Taidi, B.; Piggott, J. R.: Relationships of sensory bitterness in lager beers to iso-alpha-acid contents. In: *Journal of the Institute of Brewing* 110 (2004), Nr. 1, S. 51–56
- 171 Aitken, R. A.; Bruce, A.; Harris, J. O.; Seaton, J. C.: The bitterness of hop-derived materials in beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 76 (1970), Nr. 1, S. 29–36
- 172 Verzele, M.; Jansen, H. E.; Ferdinandus, A.: Organoleptic Trials with Hop Bitter Substances. In: *Journal of the Institute of Brewing* 76 (1970), Nr. 1, S. 25–28
- 173 Bamforth, C. W.: Beer flavour: malt and hop character. In: *Brewer's Guardian* 130 (2001), Nr. 11, S. 16–18
- 174 Hughes, P.: The Significance of Iso-alpha-Acids for Beer Quality. In: *Journal of the Institute of Brewing* 106 (2000), Nr. 5, S. 271–276
- 175 Hughes, P. S.; Simpson, W. J.: Sensory impact of hop-derived compounds. In: *EBC Monograph 22 Symposium on Hops*. Nürnberg: Hans Carl, 1994, S. 128–140
- 176 Hughes, P. S.; Simpson, W. J.: Bitterness of Congeners and Stereoisomers of Hop-Derived Bitter Acids Found in Beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 54 (1996), Nr. 4, S. 234–237
- 177 De Keukeleire, D.; Heyerick, A.; Huvaere, K.; Skibsted, L. H.; Andersen, M. L.: Beer lightstruck flavor: the full story. In: *Cerevisia* 33 (2008), Nr. 3, S. 133–144
- 178 Bamforth, C. W.; Hughes, P. S.: The flavour of beer. In: *The Brewer* 84 (1998), Nr. 1005, S. 345–352
- 179 Ting, P. L.; Kay, S.; Ryder, D. S.: Thermal Isomerization of Cohumulone. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 67 (2009), Nr. 3, S. 152–156
- 180 Hughes, P.: Differences in the UV-Spectra of the Hop-Derived cis- and trans-Iso-alpha-Acids. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 64 (2006), Nr. 1, S. 47–51
- 181 Araki, S.; Takashio, M.; Shinotsuka, K.: A new parameter for determination of the extent of staling in beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 60 (2002), Nr. 1, S. 26–30
- 182 Cant, E.; M., V.; Verzele, M.: Studies in organic mass spectrometry - XI. The fragmentation of hop bitter acids derivatives having a five membered ring structure. In: *Organic Mass Spectrometry* 6 (1972), Nr. 9, S. 977–989
- 183 De Taeye, L.; De Keukeleire, D.; Verzele, M.: The Anti-Iso-Alpha-Acids: Concept and Review of Current Research. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 39 (1981), Nr. 1, S. 24–26

- 184 Huvaere, K.; Andersen, M. L.; Olsen, K.; Skibsted, L. H.; Heyerick, A.; De Keukeleire, D.: Radicaloid-type oxidative decomposition of beer bittering agents revealed. In: *Chemistry-a European Journal* 9 (2003), Nr. 19, S. 4693–4699
- 185 Verzele, M.; Anteunis, M.; Alderweireldt, F.: Isohumulones. In: *Journal of the Institute of Brewing* 71 (1965), S. 232–239
- 186 Charpentier, N.; Maujean, A.: Sunlight flavors in champagne wines. In: *Flavour' 81 3rd Weurman Symposium*. Munich, de Gruyter 1981, S. 609–615
- 187 Patton, S.: The Mechanism of Sunlight Flavor Formation in Milk with Special Reference to Methionine and Riboflavin. In: *Journal of Dairy Science* 37 (1954), Nr. 4, S. 446–452
- 188 Lintner, C.: *Die Bierbrauerei*. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn, 1875
- 189 Brand, J.: Zur Prüfung des Bierflaschenglases auf seine Schutzwirkung gegenüber dem Einfluß des Lichtes. In: *Zeitschrift für das gesamte Brauwesen* 31 (1908), Nr. 30, S. 333–335
- 190 Kuroiwa, Y.; Hashimoto, N.: Composition of Sunstruck Flavor Substance and Mechanism of Its Evolution. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 19 (1961), S. 28–36
- 191 Kuroiwa, Y.; Hashimoto, N.; Hashimoto, H.; Kokubo, E.; Nakagawa, K.: Factors Essential for the Evolution of Sunstruck Flavor. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 21 (1963), S. 181–193
- 192 Gunst, F.; Verzele, M.: On the Sunstruck Flavor of Beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 84 (1978), Nr. 5, S. 291–292
- 193 Kattein, U.; Miedaner, H.; Narziss, L.: Zur Problematik des Lichtgeschmacks im Bier. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 41 (1988), Nr. 5, S. 205–208
- 194 Komarek, D.; Hartmann, K.; Schieberle, P.: The role of 3-methyl-2-butene-1-thiol in beer flavor. In: Deibler, K. D.; Delwiche, J. (Hrsg.): *Handbook of Flavor Characterization*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004, S. 473–481
- 195 Irwin, A. J.; Bordeleau, L.; Barker, R. L.: Model Studies and Flavor Threshold Determination of 3-Methyl-2-Butene-1-Thiol in Beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 51 (1993), Nr. 1, S. 1–3
- 196 Sakuma, S.; Rikimaru, Y.; Kobayashi, K.; Kowaka, M.: Sunstruck Flavor Formation in Beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 49 (1991), Nr. 4, S. 162–165
- 197 Huvaere, K.; Andersen, M. L.; Skibsted, L. H.; Heyerick, A.; De Keukeleire, D.: Photooxidative degradation of beer bittering principles: A key step on the route to lightstruck flavor formation in beer. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 5, S. 1489–1494
- 198 Huvaere, K.; Olsen, K.; Andersen, M. L.; Skibsted, L. H.; Heyerick, A.; De Keukeleire, D.: Riboflavin-sensitized photooxidation of isohumulones and derivatives. In: *Photochemical & Photobiological Sciences* 3 (2004), Nr. 4, S. 337–340
- 199 Huvaere, K.; Sinnaeve, B.; Van Bocxlaer, J.; De Keukeleire, D.: Photooxidative degradation of beer bittering principles: product analysis with respect to lightstruck flavour formation. In: *Photochemical & Photobiological Sciences* 3 (2004), Nr. 9, S. 854–858

- 200 Bondeel, G. M. A.; Dekeukeleire, D.; Verzele, M.: The Photolysis of Trans-Isohumulone to Dehydrohumulinic Acid, a Key Route to the Development of Sunstruck Flavor in Beer. In: *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1* (1987), Nr. 12, S. 2715–2717
- 201 Laane, C.; de Roo, G.; van den Ban, E.; Sjauw-En-Wa, M. W.; Duyvis, M. G.; Hagen, W. A.; van Berkel, W. J. H.; Hilhorst, R.; Schmedding, D. J. M.; Evans, D. J.: The role of riboflavin in beer flavour instability: EPR studies and the application of flavin binding proteins. In: *Journal of the Institute of Brewing* 105 (1999), Nr. 6, S. 392–397
- 202 Templar, J.; Arrigan, K.; Simpson, W. J.: Formation, Measurement and Significance of Lightstruck Flavor in Beer: A Review. In: *Brewers Digest* 70 (1995), Nr. 5, S. 18–25
- 203 Bohmann, J. J.: Zum Alterungsverhalten des Bieres 3. Teil: Der Einfluß der Strahlungsbelastung, dargestellt am Beispiel 2-Methyl-2-buten und Isopren. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 38 (1985), Nr. 3, S. 137–144
- 204 Knorr, F.: Über einige Zusammenhänge zwischen Schwefelverbindungen, Lichtgeschmack und Bierstabilität. In: *Brauwissenschaft* 15 (1962), Nr. 3, S. 71–75
- 205 Gray, P. P.; Stone, I.; Rothchild, H.: The Action of Sunlight on Beer. In: *Wallerstein Laboratories Communications* 4 (1941), Nr. 11, S. 29–40
- 206 Heyerick, A.; Zhao, Y. N.; Sandra, P.; Huvaere, K.; Roelens, F.; De Keukeleire, D.: Photolysis of hop-derived trans-iso-alpha-acids and trans-tetrahydroiso-alpha-acids: product identification in relation to the lightstruck flavour of beer. In: *Photochemical & Photobiological Sciences* 2 (2003), Nr. 3, S. 306–314
- 207 Hughes, P.: The lightstruck flavor problem. In: *Cerevisia* 24 (1999), Nr. 2, S. 21–25
- 208 Holscher, W.; Vitzthum, O. G.; Steinhart, H.: Prenyl alcohol - source for odorants in roasted coffee. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (1992), Nr. 4, S. 655–658
- 209 Knorr, F.: Organosulfur compounds in brewing. In: *Brewers Digest* 42 (1967), Nr. 3, S. 100–102
- 210 Knorr, F.: Zuckermerkaptale und "Lichtgeschmack" 2. Mitteilung. In: *Brauwissenschaft* 17 (1964), Nr. 6, S. 212–213
- 211 Knorr, F.: Schwefelverbindungen und Lichtgeschmack des Bieres. In: *Brauwissenschaft* 18 (1965), Nr. 5, S. 181–183
- 212 Goldsmith, M. R.; Rogers, P. J.; Cabral, N. M.; Ghiggino, K. P.; Roddick, F. A.: Riboflavin triplet quenchers inhibit lightstruck flavor formation in beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 63 (2005), Nr. 4, S. 177–184
- 213 Kobayashi, M.; Iida, A.; Kagami, N.; Kawamura, K.: Formation and control of 3-methyl-2-butene-1-thiol during fermentation. In: *30th European Brewery Convention Congress*. Prag, Hans Carl 2005, S. 333–339
- 214 Moir, M.; Smith, R. J.: Foam-enhancing and bitter, reduced iso-alpha-acids derived from hops. In: *25th European Brewery Convention Congress*. Brüssel, Oxford University Press 1995, S. 125–134

- 215 Todd, P. H.; Johnson, P. A.; Worden, L. R.: Evaluation of the Relative Bitterness and Light Stability of Reduced Iso-Alpha-Acids. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 9 (1972), Nr. 1, S. 31–35
- 216 Hay, B. A.; Homiski, J. W.: Efficient One-Step Preparation of the Beer Additive Tetrahydroiso Alpha-Acids. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39 (1991), Nr. 10, S. 1732–1734
- 217 Huvaere, K.; De Keukeleire, D.: Shining light on the photodecomposition of beer. In: *The Spectrum* 18 (2005), Nr. 2, S. 18–24
- 218 Zufall, C.; Racioppi, G.; Gasparri, M.; Franquíz, J.: Flavour stability and ageing characteristics of light-stable beers. In: *30th European Brewery Convention Congress*. Prag, Hans Carl 2005, S. 617–624
- 219 Hashimoto, N.; Eshima, T.: Composition and pathway of formation of stale aldehydes in bottled beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 35 (1977), Nr. 3, S. 145–150
- 220 Hashimoto, N.; Kuroiwa, Y.: Proposed Pathways for the Formation of Volatile Aldehydes during Storage of Bottled Beer. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 33 (1975), Nr. 3, S. 104–111
- 221 Hashimoto, N.; Shimazu, T.; Eshima, T.: Oxidative degradation of isohumulones in relation to beer flavor. In: *Report of the Research Laboratories of Kirin Brewery Company* (1979), Nr. 22, S. 1–10
- 222 Kaneda, H.; Kano, Y.; Koshino, S.; Ohyanishiguchi, H.: Behavior and Role of Iron Ions in Beer Deterioration. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (1992), Nr. 11, S. 2102–2107
- 223 Williams, R. S.; Wagner, H. P.: Contribution of hop bitter substances to beer staling mechanisms. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 37 (1979), Nr. 1, S. 13–19
- 224 Dalglish, C. E.: Flavour Stability. In: *16th European Brewery Convention Congress*. Amsterdam, Elsevier 1977, S. 623–659
- 225 Forster, A.; Massinger, S.; Schmidt, R.: Zum Abbau von Hopfenbitterstoffen während der Lagerung von Bier. In: *Brauwelt* 144 (2004), Nr. 20/21, S. 623
- 226 Guinard, J. X.; ZoumasMorse, C.; Dietz, J.; Goldberg, S.; Holz, M.; Heck, E.; Amoros, A.: Does consumption of beer, alcohol, and bitter substances affect bitterness perception? In: *Physiology & Behavior* 59 (1996), Nr. 4-5, S. 625–631
- 227 Rigby, F. L.: A Theory of the Hop Flavor of Beer. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 30 (1972), S. 46–50
- 228 De Keukeleire, D.: Fundamentals of Beer and Hop Chemistry. In: *Química Nova* 23 (2000), Nr. 1, S. 108–112
- 229 King, B. M.; Duineveld, C. A. A.: Changes in bitterness as beer ages naturally. In: *Food Quality and Preference* 10 (1999), Nr. 4/5, S. 315–324
- 230 Scheller, L.: *Die Bitterstoffzusammensetzung von Hopfen und Hopfenprodukten und ihre Veränderung beim Brauprozess*. Freising-Weihenstephan, TU München, Dissertation, 1984

- 231 Balzer, U.: *Unterschiedliche Sorten und Produkte des Hopfens in Ihrem Einfluss auf die Bierqualität unter besonderer Berücksichtigung der Homologen-Verteilung und der Nicht-Isolumulon-Bittere*. Berlin, TU Berlin, Dissertation, 1990
- 232 Wackerbauer, K.; Balzer, U.: Hopfenbitterstoffe in Bier Teil 2: Der Einfluß des Cohumulons auf die Bierqualität. In: *Brauwelt* 122 (1992), Nr. 10/11, S. 396–398
- 233 Narziss, L.: Über neue Hopfensorten und die Hopfung von Typenbieren. Die Bedeutung des alpha-Säuregehaltes-Bedingen neue Kochsysteme eine Änderung der Hopfengabe? In: *Brauwelt* 125 (1985), Nr. 1/2, S. 6–11
- 234 Brudzynski, A.; Baranowski, K.: Laboratory and Industrial Scale Brewing Trials with Lubelski, Marynka, Oktawia and Other Polish Hop Varieties. In: *Journal of the Institute of Brewing* 109 (2003), Nr. 2, S. 154–156
- 235 Kusche, M.; Stettner, G.; Stephan, A.; Mitter, W.; Kaltner, D.: Influence of the new high alpha hop variety Herkules on beer quality. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 220–225
- 236 Laws, D. R. J.; Shannon, P. V. R.; John, G. D.: Correlation of Congener Distribution and Brewing Performance of Some New Varieties of Hops. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 34 (1976), Nr. 4, S. 166–170
- 237 Schönberger, C.: Warum das Cohumulon besser als sein Ruf ist. In: *Brauwelt* 148 (2008), Nr. 36, S. 1041–1042
- 238 Irwin, A. J.; Murray, C. R.; Thompson, D. J.: An Investigation of the relationships Between Hopping rate, Time of Boil, and Individual alpha-Acid Utilisation. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 43 (1985), Nr. 3, S. 145–152
- 239 Jacobsen, T.; Hage, T.; Kristensen, R.; Malterud, K. E.: Hop utilization in the brewery - an interbrewery comparison. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 47 (1989), Nr. 3, S. 62–67
- 240 Ono, M.; Kakudo, Y.; Yamamoto, Y.; Nagami, K.; Kumada, J.: Quantitative Analysis of Hop Bittering Components and Its Application to Hop Evaluation. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 42 (1984), Nr. 4, S. 167–172
- 241 Ono, M.; Kakudo, Y.; Yamamoto, Y.; Nagami, K.; Kumada, J.: Simultaneous Analysis of Hop Bittering Components by High-Performance Liquid Chromatography and Its Application to the Practical Brewing. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 43 (1985), Nr. 3, S. 136–144
- 242 Rigby, F. L.: The practical significance of recent developments in the chemical analysis of hops. In: *The Brewers Digest* 33 (1958), Nr. 10, S. 50–59
- 243 Wackerbauer, K.; Balzer, U.: Hopfenbitterstoffe in Bier Teil 1: Veränderungen in der Zusammensetzung der Bitterstoffe während des Brauprozesses. In: *Brauwelt* 122 (1992), Nr. 5, S. 152–155
- 244 Kammhuber, K.; Hagl, S.: Statistische Untersuchungen zur Korrelation von Hopfenölkomponenten. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 54 (2001), Nr. 5/6, S. 100–103

- 245 Spetsig, L. O.: Electrolytic constants and solubilities of humulinic acid, humulone, and lupulone. In: *Acta Chemica Scandinavica* 9 (1955), Nr. 9, S. 1421–1424
- 246 Vanhoenacker, G.; De Keukelaire, D.; Sandra, P.: Analysis of iso- $\alpha$ -acids and reduced iso- $\alpha$ -acids in beer by direct injection and liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection or with mass spectrometry. In: *Journal of Chromatography A* 1035 (2004), Nr. 1, S. 53–61
- 247 Maier, J.: *Zur Kenntnis der Hopfenbitterstoffe 4-Desoxy-humulon und alpha+beta-Weichharz*. Freising-Weihenstephan, TH München, Dissertation, 1962
- 248 Cowles, J. M.; Ting, P. L.; Murakami, A. A.; Goldstein, H.: Separation and Identification of Hop Bitter Compounds in Beer. In: Rousseff, R. L. (Hrsg.): *Developments in Food Science 25 - Bitterness in Foods and Beverages*. Amsterdam: Elsevier, 1990, S. 251–266
- 249 Drewett, K. G.; Laws, D. R. J.: Chemistry of Hop Constituents. Part XXXVI. An improved Synthesis of Hop-beta-Acids (Lupulones). In: *Journal of the Institute of Brewing* 76 (1970), S. 188–190
- 250 Kuroiwa, Y.; Hashimoto, H.: Fractionation of the beta fraction of hop resins. In: *Journal of the Institute of Brewing* 67 (1961), S. 506–510
- 251 Lloyd, R. O. V.: Hop Bitter Substances And Their Transformation During The Brewing Process. In: *8th European Brewery Convention Congress*. Wien, Elsevier 1961, S. 112–133
- 252 Spetsig, L. O.; Steninger, M.: Hulupones, a new group of hop bitter substances. In: *Journal of the Institute of Brewing* 66 (1960), S. 413–417
- 253 Stevens, R.; Wright, D.: Evaluation of Hops X. Hulupones and the significance of beta-acids in brewing. In: *Journal of the Institute of Brewing* 67 (1961), S. 496–501
- 254 Brohult, S.; Ryhage, R.; Spetsig, L.-O.; Stenhagen, E.: Mass Spectrometric Studies of Hop Bitter Substances. In: *7th European Brewery Convention Congress*. Rom, Elsevier 1959, S. 121–127
- 255 Palamand, S. R.; Aldenhoff, J. M.: Bitter Tasting Compounds of Beer - Chemistry and Taste Properties of Some Hop Resin Compounds. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 21 (1973), Nr. 4, S. 535–543
- 256 Verzele, M.; De Keukelaire, D.: *Chemistry and Analysis of Hop and Beer Bitter Acids*. Amsterdam: Elsevier, 1991
- 257 Forster, A.; Beck, B.; Anderegg, P.; Pfenninger, H.: Untersuchungen an Hopfenbitterstoffen in Bier mittels HPLC während verschiedener Alterungsbedingungen. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 41 (1988), Nr. 6, S. 236–242
- 258 Schur, F.; Pfenninger, H. B.: Analysis, Evaluation, and Application of a New Hulupone Product. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 33 (1975), Nr. 1, S. 4–7
- 259 Hartl, A.; Reininger, W.: Über die Umwandlung von Lupulonen in bierlösliche Bitterstoffe. In: *15th European Brewery Convention Congress*. Nizza, Elsevier 1975, S. 141–152
- 260 Laws, D. R. J.: Hop Resins and Beer Flavour .V. Significance of Oxidized Hop Resins in Brewing. In: *Journal of the Institute of Brewing* 74 (1968), Nr. 2, S. 178–182
- 261 Kowaka, M.; Kokubo, E.: Composition of bitter substances of hops and characteristics of beer bitterness. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 35 (1977), Nr. 1, S. 16–21

- 262 Marriott, R.: Hop aroma products and their application in brewing. In: *European Brewery Convention Monograph 31 Symposium on Flavour and Flavour Stability*. Nancy, Hans Carl 2001, S. 137–142
- 263 Bullis, D. E.; Likens, S. T.: Hop oil: past and present. In: *The Brewers Digest* 37 (1962), Nr. April, S. 54–59
- 264 Kammhuber, K.: Untersuchungen zur Biogenese der ätherischen Öle des Hopfens. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 53 (2000), Nr. 7/8, S. 138–142
- 265 Mitter, W.: Jährliche Schwankungen im Hopfen - Korrekturmöglichkeiten im Sudhaus. In: *Brauwelt* 148 (2008), Nr. 19, S. 372–373
- 266 Sharpe, F. R.; Laws, D. R. J.: The Essential Oil of Hops - A Review. In: *Journal of the Institute of Brewing* 87 (1981), Nr. 2, S. 96–107
- 267 Harrison, G. A. F.: Practical investigations of beer aroma. In: *The Brewers Digest* 42 (1967), Nr. 6, S. 74–76
- 268 Silbereisen, K.; Krüger, E.; Wagner, B.; Forch, M.: Einfluß einiger Hopfenölkomponenten auf Geschmack und Aroma des Bieres. In: *Monatsschrift für Brauerei* 21 (1968), Nr. 7, S. 206–211
- 269 Silbereisen, K.; Krüger, E.: Gaschromatographische Untersuchungen über Hopfenöle: II. Hopfenöle in der Würze. In: *Monatsschrift für Brauerei* 20 (1967), Nr. 11, S. 389–396
- 270 Silbereisen, K.; Krüger, E.; Baron, G.: Gaschromatographische Untersuchungen über das Verhalten einiger Hopfenölkomponenten im Verlauf des Brauprozesses. In: *Monatsschrift für Brauerei* 23 (1970), Nr. 4, S. 93–104
- 271 Belitz, H.-D.; Grosch, W.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Berlin: Springer, 1992
- 272 Moir, M.: Hop aromatic compounds. In: *European Brewery Convention Monograph 22 Symposium on Hops Zoeterwoude*. Hans Carl, 1994, S. 165–180
- 273 Steinhaus, M.; Schieberle, P.: Transfer of potent hop odorants linalool, geraniol and 4-methyl-4-sulfanyl-2-pentanone from hops into beer. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 1004–1011
- 274 King, A. J.; Dickinson, J. R.: Biotransformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts. In: *FEMS Yeast Research* 3 (2003), Nr. 1, S. 53–62
- 275 Baxter, R. L.; Laurie, W. A.; McHale, D.: Transformations of Monoterpenoids in Aqueous Acids - Reactions of Linalool, Geraniol, Nerol and Their Acetates in Aqueous Citric-Acid. In: *Tetrahedron* 34 (1978), Nr. 14, S. 2195–2199
- 276 Meilgaard, M. C.: Flavor chemistry of beer. II. Flavor and threshold of 239 aroma volatiles. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 12 (1975), Nr. 3, S. 151–168
- 277 Fritsch, H.; Schieberle, P.: Changes in key aroma compounds during boiling of unhopped and hopped wort. In: *29th European Brewery Convention Congress*. Dublin, Hans Carl 2003, S. 259–267
- 278 Fritsch, H. T.; Schieberle, P.: Identification Based on Quantitative Measurements and Aroma Recombination of the Character Impact Odorants in a Bavarian Pilsner-type Beer. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 19, S. 7544–7551

- 279 Sakuma, S.; Hayashi, S.; Kobayashi, K.: Analytical methods for beer flavor control. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 49 (1991), Nr. 1, S. 1–3
- 280 Peacock, V. E.; Deinzer, M. L.: Chemistry of hop aroma in beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 39 (1981), Nr. 4, S. 136–141
- 281 Kaltner, D.; Thum, B.; Forster, C.; Back, W.: Hopfen. In: *Brauwelt* 140 (2000), Nr. 18, S. 704–709
- 282 Steinhaus, M.; Fritsch, H. T.; Schieberle, P.: Quantitation of (R)- and (S)-Linalool in Beer Using Solid Phase Microextraction (SPME) in Combination with a Stable Isotope Dilution Assay (SIDA). In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003), Nr. 24, S. 7100–7105
- 283 Steinhaus, M.; Schieberle, P.: Comparison of the Most Odor-Active Compounds in Fresh and Dried Hop Cones (*Humulus lupulus* L. Variety Spalter Select) Based on GC-Olfactometry and Odor Dilution Techniques. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (2000), Nr. 5, S. 1776–1783
- 284 Kaltner, D.; Steinhaus, M.; Mitter, W.; Biendl, M.; Schieberle, P.: (R)-Linalool als Schlüsselaromastoff für das Hopfenaroma in Bier und sein Verhalten während der Bieralterung. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 56 (2003), Nr. 11/12, S. 192–196
- 285 Back, W.: Aromatherapie- Einflußmöglichkeiten auf das Hopfenaroma. In: *Brauindustrie* 85 (2000), Nr. 3, S. 138–140
- 286 Kaltner, D.: Moderne Hopfenprodukte - Aus vielen guten Zutaten kann der Brauer ein spitzen Bier-Image brauen. In: *Getränkeherstellung* (2005), Nr. August, S. 25–27
- 287 Kishimoto, T.; Wanikawa, A.; Kono, K.; Shibata, K.: Comparison of the Odor-Active Compounds in Unhopped Beer and Beers Hopped with Different Hop Varieties. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (2006), Nr. 23, S. 8855–8861
- 288 Steinhaus, M.; Wilhelm, W.; Schieberle, P.: Comparison of the most odour-active volatiles in different hop varieties by application of a comparative aroma extract dilution analysis. In: *European Food Research and Technology* 226 (2007), Nr. 1/2, S. 45–55
- 289 Van Opstaele, F.; Goiris, K.; Syryn, E.; De Rouck, G.; Jaskula, B.; De Clippeleer, J.; Aerts, G.; De Cooman, L.: Hop: aroma and bitterness perception. In: *Cerevisia* 31 (2007), Nr. 4, S. 167–188
- 290 Neumann, L.: *Untersuchung der leichtflüchtigen Hopfenaromastoffe im Hopfen und in Hopfenprodukten*. Berlin, Technische Universität Berlin, Forschungsinstitut für chemisch-technische Analyse des Fachbereichs "Lebensmitteltechnologie und Biotechnologie", Dissertation, 1973
- 291 Kolbach, P.; Wilharm, G.: Hopfenaromatische Biere. In: *Wochenschrift für Brauerei* 61 (1944), Nr. 1–9, S. 8–9
- 292 Narziss, L.; Miedaner, H.; Gresser, A.: Hopfenölverbindungen und ihr Beitrag zum Hopfenaroma im Bier. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 38 (1985), Nr. 10, S. 406–409
- 293 Narziss, L.; Miedaner, H.; Panglisch, P.: Über den Einfluss technologischer Massnahmen auf das Hopfenaroma im Bier. Teil 3. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 43 (1990), Nr. 11, S. 365–371
- 294 Peacock, V. E.; Deinzer, M. L.: Fate of hop oil components in beer. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 46 (1988), Nr. 4, S. 104–107

- 295 Tressl, R.; Friese, L.; Fendesack, F.; Koeppler, H.: Gas chromatographic-mass spectrometric investigation of hop aroma constituents in beer. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26 (1978), Nr. 6, S. 1422–1426
- 296 Fukuoka, Y.; Kowaka, M.: Identification of compounds imparting hoppy flavor to beer. In: *Report of the Research Laboratories of Kirin Brewery Company* 26 (1983), S. 31–36
- 297 Van Wyk, C. J.; Kepner, R. E.; Webb, A. D.: Volatile components of *Vitis vinifera* variety White Riesling. III. Neutral components extracted from wine. In: *Journal of Food Science* 32 (1967), Nr. 6, S. 669–674
- 298 Van Wyk, C. J.; Webb, A. D.; Kepner, R. E.: Volatile components of *Vitis vinifera* variety White Riesling. I. Grape juice. In: *Journal of Food Science* 32 (1967), Nr. 6, S. 660–664
- 299 Wenzel, K. W. O.; De Vries, M. J.: Investigation of muscat aroma. In: *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Landbouwetenskap* 11 (1968), Nr. 2, S. 273–279
- 300 Mitter, W.; Biendl, M.; Kaltner, D.: Behaviour of hop derived aroma substances during wort boiling. In: *European Brewery Convention Monograph 31 Symposium on Flavour and Flavour Stability*. Nancy, Hans Carl 2001, S. 125–136
- 301 Mitter, W.; Kaltner, D.; Lambertsen, T.: Einfluss verschiedener Kochsysteme auf das Verhalten von Bitter- und Aromastoffen. In: *Brauwelt* 147 (2007), Nr. 12/13, S. 316–320
- 302 Daenen, L.; Saison, D.; De Cooman, L.; Derdelinckx, G.; Verachtert, H.; Delvaux, F. R.: Flavour enhancement in beer: Hydrolysis of hop glycosides by yeast beta-glucosidase. In: *Cerevisia* 32 (2007), Nr. 1, S. 24–36
- 303 Biendl, M.; Kollmannsberger, H.; Nitz, S.: Occurrence of glycosidically bound flavour compounds in different hop products. In: *29th European Brewery Convention Congress*. Dublin, Hans Carl 2003, S. 252–258
- 304 Kollmannsberger, H.; Biendl, M.; Nitz, S.: Occurrence of glycosidically bound flavour compounds in hops, hop products and beer. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 59 (2006), Nr. May/June, S. 83–89
- 305 Ohta, T.; Morimitsu, Y.; Sameshima, Y.; Samuta, T.; Ohba, T.: Transformation from Geraniol, Nerol and Their Glucosides into Linalool and Alpha-Terpineol during Shochu Distillation. In: *Journal of Fermentation and Bioengineering* 72 (1991), Nr. 5, S. 347–351
- 306 Ashurst, P. R.; Whitear, A. L.: Hop resins and Beer Flavour IV. Observations Concerning Hard Resins. In: *Journal of the Institute of Brewing* 71 (1965), Nr. 1, S. 46–51
- 307 Canbaş, A.; Erten, H.; Özşahin, F.: The effects of storage temperature on the chemical composition of hop pellets. In: *Process Biochemistry* 36 (2001), Nr. 11, S. 1053–1058
- 308 Kolbach, P.: Ueber die rationelle Nomenklatur der Hopfenbitterstoffe. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 4, S. 21–24
- 309 Nickerson, G. B.; Likens, S. T.: Hop storage index. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 37 (1979), Nr. 4, S. 184–187

- 310 Whitear, A. L.: Changes in resin composition and brewing behavior of hops during storage. In: *Journal of the Institute of Brewing* 72 (1966), Nr. 2, S. 177–183
- 311 Leberle, H.: Die Bierbrauerei II. Teil- *Die Technologie der Bierbereitung*. 2. Auflage Stuttgart: F. Enke Verlag, 1931
- 312 Wöllmer, W.: Untersuchungen über die Wertbestimmung des Hopfens. In: *Wochenschrift für Brauerei* 42 (1925), Nr. 1, S. 1–3
- 313 Virant, M.; Majer, D.: Hop Storage Index – Indicator of a brewing quality. [www.czhops.cz/tc/pdf/hop.pdf](http://www.czhops.cz/tc/pdf/hop.pdf). - Aktualisierungsdatum: Januar 2008.
- 314 Srečec, S.; Rezić, T.; Šantek, B.; Marić, V.: Influence of Hops Pellets Age on alpha-acids Utilization and Organoleptic Quality of Beer. In: *Agriculturae Conspectus Scientificus* 73 (2008), Nr. 2, S. 103–107
- 315 Leberle, H.: *Abriss der Bierbrauerei*. Stuttgart: F. Enke, 1937
- 316 Wöllmer, W.: Über das Verhalten der Bitterstoffe beim Kochen mit Würze. In: *Zeitschrift für das gesamte Brauwesen* 40 (1917), Nr. 47, S. 372
- 317 Biendl, M.; Mitter, W.; Peters, U.; Methner, F.-J.: Einsatz eines xanthohumulreichen Hopfenproduktes bei der Bierherstellung. In: *Brauwelt* 140 (2000), Nr. 46/47, S. 2006–2011
- 318 Priest, M. A.; Boersma, J. A.; Bronczyk, S. A.: Effects of aging on hops and liquid carbon dioxide hop extracts. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 49 (1991), Nr. 3, S. 98–101
- 319 Jaskula, B.; Kafarski, P.; Aerts, G.; De Cooman, L.: A Kinetic Study on the Isomerization of Hop alpha-Acids. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (2008), Nr. 15, S. 6408–6415
- 320 Malowicki, M. G.; Shellhammer, T. H.: Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model Wort-boiling system. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005), Nr. 11, S. 4434–4439
- 321 Malowicki, M. G.; Shellhammer, T. H.: Factors Affecting Hop Bitter Acid Isomerisation Kinetics in a Model Wort Boiling System. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 64 (2006), Nr. 1, S. 29–32
- 322 Kutter, F.: The influence of hop origin on trub precipitation and beer quality. In: *The Brewers Digest* 21 (1946), Nr. 5, S. 33–40
- 323 Biermann, U. K.: *Über Menge und Zusammensetzung des Kochtrubes in Abhängigkeit von technologischen Verfahren*. Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1984
- 324 Steiner, K.; Stocker, H. R.: Untersuchungen über Trubgehalt und Trubabscheidung von Würzen. In: *Schweizer Brauerei-Rundschau* 73 (1962), Nr. 7, S. 115–134
- 325 Mändl, B.: Würzebehandlung. In: *Der Weihenstephaner* 33 (1965), S. 260–264
- 326 Kutter, F.; Siegfried, F.: Bildung von Grob- und Feintrub während des Würzekochens. In: *Schweizer Brauerei-Rundschau* 45 (1934), S. 259–260
- 327 Meilgaard, M.; Trolle, B.: The Utilization of Hops in the Brew-House. In: *6th European Brewery Convention Congress*. Kopenhagen, Elsevier 1957, S. 27–42

- 328 Djurtoft, R.; Aunstrup, K.; Trolle, B.: The Utilization of Hop in the Brew-House III. Evaluation of the Loss of alpha-Acids. In: *7th European Brewery Convention Congress*. Rom, Elsevier 1959, S. 128–137
- 329 Hudson, J. R.: The Rationalization of Hop Utilization - A Review. In: *Journal of the Institute of Brewing* 71 (1965), S. 482–489
- 330 Mitter, W.; Kessler, H.; Biendl, M.: Bitterhopfengabe in Form von Pellets und Extrakt und deren Einfluss auf Würze und Bier. In: *Brauindustrie* 84 (1999), Nr. 10, S. 560–563
- 331 Mitter, W.; Kessler, H.; Biendl, M.: Isomerisierungsverlauf der Alphasäuren im grosstechnischen Massstab. In: *Brauindustrie* 85 (2000), Nr. 3, S. 142–145
- 332 Wilson, R. J. H.; Roberts, T.; Smith, R. J.; Biendl, M.: Improving hop utilization and flavor control through the use of pre-isomerized products in the brewery kettle. In: *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly* 38 (2001), Nr. 1, S. 11–21
- 333 Hertel, M.; Dillenburger, M.: Möglichkeiten zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute bei der Bierbereitung (Teil 1). In: *Brauwelt* 149 (2009), Nr. 10, S. 254–257
- 334 Kolbach, P.; Wilharm, G.: Hopfenzusatz zur Maische. In: *Wochenschrift für Brauerei* 60 (1943), Nr. 14–22, S. 66–67
- 335 Köller, H.; Hartl, A.; Kirchner, G.: Verfahren zur Herstellung von Isohumulonen. Patent No. DE 1 618 059, 1967
- 336 Laws, D. R. J.; McGuinness, J. D.; Rennie, H.: Losses of bitter substances during fermentation. In: *Journal of the Institute of Brewing* 78 (1972), Nr. 4, S. 314–321
- 337 Weinfurter, F.: Die Bierbrauerei III. - *Die Technologie der Gärung des fertigen Bier*. 3. Auflage Stuttgart: Ferdinand Enke, 1963
- 338 Enevoldsen, B. S.: Dextrins in brewing. In: *12th European Brewery Convention Congress*. Interlaken, Elsevier Publishing Co 1969, S. 205–223
- 339 Enevoldsen, B. S.; Schmidt, F.: Dextrins in brewing. II. Distribution of oligo- and megalosaccharides during mashing, in wort, and in beer. In: *14th European Brewery Convention Congress*. Salzburg, Elsevier 1973, S. 135–148
- 340 Otter, G. E.; Popplewell, J. A.; Taylor, L.: Analysis of beer worts, and brewing syrups for sugars and oligosaccharides. In: *12th European Brewery Convention Congress*. Interlaken, Elsevier 1969, S. 481–495
- 341 Krüger, E.; Anger, H.-M.: *Kennzahlen zur Betriebskontrolle und Qualitätsbeschreibung in der Brauwirtschaft*. Hamburg: Behr's, 1992
- 342 van Erde, P.: *Analytica-EBC*. Nürnberg: Hans Carl, 1998
- 343 Norm DIN 10959 Juli 1998. Sensorische Prüfverfahren - Bestimmung der Geschmacksempfindlichkeit
- 344 Pfenninger, H. (Hrsg.): *Brautechnische Analysenmethoden der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission Band I*. Freising: Selbstverlag, 1997

- 345 Zarnkow, M.; Schütz, M.; Spieleder, E.; Kattein, U.; Back, W.: Die neue Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan stellt sich vor. In: *Brauwelt* 146 (2006), Nr. 11, S. 306–310
- 346 Mezger, R.; Krottenthaler, M.; Back, W.: Moderne Würzekochsysteme-ein Überblick. In: *Brauwelt* 143 (2003), Nr. 4/5, S. 93–99
- 347 Anonym: SCHOKO in der Praxis. In: *Brauindustrie* 88 (2003), Nr. 10, S. 10–13
- 348 Binkert, J.; Haertl, D.: Neues Würzekochsystem mittels Expansionsverdampfung. In: *Brauwelt* 141 (2001), Nr. 37, S. 1494–1503
- 349 Mezger, R.; Krottenthaler, M.; Back, W.: Die Aufteilung des Prozessschrittes Würzekochung in zwei Phasen. In: *Brauwelt* 143 (2003), Nr. 33, S. 1055–1060
- 350 Krottenthaler, M.; Hartmann, K.; Back, W.: Einsatz eines Entspannungsverdampfers zur Würzebehandlung. In: *Brauwelt* 141 (2001), Nr. 39, S. 1690–1693
- 351 Wurzbacher, M.; Back, W.: ESR-Analytik zur Brauereiprozesskontrolle hinsichtlich der Geschmacksstabilität. In: *Brauwelt* 147 (2007), Nr. 22/23, S. 594–599
- 352 Anger, H.-M. (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission Band Rohstoffe. Freising: Selbstverlag, 2006
- 353 Herrmann, M.; Hanke, S.; Kaltner, D.; Back, W.: Hop volatile compounds (Part I): Analysis of hop pellets and seasonal variations. In: *BrewingScience* 52 (2008), Nr. July/August, S. 135–139
- 354 American Society of Brewing Chemists (Hrsg.): *Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists*. St. Paul, 1992,
- 355 Miedaner, H. (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission Band II. Freising: Selbstverlag, 2002
- 356 Schneeberger, M.: *Verwertung von Prozessbieren in der Brauerei*. Freising, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2006
- 357 Lustig, S.: *Das Verhalten flüchtiger Aromastoffe bei der Lagerung von Flaschenbier und deren technologische Beeinflussung beim Brauprozeß*. Freising, Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaften, Dissertation, 1994
- 358 Eichhorn, P.: *Untersuchungen zur Geschmacksstabilität*. Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaften, Dissertation, 1991
- 359 Mattes, R. D.; DiMeglio, D.: Ethanol perception and ingestion. In: *Physiology & Behavior* 72 (2001), Nr. 1/2, S. 217–229
- 360 Salač, V.; Vančura, M.; Bednař, J.: Erforschung der Möglichkeiten der rationellen Ausnützung von Hopfenbitterstoffen bei der Bierherstellung. In: *Brauwissenschaft* 12 (1959), Nr. 3, S. 58–64
- 361 Kolbach, P.: Ueber das Hopfenkochen. In: *Wochenschrift für Brauerei* 56 (1939), Nr. 7, S. 49–51
- 362 Verstrepen, K. J.; Derdelinckx, G.; Dufour, J.-P.; Winderickx, J.; Thevelein, J. M.; Pretorius, I. S.; Delvaux, F. R.: Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer. In: *Journal of Bioscience and Bioengineering* 96 (2003), Nr. 2, S. 110–118

- 363 Eiß, S.: *Studien über technologiebedingte Veränderungen der Aromaprofile von Fruchtsäften*. Würzburg, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie Dissertation, 2007
- 364 Mehinagic, E.; Royer, G.; Symoneaux, R.; Jourjon, F.; Prost, C.: Characterization of Odor-Active Volatiles in Apples: Influence of Cultivars and Maturity Stage. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (2006), Nr. 7, S. 2678-2687
- 365 Beuerle, T.; Schreier, P.; Brunerie, P.; Bicchi, C.; Schwab, W.: Absolute configuration of octanol derivatives in apple fruits. In: *Phytochemistry* 43 (1996), Nr. 1, S. 145-149
- 366 Boudhrioua, N.; Giampaoli, P.; Bonazzi, C.: Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying. In: *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 36 (2003), Nr. 6, S. 633-642
- 367 Jordán, M. J.; Tandon, K.; Shaw, P. E.; Goodner, K. L.: Aromatic Profile of Aqueous Banana Essence and Banana Fruit by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) and Gas Chromatography–Olfactometry (GC-O). In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2001), Nr. 10, S. 4813-4817
- 368 Ahmed, E. M.; Dennison, R. A.; Dougherty, R. H.; Shaw, P. E.: Flavor and odor thresholds in water of selected orange juice components. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26 (1978), Nr. 1, S. 187-191
- 369 Plotto, A.; Margaría, C. A.; Goodner, K. L.; Goodrich, R.; Baldwin, E. A.: Odour and flavour thresholds for key aroma components in an orange juice matrix: terpenes and aldehydes. In: *Flavour and Fragrance Journal* 19 (2004), Nr. 6, S. 491-498
- 370 Stevens, K. L.; Lundin, R. E.; Teranishi, R.: Volatiles from Oranges. III. The Structure of Sinensal. In: *The Journal of Organic Chemistry* 30 (1965), Nr. 5, S. 1690-1692
- 371 Büttner, A.; Schieberle, P.: Evaluation of Aroma Differences between Hand-Squeezed Juices from Valencia Late and Navel Oranges by Quantitation of Key Odorants and Flavor Reconstitution Experiments. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2001), Nr. 5, S. 2387-2394
- 372 Haagen-Smit, A. J.; Kirchner, J. G.; Deasy, C. L.; Prater, A. N.: Chemical Studies of Pineapple (*Ananas sativus* Lindl). II. Isolation and Identification of a Sulfur-Containing Ester in Pineapple. In: *Journal of the American Chemical Society* 67 (1945), Nr. 10, S. 1651-1652
- 373 Elss, S.; Preston, C.; Hertzog, C.; Heckel, F.; Richling, E.; Schreier, P.: Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. In: *LWT - Food Science and Technology* 38 (2005), Nr. 3, S. 263-274
- 374 Harrison, G. A. F.: Investigations on beer flavor and aroma by gas chromatography. In: *9th European Brewery Convention Congress*. Brüssel, Elsevier 1964, S. 247-256
- 375 Thiele, F.: *Einfluss der Hefevitalität und der Gärparameter auf die Stoffwechselprodukte der Hefe und auf die Geschmacksstabilität*. Freising, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2006

- 376 Äyräpää, T.: Formation of phenethyl alcohol during alcoholic fermentation, compared with the formation of aliphatic fusel alcohols. In: *9th European Brewery Convention Congress*. Brüssel, Elsevier 1963, S. 276–287
- 377 Herrmann, M.: *Entstehung und Beeinflussung qualitätsbestimmender Aromastoffe bei der Herstellung von Weißbier*. Freising, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2005
- 378 Jaskula, B.; Goiris, K.; Van Opstaele, F.; De Rouck, G.; Aerts, G.; De Cooman, L.: Hopping technology in relation to alpha -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 67 (2009), Nr. 1, S. 44–57
- 379 Moštek, J.; Marek, M.; Čepička, J.: Über die Kinetik der Isomerisierung von Hopfenbittersäuren während des Würzekochens. In: *Brauwissenschaft* 31 (1978), Nr. 2, S. 29–39
- 380 Haseleu, G.; Intelmann, D.; Hofmann, T.: Structure determination and sensory evaluation of novel bitter compounds formed from beta-acids of hop (*Humulus lupulus* L.) upon wort boiling. In: *Food Chemistry* 116 (2009), Nr. 1, S. 71–81
- 381 Maule, D. R.: The Fate of Humulone During Wort Boiling and Cooling. In: *Journal of the Institute of Brewing* 72 (1966), S. 285–290
- 382 De Schutter, D. P.; De Meester, M. R.; Saison, D.; Delvaux, F.; Derdelinckx, G.; Rock, J. M.; Neven, H.; Delvaux, F. R.: Characterization and quantification of thermal load during wort boiling. In: *BrewingScience* 52 (2008), Nr. July/Aug., S. 121–134
- 383 De Schutter, D. P.; Saison, D.; Delvaux, F.; Derdelinckx, G.; Rock, J.-M.; Neven, H.; Delvaux, F. R.: Release and Evaporation of Volatiles during Boiling of Unhopped Wort. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (2008), Nr. 13, S. 5172–5180
- 384 Forster, A.: Unerwartete Warmphasen von Hopfenpellets - halb so schlimm? In: *Brauwelt* 142 (2002), Nr. 1/2, S. 10–14
- 385 Forster, A.; Köberlein, A.: Untersuchungen zum Lagerverhalten von Hopfen mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie. In: *Brauwissenschaft* 34 (1981), Nr. 10, S. 265–272
- 386 Forster, A.; Koeberlein, A.: Lagerverhalten von Hopfen Teil II: Untersuchungen mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie. In: *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 36 (1983), Nr. 6, S. 248–255
- 387 Benitez, J. L.; Forster, A.; De Keukelaire, D.; Moir, M.; Sharpe, F. R.; Verhagen, L. C.; Westwood, K. T.: *Hops and Hop Products. EBC Manual of Good Practice*. Nürnberg: Hans Carl, 1997
- 388 Kishimoto, T.; Wanikawa, A.; Kono, K.; Aoki, K.: Odorants comprising hop aroma of beer: hop-derived odorants increased in the beer hopped with aged hops. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 226–235
- 389 Takemura, H.; Kawasaki, Y.; Ogane, O.; Imai, T.; Ogawa, Y.: The influence of hop storage conditions on the quality of aroma and bitterness in beer. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 252–257

- 390 Franz, O.: *Systematische Untersuchungen zur endogenen antioxidativen Aktivität von hellem, untergärrigem Bier unter besonderer Berücksichtigung technologischer Maßnahmen beim Brauprozess* Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2004
- 391 Schieberle, P.; Steinhaus, M.: *Untersuchungen zum Einfluss der Hopfensorte auf das Aroma hopfenbetonter Biere unter besonderer Berücksichtigung glycosidisch gebundener Hopfenaromastoffe*. Garching, Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Bericht zu AiF-Projekt 13622 N, 2005
- 392 Pöschl, M.; Geiger, E.; Biendl, M.: The effect of using polyphenolic extracts during mashing in the colloidal stability of beer. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 101–111
- 393 Karel, V.: Polyphenolstoffe in der Biererzeugung. In: *Brauwissenschaft* 14 (1961), Nr. 9, S. 411–412
- 394 Dadic, M.: Analytical methods for polyphenols in brewing. I. Polyphenols in brewing and their estimation. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists* 29 (1971), S. 149–158
- 395 Gramshaw, J. W.: Phenolic constituents of beer and brewing materials. IV. Anthocyanogens and catechins as haze precursors in beer. In: *Journal of the Institute of Brewing* 75 (1969), Nr. 1, S. 61–83
- 396 Hall, R. D.; Harris, G.; Ricketts, R. W.: Studies on non-biological hazes of beers. V. Role of hop and malt tannins. In: *Journal of the Institute of Brewing* 65 (1959), S. 247–251
- 397 Reynolds, T.; Atterton, R. M.; Kirsop, B. H.; Pool, A. A.: Polyphenols in malting and brewing. In: *8th European Brewery Convention Congress*. Wien, Elsevier 1961, S. 267–277
- 398 Schur, F.: Rolle der Polyphenole beim Brauen. In: *Brauerei-Rundschau* 98 (1987), Nr. 3, S. 37–42
- 399 Pollock, J. R. A.: Anthocyanogens in malting and brewing. In: *The Brewers Digest* 38 (1963), Nr. 5, S. 46–52
- 400 Moštek, J.: Die Bedeutung der Anthocyanogene für den Biertyp. In: *Brauwissenschaft* 21 (1968), Nr. 7, S. 253–258
- 401 Kolbach, P.: Ueber das Hopfenkochen (Schluß). In: *Wochenschrift für Brauerei* 56 (1939), Nr. 8, S. 59–63
- 402 Kolbach, P.: Ueber das Hopfenkochen. In: *Wochenschrift für Brauerei* 56 (1939), Nr. 6, S. 41–43
- 403 Wurzbacher, M.; Kinitz, C.; Krottenthaler, M.; Back, W.; Galensa, R.: Endogene antioxidative Aktivität von Bier unter besonderer Berücksichtigung der Polyphenole. In: *Brauwelt* 146 (2006), Nr. 33, S. 964–967
- 404 Krottenthaler, M.; Kummert, F.; Back, W.; Kaltner, D.; Mitter, W.: Das Geheimnis der Hopfenblume - The Secret of the Hop Bouquet. In: *Hopfenrundschau International* (2005/2006), S. 16–20
- 405 Fritsch, H.; Biendl, M.; Stephan, A.; Stettner, G.; Methner, F. J.: Sensory characterization of xanthohumol and isoxanthohumol. In: *30th European Brewery Convention Congress*. Prag, Hans Carl 2005, S. 947–953
- 406 Forster, A.: Hopfen heute. In: *Brauwelt* 149 (2009), Nr. 32, S. 901

- 407 Mitter, M.: Die Veränderung der chemischen Charakteristika von Tettnanger Hopfen im Laufe der Bierbereitung. In: *Brauwelt* 134 (1994), Nr. 42, S. 2098–2105
- 408 Preuß, T.: *Technologische Maßnahmen zur Erzielung malzaromatischer dunkler Biere hoher Geschmacksstabilität nach Charakterisierung der Schlüsselaromastoffe in ausgewählten dunklen Bieren*. Freising, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 2001
- 409 Sachs, L.: *Angewandte Statistik*. 11. Auflage Berlin: Springer Verlag, 2001
- 410 Semikolenov, V. A.; Ilyna, I. I.; Maksimovskaya, R. I.: Linalool to geraniol/nerol isomerization catalyzed by (RO)<sub>3</sub>VO complexes: studies of kinetics and mechanism. In: *Journal of Molecular Catalysis A:Chemical* 204 (2003), S. 201–210
- 411 Gresser, A.: *Beiträge zur Kenntnis der Hopfenaromastoffe unter besonderer Berücksichtigung technologischer Verfahren*. Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1985
- 412 Narziß, L.: Beer taste and how it is influenced by raw materials and technological factors. In: *Brauwelt International* 16 (1998), Nr. 1, S. 24–25
- 413 Panglisch, P.: *Über den Einfluss technologischer Massnahmen auf das Hopfenaroma im Bier*. Freising-Weihenstephan, Technische Universität München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft, Dissertation, 1988
- 414 Kaltner, D.; Mitter, W.; Binkert, J.; Preis, F.; Zimmermann, R.; Biendl, M.: Würzekochsystem SCHOKO und Hopfenkomponenten. In: *Brauwelt* 144 (2004), Nr. 46/47, S. 1562–1567
- 415 Kaltner, D.; Mitter, W.; Binkert, J.; Preis, F.; Zimmermann, R.; Biendl, M.: Variationsmöglichkeiten der Hopfengabe beim Würzekochsystem SCHOKO. In: *Brauwelt* 145 (2005), Nr. 19/20, S. 582–588
- 416 Krottenthaler, M.; Lehmann, J.; Mieth, R.: Einsatz der Vakuumverdampfungsanlage im Sudhaus der Gilde Brauerei AG. In: *Brauwelt* 143 (2003), Nr. 30, S. 953–960
- 417 Reed, R. J. R.; Jordan, G.: Factors affecting trub formation during wort boiling. In: *23rd European Brewery Convention Congress*. Lissabon, Elsevier 1991, S. 673–680

## 7 Anhang

**Tabelle 71: Bieraromastoffe der frischen Biere bei Verwendung unterschiedlich gealterter Hopfen**

		frisch	1 Monat	3 Monate	1 Monat	3 Monate
	ungehopft	original $\alpha$	aktuell $\alpha$	aktuell $\alpha$	original $\alpha$	original $\alpha$
<b>Bieraromastoffe [<math>\mu\text{g/l}</math>]</b>						
1-Hexanol	n. a.	16	16	15	16	14
1-Heptanol	n. a.	9	11	12	10	6
1-Octanol	n. a.	13	13	13	14	15
1-Decanol	n. a.	6	6	6	7	6
2-Phenylethanol	n. a.	32444	38000	35187	35240	35208
Essigsäure- Isobutylester	n. a.	55	70	68	66	83
Essigsäure- Hexylester	n. a.	4	4	4	4	4
Essigsäure- Heptylester	n. a.	2	3	3	2	2
Essigsäure- Octylester	n. a.	2	2	2	2	2
Essigsäure- Furfurylester	n. a.	1	2	2	1	2
Essigsäure-2- Phenylethylester	n. a.	771	975	962	947	1061
Buttersäure- Ethylester	n. a.	60	78	79	80	81
Hexansäure- Ethylester	n. a.	132	153	155	141	138
Octansäure- Ethylester	n. a.	271	291	312	285	287
Decansäure- Ethylester	n. a.	44	40	51	38	28
Isovaleriansäure	n. a.	297	239	374	445	138
Hexansäure	n. a.	1979	1887	2178	1865	1827
Octansäure	n. a.	5879	5566	6038	5749	5623
Nonansäure	n. a.	17	16	16	13	13
Decansäure	n. a.	931	753	953	719	513
Dodecansäure	n. a.	100	80	103	65	45
g-Nonalacton	n. a.	23	26	23	24	24
Geraniol	n. a.	5	5	5	6	5
$\alpha$ -Terpineol	n. a.	8	9	8	8	6
Nerol	n. a.	2	1	2	2	2
Humulen	n. a.	8	10	7	8	7
Linalool	n. a.	8	7	8	7	5

Tabelle 72: Verkostungsergebnisse bei Dosage des gealterten Hopfens nach ursprünglichem  $\alpha$ -Gehalt

Datum:		frisch	frisch forciert	1 Monat original $\alpha$	1 Monat original $\alpha$ forciert	3 Monate original $\alpha$	3 Monate original $\alpha$ forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	2,4	1,8	2,5	2,1	3,2	1,5
	Geruch Qualität	4,8	4,3	4,7	3,9	4,5	4,1
Trunk	Trunk Intensität	2,6	1,8	2,2	1,9	2,8	1,8
	Trunk Qualität	4,7	4,3	4,2	4,5	5,0	4,7
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,3	0,4	0,8	0,6	1,2	0,5
	blumig	0,8	0,4	1,1	0,3	1,1	0,3
	citrus	0,2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3
	grün-grasig	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7
	hopfenwürzig	1,1	1,2	0,9	1,4	1,3	0,9
	sonstige	0,2	0,3	1,1	0,8	0,6	0,3
Trunk	fruchtig	0,5	0,3	1,0	0,6	0,9	0,5
	blumig	0,8	0,4	1,0	0,3	0,6	0,4
	citrus	0,0	0,4	0,5	0,5	0,5	0,2
	grün-grasig	1,4	1,1	1,3	0,9	1,2	1,0
	hopfenwürzig	1,7	1,6	1,9	1,8	2,1	1,7
	sonstige	0,0	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,6	5,3	4,4	4,3	5,0	4,9
	Antrunk	4,8	4,5	3,7	3,7	4,0	4,1
	Trunk	5,8	5,3	4,6	6,4	5,0	5,1
	Nachtrunk	6,3	6,0	4,9	4,8	5,4	5,1
	Harmonie	5,5	4,8	5,7	5,0	5,6	5,1
	geschätzte BE	23,6	22,1	21,3	20,3	22,2	21,4
Profil [%]	normal (harmonisch)	10	15	45	30	45	40
	kratzig	10	5	5	5	0	0
	hart	0	5	0	0	5	10
	harmonisch, langer Nachtrunk	40	35	40	30	25	35
	schwach	5	5	5	10	5	0
	hart und breit	20	20	5	5	5	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	15	15	0	20	15	15

Tabelle 73: Verkostungsergebnisse bei Dosage des gealterten Hopfens nach aktuellem  $\alpha$ -Gehalt

Datum:		frisch	frisch forciert	1 Monat aktuell $\alpha$	1 Monat aktuell $\alpha$ forciert	3 Monate aktuell $\alpha$	3 Monate aktuell $\alpha$ forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	2,4	1,8	2,6	1,6	1,8	1,6
	Geruch Qualität	4,8	4,3	4,8	3,9	3,5	3,9
Trunk	Trunk Intensität	2,6	1,8	2,5	2,0	2,4	1,7
	Trunk Qualität	4,7	4,3	4,7	4,1	4,3	4,1
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,3	0,4	0,5	0,2	0,5	0,3
	blumig	0,8	0,4	0,7	0,1	0,4	0,3
	citrus	0,2	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4
	grün-grasig	0,6	0,6	1,1	0,9	0,9	0,8
	hopfenwürzig	1,1	1,2	1,2	1,3	0,9	1,5
	sonstige	0,2	0,3	0,3	0,1	1,0	0,1
Trunk	fruchtig	0,5	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3
	blumig	0,8	0,4	0,5	0,3	0,3	0,6
	citrus	0,0	0,4	0,5	0,6	0,3	0,3
	grün-grasig	1,4	1,1	1,3	1,0	1,8	1,3
	hopfenwürzig	1,7	1,6	1,8	1,7	1,7	2,1
	sonstige	0,0	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,6	5,3	5,4	5,0	6,0	5,5
	Antrunk	4,8	4,5	4,6	4,0	5,0	4,7
	Trunk	5,8	5,3	5,5	5,2	5,8	5,5
	Nachtrunk	6,3	6,0	5,7	5,5	6,8	6,2
	Harmonie	5,5	4,8	5,9	4,4	4,3	4,3
	geschätzte BE	23,6	22,1	23,7	22,6	26,5	25,5
Profil [%]	normal (harmonisch)	10	15	30	38	15	10
	kratzig	10	5	10	14	15	5
	hart	0	5	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	40	35	35	24	30	35
	schwach	5	5	0	5	0	0
	hart und breit	20	20	10	5	20	20
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	15	15	15	14	20	30

Tabelle 74: Verkostungsergebnisse der HSR-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung

Datum:		HSR 1 8 °C	HSR 1 12 °C	HSR 2 8 °C	HSR 2 12 °C	HSR 3 8 °C	HSR 3 12 °C
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	4,1	4,0	4,6	5,3	5,8	6,8
	Geruch Qualität	5,7	6,0	6,2	6,5	7,2	7,1
Trunk	Trunk Intensität	4,2	4,1	4,5	4,8	5,8	5,9
	Trunk Qualität	5,8	5,7	5,8	6,1	7,5	6,7
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	2,9	2,5	2,6	2,7	3,9	4,3
	blumig	1,9	1,8	2,7	3,1	3,8	4,4
	citrus	1,2	0,9	0,8	1,3	1,6	1,6
	grün-grasig	0,7	0,6	1,1	1,9	0,8	1,3
	hopfenwürzig	0,7	1,0	0,9	1,1	1,6	1,7
	sonstige	0,0	0,0	0,6	0,0	0,2	0,0
Trunk	fruchtig	1,8	2,1	1,8	2,4	3,2	3,4
	blumig	2,1	2,0	2,2	2,9	2,7	3,6
	citrus	0,8	1,5	0,8	1,3	1,3	1,7
	grün-grasig	0,7	0,6	1,3	1,9	0,6	1,3
	hopfenwürzig	1,2	0,9	1,8	1,3	1,9	1,3
	sonstige	0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	2,7	2,5	3,1	3,0	3,7	3,3
	Antrunk	1,7	1,6	2,1	1,7	2,6	2,3
	Trunk	2,5	2,3	2,8	2,6	3,4	2,9
	Nachtrunk	2,1	1,8	2,4	2,3	2,7	2,1
	Harmonie	5,8	5,9	6,0	5,9	7,2	6,6
	geschätzte BE	6,5	7,2	7,0	7,9	7,9	8,6
Profil [%]	normal (harmonisch)	44	40	50	47	78	53
	kratzig	6	0	0	0	0	0
	hart	0	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	6	7	0	13	0	7
	schwach	39	53	44	40	17	40
	hart und breit	0	0	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	6	0	6	0	6	0

Tabelle 75: Verkostungsergebnisse der HTU-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung

Datum:		HTU 1 8 °C	HTU 1 12 °C	HTU 2 8 °C	HTU 2 12 °C	HTU 3 8 °C	HTU 3 12 °C
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,6	4,8	4,4	5,5	6,0	6,7
	Geruch Qualität	5,9	6,5	6,1	7,0	7,5	7,3
Trunk	Trunk Intensität	3,3	4,2	4,3	5,3	6,0	5,9
	Trunk Qualität	6,1	6,1	5,9	7,0	6,8	6,6
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	1,3	1,8	2,1	2,8	2,8	2,4
	blumig	1,9	2,7	2,5	2,5	3,6	4,1
	citrus	0,4	1,3	1,6	2,1	2,6	2,2
	grün-grasig	0,5	0,5	0,8	1,4	1,2	1,1
	hopfenwürzig	1,6	1,6	1,4	0,8	1,8	2,8
	sonstige	0,7	0,1	0,0	0,4	0,0	0,6
Trunk	fruchtig	1,8	1,3	2,1	1,9	2,8	1,4
	blumig	1,8	2,4	1,9	2,4	3,1	2,8
	citrus	0,4	1,5	1,0	2,0	2,2	1,9
	grün-grasig	0,6	0,8	0,7	1,9	1,6	0,5
	hopfenwürzig	1,2	1,8	1,4	1,6	2,5	1,9
	sonstige	0,5	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	2,3	3,4	2,8	3,8	3,5	4,7
	Antrunk	2,0	2,5	2,1	3,0	2,8	3,5
	Trunk	2,6	3,3	2,9	3,6	3,5	4,4
	Nachtrunk	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	4,5
	Harmonie	6,4	6,2	6,2	6,8	6,7	6,2
	geschätzte BE	5,7	6,9	6,9	7,9	8,2	8,4
Profil [%]	normal (harmonisch)	57	54	64	69	69	62
	kratzig	0	0	0	0	0	0
	hart	7	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	0	8	7	0	23	8
	schwach	36	38	29	31	8	23
	hart und breit	0	0	0	0	0	8
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	0	0	0	0	0

Tabelle 76: Verkostungsergebnisse der SSP-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung

Datum:		SSP 1 8 °C	SSP 1 12 °C	SSP 2 8 °C	SSP 2 12 °C	SSP 3 8 °C	SSP 3 12 °C
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,4	4,4	5,2	4,6	6,6	7,0
	Geruch Qualität	5,5	6,1	5,9	5,8	7,4	8,3
Trunk	Trunk Intensität	3,3	4,6	5,0	5,2	6,1	7,0
	Trunk Qualität	4,8	6,4	5,2	6,0	6,1	8,2
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	1,7	2,1	2,9	2,8	4,5	4,2
	blumig	1,6	2,5	2,7	2,4	3,8	4,6
	citrus	1,0	1,1	1,3	0,6	2,9	1,9
	grün-grasig	1,5	0,9	1,3	1,1	1,2	1,8
	hopfenwürzig	1,4	2,4	2,5	2,7	3,0	3,6
	sonstige	0,9	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	2,1	1,8	2,6	2,9	3,8	3,8
	blumig	1,5	1,4	1,7	2,3	3,2	3,8
	citrus	1,1	1,0	0,8	0,7	2,1	1,8
	grün-grasig	1,3	1,1	1,6	1,3	1,5	2,4
	hopfenwürzig	1,6	2,8	2,2	2,6	2,9	3,4
	sonstige	0,9	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	2,4	3,2	3,1	3,3	4,4	4,4
	Antrunk	2,1	2,3	2,6	2,4	3,5	3,3
	Trunk	2,8	3,2	2,9	3,4	3,9	4,3
	Nachtrunk	1,8	2,4	2,9	2,4	4,0	3,7
	Harmonie	5,0	6,1	5,8	5,5	6,4	7,2
	geschätzte BE	7,0	7,3	8,3	8,1	10,1	10,0
Profil [%]	normal (harmonisch)	38	56	56	56	53	81
	kratzig	0	0	0	0	0	0
	hart	0	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	6	6	6	0	24	6
	schwach	56	38	38	44	24	13
	hart und breit	0	0	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	0	0	0	0	0

Tabelle 77: Verkostungsergebnisse der HOL-Biere bei 100 % Whirlpoolhopfung

Datum:		HOL 1 8 °C	HOL 1 12 °C	HOL 2 8 °C	HOL 2 12 °C	HOL 3 8 °C	HOL 3 12 °C
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,8	3,9	5,5	5,7	7,0	6,5
	Geruch Qualität	5,1	6,0	6,4	7,1	7,5	7,3
Trunk	Trunk Intensität	3,8	3,5	4,8	4,9	6,7	5,7
	Trunk Qualität	4,8	5,4	6,0	6,2	7,4	6,9
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	2,4	2,3	2,8	2,9	3,9	4,2
	blumig	1,9	1,7	3,3	2,6	4,1	3,1
	citrus	1,5	0,9	1,9	1,9	3,8	3,6
	grün-grasig	0,8	0,9	1,2	0,9	1,2	1,5
	hopfenwürzig	1,6	1,3	2,1	1,2	2,1	1,8
	sonstige	0,4	0,7	0,1	0,3	0,1	0,1
Trunk	fruchtig	2,3	1,9	2,7	2,3	3,6	3,8
	blumig	1,8	1,1	2,8	2,2	3,7	3,4
	citrus	0,8	0,5	1,8	1,1	3,1	2,3
	grün-grasig	0,9	0,7	1,1	0,8	1,3	1,1
	hopfenwürzig	1,8	1,3	1,9	1,6	2,4	1,6
	sonstige	0,5	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	2,4	2,4	2,9	2,7	3,9	3,5
	Antrunk	2,0	1,8	2,4	2,1	3,0	2,7
	Trunk	2,5	2,5	3,0	3,1	3,9	3,4
	Nachtrunk	2,1	2,3	2,4	2,7	3,3	3,3
	Harmonie	5,4	5,9	6,3	6,1	6,4	6,9
	geschätzte BE	7,6	5,8	9,8	7,5	11,9	8,2
Profil [%]	normal (harmonisch)	7	67	7	80	11	80
	kratzig	14	0	15	0	15	0
	hart	16	0	16	0	14	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	13	0	11	7	12	0
	schwach	9	27	9	13	9	20
	hart und breit	34	7	32	0	28	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	8	0	10	0	11	0

Tabelle 78: Verkostungsergebnisse bei Variation des Hopfendosagezeitpunktes

Datum:		Kochanfang	Kochanfang forciert	Kochmitte	Kochmitte forciert	Whirlpool	Whirlpool forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,3	2,8	3,6	2,6	5,8	4,3
	Geruch Qualität	4,9	4,0	5,4	4,6	7,5	6,5
Trunk	Trunk Intensität	3,6	3,0	3,7	2,6	4,9	4,3
	Trunk Qualität	5,3	4,2	4,9	4,3	6,5	5,5
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,7	0,2	1,7	0,9	3,9	2,7
	blumig	1,3	0,4	1,7	0,6	4,4	2,9
	citrus	0,3	0,2	0,3	0,4	3,4	2,4
	grün-grasig	0,7	0,7	1,0	1,2	4,1	1,2
	hopfenwürzig	1,5	1,7	1,9	1,5	1,2	1,1
	sonstige	0,4	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1
Trunk	fruchtig	0,3	0,3	1,2	0,9	3,3	2,4
	blumig	0,8	0,6	0,8	0,8	3,4	2,4
	citrus	0,2	0,2	0,3	0,6	2,8	1,9
	grün-grasig	1,2	1,4	1,6	1,6	1,0	1,8
	hopfenwürzig	2,9	2,6	2,6	2,3	1,4	1,5
	sonstige	0,4	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,4	5,4	4,8	4,5	4,0	4,1
	Antrunk	4,3	4,4	4,0	3,8	3,1	3,6
	Trunk	5,5	5,4	4,8	4,7	4,2	4,3
	Nachtrunk	5,9	5,9	4,8	5,1	3,8	4,2
	Harmonie	5,9	4,5	6,0	5,3	7,0	6,1
	geschätzte BE	21,5	21,6	19,7	19,5	16,2	15,8
Profil [%]	normal (harmonisch)	23	18	50	32	86	59
	kratzig	5	18	5	5	5	5
	hart	0	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	45	36	14	36	5	27
	schwach	0	0	9	9	5	5
	hart und breit	14	14	5	0	0	5
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	14	14	18	18	0	0

Tabelle 79: Ölspektrum der verwendeten Hopfen (Kohlenwasserstofffraktion)

[mg/100g lfr.]	HTU	HHT	TTE	HSR	HTU X
<b>1. Kohlenwasserstofffraktion</b>					
	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2
$\alpha$ -Pinen	1,0	0,3	0,3	0,3	4,0
$\beta$ -Pinen	12,1	3,2	2,6	4,4	54,4
Myrcen	707,6	248,0	1332,3	273,3	3494,9
Limonen	0,5	0,2	0,2	0,3	2,4
$\gamma$ -Terpinen	Sp.	Sp.	Sp.	0,1	0,5
$\beta$ -Ocimen	0,4	0,2	Sp.	0,3	1,4
$\alpha$ -Cubeben	0,5	0,2	0,1	0,2	2,8
$\alpha$ -Ylangen	0,6	0,4	0,2	0,3	3,0
$\alpha$ -Copaen	2,4	1,6	0,8	1,4	12,0
$\alpha$ -Gurjunen	Sp.	Sp.	Sp.	1,2	Sp.
Calaren	5,8	3,0	1,5	3,5	35,1
$\beta$ -Caryophyllen	84,0	60,7	27,8	68,0	477,9
Aromadendren	0,4	0,1	0,1	5,1	3,9
$\alpha$ -Guajen	Sp.	Sp.	Sp.	0,3	Sp.
$\gamma$ -Elemenen	0,1	Sp.	Sp.	0,5	Sp.
Alloaromadendren	Sp.	Sp.	Sp.	0,3	Sp.
$\alpha$ -Humulen	245,4	197,2	89,9	152,9	1372,8
Farnesen	2,4	2,1	50,2	4,3	14,0
$\gamma$ -Muurolen	7,3	5,1	2,5	5,2	40,8
Viridifloren	Sp.	Sp.	Sp.	2,9	1,8
Germacren D	6,3	1,2	0,4	Sp.	31,3
$\beta$ -Selinen	68,9	3,4	1,3	13,9	356,5
$\alpha$ -Selinen	74,5	4,6	1,9	16,6	389,6
$\gamma$ + $\delta$ - Cadinen	2Sp.	13,4	6,4	12,1	113,5
Selina-(4,7)+(3,7)-dien	0,8	0,4	0,1	28,3	21,8
$\alpha$ -Cadinen	1,5	1,0	0,5	0,8	8,6
Germacren B	0,2	Sp.	Sp.	5,1	4,1

**Tabelle 80: Ölspektrum verwendeter Hopfen (Sauerstofffraktion)**

[mg/100g lfr.]	HTU	HHT	TTE	HSR	HTU X
Isobutylisobutytrat	6,0	3,5	0,1	1,2	27,9
Methylhexanoat	0,2	Sp.	Sp.	Sp.	0,3
Isoamylpropanoat	2,2	1,5	Sp.	0,4	13,6
Isoamyl-3-Methylpropanoat	1,3	0,8	Sp.	0,2	6,1
Isoamyl-2-Methylpropanoat	31,2	11,8	0,5	4,4	13Sp.
t-2-Hexen-1-al	0,4	0,5	0,7	0,6	Sp.
2-Oktanon	0,2	Sp.	Sp.	Sp.	0,5
Methylheptanoat	1,1	0,6	0,2	0,6	20,6
n-Butyl-Isovalerianat	Sp.	0,1	Sp.	0,1	0,4
Methyl-6-Methylheptanoat	2,2	1,3	0,4	0,7	14,7
2-Nonanon	5,0	0,5	1,0	2,1	19,1
Methyloctanoat	1,5	0,5	Sp.	0,2	34,7
Octyl-Isobutanoat	Sp.	0,5	Sp.	Sp.	Sp.
Linalool	16,5	8,0	3,7	8,0	62,6
Isopulegol	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Methyldecanoat + 2-Undecanon	12,1	4,8	4,8	14,6	56,5
Methyl-deca-4-enoat	6,5	Sp.	1,7	2,7	51,0
Methyl-4,7-decadienoat	1,1	0,6	0,3	0,6	9,2
Methyl-4,8-decadienoat	6,3	2,3	0,8	1,4	63,0
Methyl-Ethyl-Geraniat	1Sp.	0,9	1,1	2,8	36,4
2-Dodecanon	1,2	0,8	0,8	3,3	7,0
Geranylacetat	0,2	Sp.	Sp.	Sp.	0,9
2-Tridecanon	5,4	2,3	2,7	8,1	32,3
Methyl-Dodecenoat	0,2	0,2	Sp.	0,3	2,2
Tridecen-2-on	0,5	0,2	0,5	0,4	2,5
Geraniol	3,0	0,9	1,5	1,8	20,9
Methyl-Dodecadienoat	2,7	0,9	0,5	0,5	18,3
Tetradecan-2-on	0,6	0,4	0,4	1,2	3,9
Tetradecen-2-on	0,9	0,3	0,5	0,6	4,9
Caryophyllenoxid	4,0	1,2	1,9	4,8	20,7
Humulenepoxid I	1,8	0,9	0,4	1,5	7,1
2-Pentadecanon	0,8	0,3	1,3	1,5	4,8
Humulenepoxid II	11,8	4,9	7,6	11,2	52,2
Humulenepoxid III	1,0	0,5	0,6	1,6	5,1
epi-Cubenol	4,6	2,0	3,1	5,5	26,8
Pentadecadienon	0,4	0,1	0,1	0,1	1,8
Globulol	Sp.	Sp.	Sp.	0,4	Sp.
Viridiflorol	0,2	0,1	Sp.	0,1	1,2
epi- $\alpha$ -Cadinol	0,3	0,1	0,1	1,4	Sp.
Guajol	0,4	0,2	0,1	0,6	3,0
$\alpha$ -Eudesmol	0,7	0,1	Sp.	4,6	5,0
$\beta$ -Eudesmol	1,5	0,7	0,3	4,3	9,9
Selina-11-en-4-ol	7,3	0,3	0,2	2,3	35,9
Humulen-2-ol	2,6	2,1	2,5	2,1	9,4
Selina-7-en-4-ol	0,4	0,5	0,5	2,3	2,2
Farnesol	7,4	3,5	1,5	0,4	10,3

**Tabelle 81: Spektrum niedermolekularer Polyphenole [mg/kg] der verwendeten Hopfensorten**

Peakbezeichnung	HTU	HHT	TTE	HSR
Nr. 24 Procyanidin C Trimere a/b	90	419	449	382
Nr. 42 Prodelphinidin B Dimere	Sp.	224	158	Sp.
Nr. 45 Prodelphinidin B3 (GC/C)	Sp.	363	165	Sp.
Nr. 47 Proanthocyanidin	Sp.	40	Sp.	Sp.
Nr. 49 Prodelphinidin B Dimere (C/Gc)	Sp.	163	91	Sp.
Nr. 50 Protochatechusäure	Sp.	8	8	7
Nr. 60 Procyanidin C Trimere (C/C/C)	133	649	635	571
Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C) Dimere	197	1176	1251	959
Nr. 62 Kaffeoylchinasäure	156	584	498	425
Nr. 63 Procyanidin B1 (EC/C) Dimere	225	1035	1203	1036
Nr. 67 Procyanidin C Trimere	132	561	778	631
Nr. 70a Proanthocyanidin max 279nm	81	77	237	202
Nr. 70 Procyanidin B Dimere Dp.	496	313	295	390
Nr. 71 Catechin	148	1759	2014	1516
Nr. 79 Cumaroylchinasäure	5	16	17	5
Nr. 80 Cumaroylchinasäure	179	618	506	447
Nr. 81a Procyanidin B Dimere	0	213	216	195
Nr. 82 Procyanidin B2 ( Ec/Ec)	149	95	122	157
Nr. 88a Proanthocyanidin RT 14.8?	Sp.	91	125	101
Nr. 90 Chlorogensäure 5-O-Kaffeoylchinasäure	54	44	48	36
Nr. 100 Feruloylchinasäure	206	538	405	414
Nr. 104 Procyanidin C1(EC/EC/EC)	36	166	254	156
Nr. 130 Epicatechin	246	318	338	432
Nr. 140 Cumaroylchinasäure+Nr. 150	49	91	77	75
Nr. 165 Feruloylchinasäure	51	27	21	17
Nr. 170 p-Cumarsäure	22	28	18	25
Nr. 171 Feruloylchinasäure	29	51	33	41
Nr. 181 Quercetin-triglycosid	42	Sp.	10	Sp.
Nr. 182 Kämpferolflav. max 265/345nm	Sp.	17	19	14
Nr. 183 Flavanoid max 255/355nm	26	40	17	22
Nr. 192 Quercetin-triglycosid	66	89	35	103
Nr. 200 Quercetin-diglycosid	54	120	30	189
Nr. 201 Flavanoid max 265/350nm	17	24	0	0
Nr. 210 Kämpferolflav. max 265/345nm	37	37	0	66
Nr. 220 Quercetinflav. max 258/352nm	89	199	86	244
Nr. 221a Kämpferol-diglycosid	32	91	0	149
Nr. 230/31 Q-3-glucosid/rutinosid	708	813	1086	1000
Nr. 241 Quercetin-malonylhexosid	701	1644	2319	1679
Nr. 242 Quercetin-malonylhexosid	41	92	98	74
Nr. 250 Kämpferol-triglycosid	40	145	52	222
Nr. 270 Kämpferol-3-glucosid	125	281	315	369
Nr. 280 Kämpferol-3-rhamnosid-glucosid	82	79	133	149
Nr. 281 Kämpferol-maronylhexosid	Sp.	17	12	Sp.
Nr. 289 Kämpferol-maronylhexosid	6	23	24	23
Nr. 290 Kämpferol-maronylhexosid	280	1269	1465	1497
Nr. 299 Quercetinflav. max 265/354nm	34	50	46	54

Tabelle 82: Bieraromastoffe Serie A (Weihenstephan)

Bieraromastoffe [ $\mu\text{g/l}$ ]	TAX / X	TAXPHT / HHT 50	TAPHT / HHT 100	TAXPSR / HSR 50	TAPSR / HSR 100	TAXPTE / TTE 50	TAPTE / TTE 100	TAPTU / HTU P
1-Hexanol	21	22	25	21	21	25	20	21
1-Heptanol	4,8	6,0	6,7	4,8	5,3	6,5	7,3	5,7
1-Octanol	11	13	11	11	10	11	10	11
1-Decanol	5,3	6,8	6,6	6,0	5,6	6,7	6,4	5,8
2-Phenylethanol	40784	37188	39053	36917	34853	36367	36347	40815
Essigsäure-Isobutylester	47	84	106	74	83	70	85	90
Essigsäure-Hexylester	5,0	9,1	11	6,7	7,2	7,5	10	6,8
Essigsäure-Heptylester	1,9	2,7	3,4	2,3	2,4	2,8	2,5	2,4
Essigsäure-Octylester	1,8	5,0	2,8	1,9	2,1	2,4	7,0	2,0
Essigsäure-Furfurylester	1,3	1,9	2,3	1,3	1,2	1,4	1,9	1,2
Essigsäure-2-Phenylethylester	768	1075	1215	962	1013	1059	1143	1122
Buttersäure-Ethylester	51	66	71	60	63	59	70	73
Hexansäure-Ethylester	148	167	151	150	153	182	153	151
Octansäure-Ethylester	252	323	312	284	285	325	304	297
Decansäure-Ethylester	29	31	34	30	45	33	35	46
Isovaleriansäure	1774	1275	1080	1531	1523	1781	1428	1398
Hexansäure	2302	2596	2205	2453	2455	3165	2408	2081
Octansäure	4915	6173	5804	5369	5338	6307	5801	5393
Nonansäure	8,8	14	15	20	33	13	17	9,4
Decansäure	602	629	643	477	741	634	654	767
Dodecansäure	40	72	68	51	96	95	97	78
$\alpha$ -Terpineol	9,0	12	14	11	13	11	17	13
Caryophyllen	8,5	12	2,8	1,5	2,0	4,1	18	3,0
Humulen	5,1	6,8	6,5	4,6	5,4	5,4	7,6	6,7
Geraniol	7,6	3,5	5	5,5	5,9	6,6	5,8	7,9
Damascenon	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Linalool	10	11	21	14	19	8,2	12	16
Nerol	6,1	9,3	11	5,1	5,6	3,8	10	4,3

Tabelle 83: Bieraromastoffe Serie A (St. Johann)

Bieraromastoffe [ $\mu\text{g/l}$ ]	HAX / X	HAXPHT / HHT 50	HAPHT / HHT 100	HAXPSR / HSR 50	HAPSR / HSR 100	HAXPTE / TTE 50	HAPTE / TTE 100	HAPTU / HTU P
1-Hexanol	15	21	16	23	19	19	22	20
1-Heptanol	6,0	4,6	4,1	5,3	4,3	4,3	4,9	4,7
1-Octanol	18	16	14	15	13	15	13	15
1-Decanol	11	11	8,6	12	9,0	9,1	9,4	10
2-Phenylethanol	26263	27736	29952	25422	25251	25902	25435	24143
Essigsäure-Isobutylester	47	27	52	24	35	36	33	35
Essigsäure-Hexylester	3,4	3,0	3,5	3,4	3,3	4,0	4,0	3,3
Essigsäure-Heptylester	1,0	0,9	1,3	0,9	1,0	1,2	1,5	1,4
Essigsäure-Octylester	1,5	1,0	2,9	0,9	2,0	1,1	1,3	3,0
Essigsäure-Furfurylester	1,6	2,1	1,2	2,4	1,0	1,5	1,9	1,7
Essigsäure-2-Phenylethylester	442	397	407	326	352	445	368	421
Buttersäure-Ethylester	106	70	100	67	84	77	74	77
Hexansäure-Ethylester	170	179	158	166	159	167	154	174
Octansäure-Ethylester	397	408	354	376	352	363	351	408
Decansäure-Ethylester	115	123	82	123	94	80	95	129
Isovaleriansäure	1107	1341	919	1456	1081	1269	1337	1393
Hexansäure	2016	2992	1960	2756	2349	2489	2604	2770
Octansäure	6758	7750	5876	6728	6330	6430	6390	7488
Nonansäure	15	21	20	37	44	17	21	18
Decansäure	1880	2238	1426	2045	1613	1428	1676	2164
Dodecansäure	117	178	151	150	189	138	161	154
$\alpha$ -Terpineol	13	12	10	13	17	11	16	10
Caryophyllen	3,0	n.a.	1,2	4,6	1,6	2,6	3,9	4,2
Humulen	7,0	8,5	7,1	9,3	8,3	6,5	7,1	7,6
Geraniol	5,9	5,8	5,7	8,4	7,0	8,5	4,3	7,0
Damascenon	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
Linalool	13	13	10	20	24	13	8,5	7,9
Nerol	6,7	8,6	4,1	9,7	5,9	11,9	10	9,3

Tabelle 84: Alterungsindikatoren Serie A (Weihenstephan)

		TAX / X	TAXPHT / HHT 50	TAPHT / HHT 100	TAXPSR / HSR 50	TAPSR / HSR 100	TAXPTE / TTE 50	TAPTE / TTE 100	TAPTU / HTU P
Alterungsindikatoren frisch in µg/l	2-Methylbutanal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	3-Methylbutanal	7,1	6,8	6,2	8,3	5,1	6,7	7,2	7,0
	2-Furfural	0	11	0	0	13	0	0	0
	Methylfurfural	7,9	4,4	4,6	5,2	6,9	5,2	8,0	5,8
	Benzaldehyd	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	1,3	Sp.
	2-Phenylethanal	8,2	7,4	8,5	6,7	6,3	7,0	1,8	7,8
	Bernsteinsäurediethylester	3,5	Sp.	2,9	3,4	2,4	4,3	1,5	4,1
	Nicotinsäureethylester	3,2	5,7	3,8	3,8	4,9	3,8	4,9	6,0
	Phenyllessigsäureethylester	1,3	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	0,5	1,6
	2-Acetylfuran	8,9	15	9,0	6,7	5,4	6,9	Sp.	6,4
	2-Propionylfuran	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	3,5	Sp.	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	24	26	23	24	28	24	25	26
	Summe der Wärmeindikatoren	24	36	23	24	41	24	25	26
	Summe der Sauerstoffindikatoren	15	14	15	15	11	14	10	78
Summe der Alterungskomponenten	61	71	56	55	72	55	45	122	
Alterungsindikatoren forciert in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	n. ausw.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	3-Methylbutanal	11	n. ausw.	6,3	10	6,3	8,5	11	7,0
	2-Furfural	154	n. ausw.	17	102	18	16	143	19
	Methylfurfural	4,6	n. ausw.	4,4	6,8	7,1	5,6	8,4	5,8
	Benzaldehyd	Sp.	n. ausw.	Sp.	1,0	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Phenylethanal	11	n. ausw.	8,6	9,5	8,0	8,0	12	7,9
	Bernsteinsäurediethylester	2,4	n. ausw.	3,0	2,8	2,9	2,6	2,2	2,3
	Nicotinsäureethylester	18	n. ausw.	3,3	14	7,9	3,5	17	4,5
	Phenyllessigsäureethylester	1,0	n. ausw.	1,5	0,8	Sp.	1,1	1,0	0,9
	2-Acetylfuran	8,5	n. ausw.	11	7,5	6,8	9,1	9,0	7,4
	2-Propionylfuran	Sp.	n. ausw.	Sp.	2,3	3,4	Sp.	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	37	n. ausw.	24	37	29	29	38	31
	Summe der Wärmeindikatoren	191	n. ausw.	42	139	48	44	180	50
	Summe der Sauerstoffindikatoren	22	n. ausw.	15	20	14	17	23	15
Summe der Alterungskomponenten	90	n. ausw.	76	87	82	79	129	81	

Tabelle 85: Alterungsindikatoren Serie A (St. Johann)

		HAX / X	HAXPHT / HHT 50	HAPHT / HHT 100	HAXPSR / HSR 50	HAPSR / HSR 100	HAXPTE / TTE 50	HAPTE / TTE 100	HAPTU / HTU P
Alterungsindikatoren frisch in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	Sp.	Sp.	n. ausw.	Sp.	Sp.	13	Sp.
	3-Methylbutanal	6,8	5,7	3,5	n. ausw.	4,4	4,6	3,0	7,3
	2-Furfural	0	0	10	n. ausw.	8,8	0	0	0
	Methylfurfural	7,5	4,4	4,4	n. ausw.	6,7	4,1	6,9	6,1
	Benzaldehyd	0,7	0,8	0,6	n. ausw.	0,5	0,6	Sp.	1,5
	2-Phenylethanal	7,3	5,4	5,1	n. ausw.	6,6	5,4	6,2	10
	Bernsteinsäurediethylester	3,6	2,0	1,8	n. ausw.	3,3	1,7	Sp.	3,2
	Nicotinsäureethylester	10	4,8	7,3	n. ausw.	10,7	11	6,2	14
	Phenyllessigsäureethylester	1,6	0,9	0,8	n. ausw.	1,3	0,8	1,2	1,3
	2-Acetylfuran	Sp.	Sp.	Sp.	n. ausw.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Propionylfuran	Sp.	Sp.	1,5	n. ausw.	3,8	Sp.	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	4,2	1,9	3,5	n. ausw.	3,6	3,4	27	3,2
	Summe der Wärmeindikatoren	4	2	13	n. ausw.	12	3	27	3
	Summe der Sauerstoffindikatoren	15	12	9,2	n. ausw.	11	11	9	19
Summe der Alterungskomponenten	32	21	31	n. ausw.	39	21	44	33	
Alterungsindikatoren forciert in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	Sp.	16	11	16	Sp.	13	Sp.
	3-Methylbutanal	8,0	8,3	6,8	10	7,2	6,8	7,5	10
	2-Furfural	63	49	67	47	63	51	59	50
	Methylfurfural	4,7	6,6	4,7	6,1	7,1	5,7	7,5	5,1
	Benzaldehyd	1,2	Sp.	1,2	Sp.	1,3	Sp.	1,0	1,2
	2-Phenylethanal	10	10	9	12	10	10	9	11
	Bernsteinsäurediethylester	2,3	Sp.	Sp.	3,3	3,0	2,2	Sp.	Sp.
	Nicotinsäureethylester	19	17	11	13	14	14	16	15
	Phenyllessigsäureethylester	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,2	0,9	1,2
	2-Acetylfuran	6,2	5,6	4,7	8,3	4,9	7,4	5,1	5,8
	2-Propionylfuran	Sp.	Sp.	Sp.	3,2	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	34	33	27	32	29	33	31	28
	Summe der Wärmeindikatoren	97	82	94	79	92	84	90	78
	Summe der Sauerstoffindikatoren	19	18	17	22	18	17	18	23
Summe der Alterungskomponenten	130	114	122	123	127	117	122	113	

**Tabelle 86: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HHT, St. Johann**

Mittelwerte aller Verkoster		X		HHT 50		HHT 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HHT 50 frisch	HHT 50 forciert	HHT 100 frisch	HHT 100 forciert
		HAX frisch	HAX forciert	HAXPHT frisch	HAXPHT forciert	HAPHT frisch	HAPHT forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	4,0	3,1	3,8	2,0	3,5	2,0
	Geruch Qualität	4,3	4,5	6,9	5,5	5,3	5,5
Trunk	Trunk Intensität	3,9	3,8	4,8	3,1	4,0	3,3
	Trunk Qualität	4,5	4,4	6,9	5,4	6,3	4,6
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,4	0,6	2,0	0,6	1,9	1,1
	blumig	1,4	1,3	2,6	1,0	1,9	1,3
	citrus	0,1	0,0	1,5	0,8	0,5	0,8
	grün-grasig	1,8	0,8	0,3	0,6	0,6	0,6
	hopfenwürzig	1,3	2,0	1,5	1,4	1,4	1,3
	sonstige	0,8	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
Trunk	fruchtig	0,4	0,3	1,3	0,9	1,6	0,9
	blumig	1,0	1,0	2,1	1,3	1,1	0,8
	citrus	0,3	0,1	1,4	0,5	0,6	0,6
	grün-grasig	2,1	1,3	1,0	0,9	1,0	1,0
	hopfenwürzig	1,8	2,5	2,4	1,8	2,8	2,4
	sonstige	0,6	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,3	4,8	4,9	5,1	5,0	4,6
	Antrunk	3,9	3,3	4,0	3,8	3,8	3,5
	Trunk	5,0	4,6	5,3	4,8	5,0	4,5
	Nachtrunk	5,9	5,3	4,6	5,1	5,0	5,1
	Harmonie	5,4	4,5	7,4	5,0	5,8	4,6
	gesch. BE	21,5	21,1	18,1	18,6	19,0	20,4
Profil [%]	normal (harmonisch)	25	13	75	38	63	0
	kratzig	0	0	0	13	0	0
	hart	13	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	0	50	13	25	25	38
	schwach	0	0	13	13	0	13
	hart und breit	13	13	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	50	25	0	13	13	50

Tabelle 87: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HSR, St. Johann

Mittelwerte aller Verkoster							
		X		HSR 50		HSR 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HSR 50 frisch	HSR 50 forciert	HSR 100 frisch	HSR 100 forciert
		HAX frisch	HAX forciert	HAXPSR frisch	HAXPSR forciert	HAPSR frisch	HAPSR forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	4,0	3,1	4,0	2,4	5,0	3,7
	Geruch Qualität	4,3	4,5	6,6	5,1	7,1	6,4
Trunk	Trunk Intensität	3,9	3,8	4,7	3,4	5,3	4,9
	Trunk Qualität	4,5	4,4	7,0	5,7	7,1	6,3
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,4	0,6	1,7	0,9	1,4	1,0
	blumig	1,4	1,3	2,4	0,7	1,9	1,1
	citrus	0,1	0,0	0,9	0,3	1,6	0,3
	grün-grasig	1,8	0,8	1,0	0,9	1,6	0,9
	hopfenwürzig	1,3	2,0	2,1	1,1	4,1	3,1
	sonstige	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,4	0,3	1,3	1,1	1,4	1,4
	blumig	1,0	1,0	2,0	0,7	2,1	1,1
	citrus	0,3	0,1	0,4	0,0	1,3	0,6
	grün-grasig	2,1	1,3	1,7	1,1	1,6	1,6
	hopfenwürzig	1,8	2,5	3,6	2,7	4,7	3,9
	sonstige	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,3	4,8	4,9	4,9	5,3	5,1
	Antrunk	3,9	3,3	4,0	4,0	4,0	4,1
	Trunk	5,0	4,6	5,0	4,6	5,1	4,9
	Nachtrunk	5,9	5,3	4,3	5,3	5,1	4,6
	Harmonie	5,4	4,5	7,1	6,3	7,9	5,9
	gesch. BE	21,5	21,1	22,7	25,0	24,7	22,2
Profil [%]	normal (harmonisch)	25	13	100	29	86	57
	kratzig	0	0	0	0	0	0
	hart	13	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	0	50	0	29	14	43
	schwach	0	0	0	14	0	0
	hart und breit	13	13	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	50	25	0	29	0	0

Tabelle 88: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte TTE, St. Johann

Mittelwerte aller Verkoster							
		X		TTE 50		TTE 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	TTE 50 frisch	TTE 50 forciert	TTE 100 frisch	TTE 100 forciert
		HAX frisch	HAX forciert	HAXPTE frisch	HAXPTE forciert	HAPTE frisch	HAPTE forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	4,0	3,1	4,3	3,0	4,5	2,5
	Geruch Qualität	4,3	4,5	6,5	5,3	6,5	5,0
Trunk	Trunk Intensität	3,9	3,8	4,0	4,0	4,6	3,9
	Trunk Qualität	4,5	4,4	6,4	5,8	6,1	5,0
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	0,4	0,6	1,1	0,6	1,9	0,1
	blumig	1,4	1,3	1,3	0,6	1,6	0,1
	citrus	0,1	0,0	0,4	0,4	1,4	0,4
	grün-grasig	1,8	0,8	0,9	0,3	1,5	0,4
	hopfenwürzig	1,3	2,0	2,8	2,1	2,4	2,0
	sonstige	0,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Trunk	fruchtig	0,4	0,3	1,0	0,4	1,4	0,6
	blumig	1,0	1,0	1,5	1,0	1,4	0,5
	citrus	0,3	0,1	0,6	0,4	0,9	0,3
	grün-grasig	2,1	1,3	1,0	0,4	2,4	0,8
	hopfenwürzig	1,8	2,5	2,6	2,3	3,0	2,8
	sonstige	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	5,3	4,8	4,9	4,7	4,6	4,6
	Antrunk	3,9	3,3	4,0	3,9	4,4	4,0
	Trunk	5,0	4,6	4,9	4,7	4,8	4,6
	Nachtrunk	5,9	5,3	5,4	5,3	5,0	5,3
	Harmonie	5,4	4,5	6,6	5,1	7,0	5,3
	gesch. BE	21,5	21,1	23,8	22,6	23,4	20,0
Profil [%]	normal (harmonisch)	25	13	50	14	75	25
	kratzig	0	0	0	14	0	0
	hart	13	0	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	0	50	25	14	25	38
	schwach	0	0	0	14	0	25
	hart und breit	13	13	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	50	25	25	43	0	13

**Tabelle 89: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HTU, St. Johann**

Mittelwerte aller Verkoster					
		X		HTU P	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HTU P frisch	HTU P forciert
		HAX frisch	HAX forciert	HAPTU frisch	HAPTU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	4,0	3,1	4,1	3,0
	Geruch Qualität	4,3	4,5	6,0	5,4
Trunk	Trunk Intensität	3,9	3,8	4,4	4,1
	Trunk Qualität	4,5	4,4	6,6	5,4
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	0,4	0,6	1,1	1,3
	blumig	1,4	1,3	1,9	1,1
	citrus	0,1	0,0	1,0	1,3
	grün-grasig	1,8	0,8	1,4	1,4
	hopfenwürzig	1,3	2,0	0,7	0,9
	sonstige	0,8	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,4	0,3	1,3	1,1
	blumig	1,0	1,0	1,6	0,9
	citrus	0,3	0,1	1,0	0,4
	grün-grasig	2,1	1,3	2,4	2,1
	hopfenwürzig	1,8	2,5	1,1	2,0
	sonstige	0,6	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,3	4,8	5,6	5,1
	Antrunk	3,9	3,3	4,1	4,0
	Trunk	5,0	4,6	5,6	4,7
	Nachtrunk	5,9	5,3	5,1	5,1
	Harmonie	5,4	4,5	7,1	5,9
	gesch. BE	21,5	21,1	19,7	20,3
Profil [%]	normal (harmonisch)	25	13	71	29
	kratzig	0	0	0	0
	hart	13	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	0	50	14	14
	schwach	0	0	0	14
	hart und breit	13	13	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	50	25	14	43

**Tabelle 90: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HHT, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster							
		X		HHT 50		HHT 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HHT 50 frisch	HHT 50 forciert	HHT 100 frisch	HHT 100 forciert
		TAX frisch	TAX forciert	TAXPHT frisch	TAXPHT forciert	TAPHT frisch	TAPHT forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,9	3,3	4,4	3,0	4,6	2,6
	Geruch Qualität	6,3	5,3	6,6	5,6	7,1	5,4
Trunk	Trunk Intensität	4,3	3,6	4,7	3,5	5,5	3,6
	Trunk Qualität	5,4	5,5	6,3	5,9	6,8	5,4
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	1,1	1,4	1,4	1,6	1,9	0,9
	blumig	1,9	1,4	2,1	1,6	2,6	0,6
	citrus	1,1	0,8	1,9	0,9	1,3	0,3
	grün-grasig	0,3	0,5	0,5	1,1	1,3	1,0
	hopfenwürzig	1,3	0,8	1,6	1,5	0,9	1,5
	sonstige	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,6	1,6	1,0	1,3	0,9	0,6
	blumig	1,4	0,8	1,8	1,4	1,5	0,0
	citrus	0,6	1,0	2,0	0,9	0,8	1,5
	grün-grasig	0,8	0,5	0,6	1,0	2,1	1,0
	hopfenwürzig	1,0	1,6	2,4	2,8	2,4	1,6
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	4,8	4,0	4,9	4,6	5,0	4,6
	Antrunk	4,0	3,1	4,0	3,5	3,6	3,5
	Trunk	5,0	3,9	5,0	4,5	5,3	4,6
	Nachtrunk	5,3	5,0	4,3	4,9	4,8	5,4
	Harmonie	5,8	5,3	6,9	5,9	7,4	5,1
	gesch. BE	19,0	18,6	19,9	18,0	19,5	20,3
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	38	75	38	75	38
	kratzig	0	0	0	13	13	0
	hart	0	13	0	0	13	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	13	50	0	25	0	50
	schwach	13	0	13	13	0	0
	hart und breit	0	0	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	25	0	13	13	0	13

**Tabelle 91: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HSR, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster							
		X		HSR 50		HSR 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HSR 50 frisch	HSR 50 forciert	HSR 100 frisch	HSR 100 forciert
		TAX frisch	TAX forciert	TAXPSR frisch	TAXPSR forciert	TAPSR frisch	TAPSR forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,9	3,3	4,9	2,0	5,0	3,1
	Geruch Qualität	6,3	5,3	7,0	5,9	7,0	6,0
Trunk	Trunk Intensität	4,3	3,6	5,7	3,8	4,9	3,4
	Trunk Qualität	5,4	5,5	7,0	6,3	6,9	5,7
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	1,1	1,4	3,4	1,7	2,1	1,3
	blumig	1,9	1,4	3,0	0,9	3,1	1,9
	citrus	1,1	0,8	0,4	0,4	1,0	0,4
	grün-grasig	0,3	0,5	0,6	0,7	1,1	0,4
	hopfenwürzig	1,3	0,8	1,7	1,1	2,4	1,6
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,6	1,6	2,7	2,3	2,1	1,4
	blumig	1,4	0,8	1,7	1,0	2,0	1,6
	citrus	0,6	1,0	0,1	0,9	0,1	0,3
	grün-grasig	0,8	0,5	1,3	1,3	1,3	0,7
	hopfenwürzig	1,0	1,6	2,4	2,3	4,1	2,7
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	4,8	4,0	4,4	4,3	5,0	4,4
	Antrunk	4,0	3,1	3,3	3,1	3,9	3,1
	Trunk	5,0	3,9	4,3	4,3	4,9	3,9
	Nachtrunk	5,3	5,0	3,9	4,3	4,4	4,6
	Harmonie	5,8	5,3	7,4	6,0	7,1	5,9
	gesch. BE	19,0	18,6	20,6	20,2	23,8	22,0
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	38	100	29	100	43
	kratzig	0	0	0	0	0	0
	hart	0	13	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	13	50	0	14	0	57
	schwach	13	0	0	29	0	0
	hart und breit	0	0	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	25	0	0	29	0	0

**Tabelle 92: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte TTE, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster							
		X		TTE 50		TTE 100	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	TTE 50 frisch	TTE 50 forciert	TTE 100 frisch	TTE 100 forciert
		TAX frisch	TAX forciert	TAXPTE frisch	TAXPTE forciert	TAPTE frisch	TAPTE forciert
<b>Hopfenaroma</b>							
Geruch	Geruch Intensität	3,9	3,3	4,4	2,6	5,3	1,8
	Geruch Qualität	6,3	5,3	6,4	5,5	5,9	5,0
Trunk	Trunk Intensität	4,3	3,6	3,9	3,8	5,0	2,9
	Trunk Qualität	5,4	5,5	5,9	5,0	5,8	4,9
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>							
Geruch	fruchtig	1,1	1,4	1,6	0,9	1,9	0,3
	blumig	1,9	1,4	1,1	0,9	1,3	0,1
	citrus	1,1	0,8	1,4	0,4	2,3	0,4
	grün-grasig	0,3	0,5	0,9	0,3	1,3	0,4
	hopfenwürzig	1,3	0,8	2,4	1,1	2,6	1,1
	sonstige	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,6	1,6	1,1	0,8	0,8	0,6
	blumig	1,4	0,8	1,4	1,0	1,1	0,4
	citrus	0,6	1,0	1,1	0,5	1,0	0,5
	grün-grasig	0,8	0,5	1,0	0,8	0,8	0,4
	hopfenwürzig	1,0	1,6	2,4	1,9	2,9	1,9
	sonstige	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>							
	Gesamtintensität	4,8	4,0	4,8	4,4	5,0	4,7
	Antrunk	4,0	3,1	3,5	3,4	4,4	3,9
	Trunk	5,0	3,9	4,8	4,6	5,4	5,0
	Nachtrunk	5,3	5,0	5,0	4,6	5,0	5,0
	Harmonie	5,8	5,3	6,9	5,4	6,8	5,4
	gesch. BE	19,0	18,6	23,3	22,0	22,4	21,9
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	38	63	50	88	38
	kratzig	0	0	0	0	0	0
	hart	0	13	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	13	50	0	0	0	13
	schwach	13	0	13	25	0	13
	hart und breit	0	0	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	25	0	25	25	13	38

**Tabelle 93: Verkostung (Hopfenaroma) Serie A, Sorte HTU, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster					
		X		HTU P	
		CO2-X frisch	CO2-X forciert	HTU P frisch	HTU P forciert
		TAX frisch	TAX forciert	TAPTU frisch	TAPTU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	3,9	3,3	5,1	3,4
	Geruch Qualität	6,3	5,3	6,9	5,4
Trunk	Trunk Intensität	4,3	3,6	5,0	3,4
	Trunk Qualität	5,4	5,5	6,7	5,7
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	1,1	1,4	1,6	0,6
	blumig	1,9	1,4	2,6	1,1
	citrus	1,1	0,8	1,4	0,7
	grün-grasig	0,3	0,5	1,7	1,9
	hopfenwürzig	1,3	0,8	2,3	1,4
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	0,6	1,6	1,0	0,7
	blumig	1,4	0,8	2,0	1,6
	citrus	0,6	1,0	1,3	1,1
	grün-grasig	0,8	0,5	1,6	1,9
	hopfenwürzig	1,0	1,6	2,0	1,7
sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	4,8	4,0	5,1	4,4
	Antrunk	4,0	3,1	3,9	3,1
	Trunk	5,0	3,9	4,6	4,3
	Nachtrunk	5,3	5,0	4,9	4,4
	Harmonie	5,8	5,3	6,7	5,6
	gesch. BE	19,0	18,6	18,6	18,4
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	38	57	29
	kratzig	0	0	0	0
	hart	0	13	0	14
	harmonisch, langer Nachtrunk	13	50	29	14
	schwach	13	0	14	14
	hart und breit	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	25	0	0	29

Tabelle 94: Bieraromastoffe Serie B

Bieraromastoffe [ $\mu\text{g/l}$ ]	HBXPHT / HHT KM	HBXPSR / HSR KM	HBXPTE / TTE KM	HBXPTU / HTU KM	TBXPHT / HHT KM	TBXPSR / HSR KM	TBXPTE / TTE KM	TBXPTU / HTU KM
1-Hexanol	14	24	15	20	26	22	22	17
1-Heptanol	4,1	6,0	3,2	4,6	6,2	5,3	5,4	4,8
1-Octanol	15	14	16	15	12	10	10	11
1-Decanol	9,1	10,2	7,8	9,4	7,9	6,1	4,5	4,6
2-Phenylethanol	26038	25216	28546	27699	39938	38938	40529	40847
Essigsäure-Isobutylester	45	28	41	31	74	70	106	85
Essigsäure-Hexylester	3,0	4,1	3,0	3,0	7,4	6,8	9,0	5,9
Essigsäure-Heptylester	0,8	1,0	0,7	0,9	2,5	2,7	2,7	2,1
Essigsäure-Octylester	0,6	1,6	1,3	0,7	7,6	3,2	1,9	1,7
Essigsäure-Furfurylester	1,5	1,2	1,0	1,1	1,8	1,8	2,5	0,9
Essigsäure-2-Phenylethylester	361	340	453	391	1122	936	1283	965
Buttersäure-Ethylester	105	77	91	77	61	56	75	64
Hexansäure-Ethylester	163	174	172	169	154	128	152	122
Octansäure-Ethylester	370	405	378	382	279	212	284	213
Decansäure-Ethylester	124	151	86	107	26	20	29	25
Isovaleriansäure	918	1356	1054	1268	1565	1622	1585	1248
Hexansäure	1901	2739	2293	2694	2385	1699	2172	1461
Octansäure	6632	7448	6731	7035	5360	3911	5130	3958
Nonansäure	20	50	13	13	16	28	15	14
Decansäure	2232	2632	1529	1865	512	373	492	411
Dodecansäure	158	251	171	166	60	25	56	31
$\alpha$ -Terpineol	7,6	24	15	16	20	19	10	9,0
Caryophyllen	1,6	1,9	0,9	4,4	8,1	8,7	5,9	1,2
Humulen	6,7	9,0	6,8	11	8,0	5,5	6,0	5,4
Geraniol	8,2	10,9	17,2	9,0	3,9	7,2	8,5	6,4
Damascenon	Sp.							
Linalool	23	78	25	15	27	48	25	23
Nerol	12	8,9	14	11	10	14	7,1	6,1

Tabelle 95: Alterungsindikatoren Serie B

		TBXPHT / HHT KM	TBXPSR / HSR KM	TBXPTE / TTE KM	TBXPTU / HTU KM	HBXPHT / HHT KM	HBXPSR / HSR KM	HBXPTE / TTE KM	HBXPTU / HTU KM
Alterungsindikatoren frisch in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	Sp.	Sp.	55	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	3-Methylbutanal	8,9	7,4	6,5	6,0	10	10	8,2	10
	2-Furfural	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	9,2	6,7	Sp.
	Methylfurfural	5,0	9,0	6,9	5,6	5,9	8,3	8,1	5,9
	Benzaldehyd	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	1,2	0,6	0,7	1,3
	2-Phenylethanal	6,0	5,9	6,2	6,8	2,7	9,0	6,5	3,1
	Bernsteinsäurediethylester	3,8	4,8	3,2	3,1	Sp.	5,3	3,5	2,9
	Nicotinsäureethylester	2,8	4,0	3,4	4,1	6,8	8,0	7,7	6,1
	Phenyllessigsäureethylester	0,7	0,8	1,0	0,8	0,5	1,2	1,2	0,7
	2-Acetylfuran	9,5	8,1	Sp.	4,2	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Propionylfuran	Sp.	2,5	Sp.	Sp.	Sp.	3,3	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	25	26	23	25	30	3,5	3,2	26
	Summe der Wärmeindikatoren	25	26	23	25	30	13	10	26
	Summe der Sauerstoffindikatoren	15	13	13	13	14	20	15	14
	Summe der Alterungskomponenten	59	64	46	52	49	50	38	50
Alterungsindikatoren forciert in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	16	14	15
	3-Methylbutanal	10	11	8,3	9,5	11	14	10	8,4
	2-Furfural	87	84	94	109	47	47	50	55
	Methylfurfural	5,6	7,7	8,6	6,1	6,2	7,9	7,2	5,2
	Benzaldehyd	1,1	1,0	1,7	1,0	Sp.	1,1	0,9	1,1
	2-Phenylethanal	5,2	7,3	7,4	7,1	11	12	11	10
	Bernsteinsäurediethylester	3,0	5,4	3,7	2,7	2,7	5,6	3,6	2,3
	Nicotinsäureethylester	11	8,2	15	14	14	13	13	20
	Phenyllessigsäureethylester	1,0	0,8	1,1	0,9	1,1	1,1	1,1	0,6
	2-Acetylfuran	Sp.	Sp.	Sp.	8,2	7,4	10,3	6,2	Sp.
	2-Propionylfuran	3,0	2,7	Sp.	Sp.	Sp.	2,3	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	31	34	37	42	32	33	37	33
	Summe der Wärmeindikatoren	118	118	131	151	79	80	87	88
	Summe der Sauerstoffindikatoren	16	19	17	18	21	27	22	20
	Summe der Alterungskomponenten	147	154	162	187	118	135	127	116

**Tabelle 96: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte HHT und HSR, St. Johann**

Mittelwerte aller Verkoster					
		HHT KM		HSR KM	
		TBXPHT frisch	TBXPHT forciert	HSR KM frisch	HSR KM forciert
		HBXPHT frisch	HBXPHT forciert	HBXPSR frisch	HBXPSR forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	4,5	2,8	4,5	2,4
	Geruch Qualität	6,8	5,2	6,2	4,8
Trunk	Trunk Intensität	4,0	3,2	5,4	2,4
	Trunk Qualität	6,5	4,8	5,6	4,6
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	1,7	0,0	1,8	0,4
	blumig	3,7	1,5	1,8	1,0
	citrus	1,7	1,0	1,3	0,0
	grün-grasig	1,0	0,7	1,8	1,8
	hopfenwürzig	0,7	0,8	2,0	1,0
	sonstige	0,2	0,3	0,8	0,8
Trunk	fruchtig	0,8	0,0	0,8	0,6
	blumig	3,3	0,5	1,2	0,4
	citrus	1,5	0,7	0,3	0,0
	grün-grasig	1,2	1,2	2,3	1,8
	hopfenwürzig	1,8	2,0	3,3	1,8
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,0	3,8	5,5	4,4
	Antrunk	4,5	3,2	4,3	3,6
	Trunk	5,5	4,0	5,3	4,8
	Nachtrunk	4,8	4,5	5,7	5,0
	Harmonie	6,8	5,5	6,2	4,8
	gesch. BE	19,0	18,8	20,5	20,8
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	17	33	0
	kratzig	0	0	0	0
	hart	17	17	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	17	50	33	60
	schwach	17	17	17	20
	hart und breit	0	0	17	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	0	0	20

Tabelle 97: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte TTE und HTU, St. Johann

Mittelwerte aller Verkoster					
		TTE KM		HTU KM	
		TTE KM frisch	TTE KM forciert	HTU KM frisch	HTU KM forciert
		HBXPTE frisch	HBXPTE forciert	HBXPTU frisch	HBXPTU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	3,9	2,6	2,8	1,8
	Geruch Qualität	5,4	4,3	6,0	5,6
Trunk	Trunk Intensität	4,4	2,9	2,8	2,2
	Trunk Qualität	5,5	4,1	5,2	5,0
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	1,3	1,1	1,4	1,4
	blumig	1,4	0,9	1,6	0,6
	citrus	0,6	0,6	0,6	0,8
	grün-grasig	1,9	1,5	0,4	0,0
	hopfenwürzig	2,6	1,9	1,2	0,4
	sonstige	0,0	0,0	0,6	0,0
Trunk	fruchtig	1,1	1,0	1,0	1,2
	blumig	1,0	1,0	0,6	0,6
	citrus	0,6	0,6	0,2	0,8
	grün-grasig	2,3	1,6	1,0	0,2
	hopfenwürzig	3,4	2,0	1,8	1,8
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,6	4,9	4,4	4,2
	Antrunk	4,1	3,5	3,5	3,3
	Trunk	5,6	4,9	5,5	4,5
	Nachtrunk	5,1	5,4	4,0	4,3
	Harmonie	6,0	4,0	6,3	4,8
	gesch. BE	21,8	20,4	17,2	17,5
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	25	60	20
	kratzig	0	13	0	0
	hart	0	0	0	20
	harmonisch, langer Nachtrunk	25	25	0	0
	schwach	0	13	20	20
	hart und breit	13	25	20	40
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	13	0	0	0

Tabelle 98: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte HHT und HSR, Weihenstephan

Mittelwerte aller Verkoster					
		HHT KM		HSR KM	
		HHT KM frisch	HHT KM forciert	HSR KM frisch	HSR KM forciert
		TBXPHT frisch	TBXPHT forciert	TBXPST frisch	TBXPST forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	5,0	3,3	5,3	4,0
	Geruch Qualität	7,3	4,7	6,8	5,0
Trunk	Trunk Intensität	4,7	4,2	5,3	4,5
	Trunk Qualität	6,0	4,8	7,5	5,8
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	2,0	0,7	1,8	1,0
	blumig	3,5	0,8	1,8	0,5
	citrus	3,2	1,2	2,5	1,0
	grün-grasig	1,0	1,2	2,7	2,0
	hopfenwürzig	2,8	1,2	3,3	2,3
	sonstige	0,0	0,8	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	1,0	0,0	1,8	1,0
	blumig	1,8	0,5	1,2	0,5
	citrus	2,5	1,0	1,5	1,5
	grün-grasig	2,3	1,7	2,3	2,2
	hopfenwürzig	2,5	2,2	3,7	2,7
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	4,8	4,2	5,5	5,5
	Antrunk	3,8	3,7	4,5	4,2
	Trunk	4,8	4,3	6,0	5,5
	Nachtrunk	5,2	5,0	6,0	6,5
	Harmonie	6,8	5,3	6,8	5,3
	gesch. BE	22,2	19,7	20,5	20,3
Profil [%]	normal (harmonisch)	67	50	67	33
	kratzig	0	0	0	17
	hart	0	0	17	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	17	17	17	17
	schwach	0	33	0	0
	hart und breit	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	17	0	0	33

**Tabelle 99: Verkostung (Hopfenaroma) Serie B, Sorte TTE und HTU, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster					
		TTE KM		HTU KM	
		TTE KM frisch	TTE KM forciert	HTU KM frisch	HTU KM forciert
		TBXPTE frisch	TBXPTE forciert	TBXPTU frisch	TBXPTU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	4,9	2,9	4,6	2,6
	Geruch Qualität	6,3	4,4	7,6	5,8
Trunk	Trunk Intensität	5,1	3,5	4,8	3,6
	Trunk Qualität	6,3	4,3	6,2	5,2
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	1,8	1,4	3,6	1,8
	blumig	2,8	1,8	1,4	0,8
	citrus	2,9	1,6	1,8	1,0
	grün-grasig	1,8	0,8	1,2	0,8
	hopfenwürzig	2,5	2,6	1,6	0,8
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	2,1	1,1	3,0	1,2
	blumig	2,5	2,1	2,2	0,4
	citrus	2,6	1,5	1,4	1,0
	grün-grasig	1,4	1,0	1,2	0,8
	hopfenwürzig	2,4	3,1	2,8	2,6
	sonstige	0,0	0,0	0,8	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,0	4,8	5,2	4,2
	Antrunk	4,4	3,9	3,4	3,0
	Trunk	4,8	4,8	5,0	3,8
	Nachtrunk	4,9	4,8	4,8	4,0
	Harmonie	6,4	5,6	7,2	5,6
	gesch. BE	20,6	21,1	19,6	18,2
Profil [%]	normal (harmonisch)	50	50	80	40
	kratzig	0	25	0	0
	hart	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	38	25	20	40
	schwach	0	0	0	20
	hart und breit	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	13	0	0	0

Tabelle 100: Bieraromastoffe Serie C

Bieraromastoffe [ $\mu\text{g/l}$ ]	HCXPHT / HHT KE	HCXPSR / HSR KE	HCXPTE / TTE KE	HCXPTU / HTU KE	TCXPHT / HHT KE	TCXPSR / HSR KE	TCXPTE / TTE KE	TCXPTU / HTU KE
1-Hexanol	20	23	20	19	24	23	25	26
1-Heptanol	7,8	9,5	4,6	7,3	6,0	5,2	4,6	6,9
1-Octanol	13	12	14	13	11	12	10	11
1-Decanol	11	11	12	8,9	7,2	7,2	6,9	6,4
2-Phenylethanol	24259	21034	23256	21387	35297	34824	39931	37273
Essigsäure-Isobutylester	29	23	27	29	62	76	80	63
Essigsäure-Hexylester	2,7	3,6	3,6	4,0	8,6	9,1	10	8,9
Essigsäure-Heptylester	1,0	1,3	1,1	1,4	3,1	3,0	3,5	3,5
Essigsäure-Octylester	0,8	1,1	0,7	0,8	5,1	2,7	6,9	3,0
Essigsäure-Furfurylester	1,8	1,6	1,3	1,3	1,8	1,3	2,5	1,3
Essigsäure-2-Phenylethylester	337	290	324	314	981	931	1120	854
Buttersäure-Ethylester	77	71	82	90	51	84	64	63
Hexansäure-Ethylester	162	177	180	175	145	175	137	127
Octansäure-Ethylester	374	410	418	374	262	308	246	234
Decansäure-Ethylester	125	152	150	128	22	35	20	20
Isovaleriansäure	991	1428	1261	1177	1522	1263	1580	1731
Hexansäure	2666	2920	2785	2536	2338	2557	1921	1882
Octansäure	6496	7000	7252	7017	4924	6165	4747	4391
Nonansäure	30	64	30	21	16	50	17	12
Decansäure	2101	2512	2667	2438	384	618	426	371
Dodecansäure	189	214	198	184	37	83	39	26
$\alpha$ -Terpineol	13	26	12	24	84	18	20	18
Caryophyllen	3,3	4,3	3,0	3,1	4,0	2,7	12	6,4
Humulen	6,2	7,7	7,1	7,8	5,8	6,6	5,7	5,5
Geraniol	6,2	10	7,7	8,3	7	7,9	5,8	7,8
Damascenon	Sp.							
Linalool	74	115	49	160	105	82	34	114
Nerol	5,6	9,0	12	9,4	8,3	8,5	11	13

Tabelle 101: Alterungsindikatoren Serie C

		TCXPHT / HHT KE	TCXPSR / HSR KE	TCXPTE / TTE KE	TCXPPTU / HTU KE	HCXPHT / HHT KE	HCXPSR / HSR KE	HCXPTE / TTE KE	HCXPPTU / HTU KE
Alterungsindikatoren frisch in µg/l	2-Methylbutanal	Sp.	13	35	19	Sp.	Sp.	12	10
	3-Methylbutanal	8,7	9,2	5,2	8,3	7,4	7,5	0	9,1
	2-Furfural	0	0	0	0	0	0	0	0
	Methylfurfural	6,3	7,7	7,9	8,2	5,2	8,8	7,9	6,2
	Benzaldehyd	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
	2-Phenylethanal	5,3	4,5	5,7	5,5	4,9	4,0	5,6	4,9
	Bernsteinsäurediethylester	3,0	6,7	3,7	5,3	3,1	8,0	3,0	6,0
	Nicotinsäureethylester	3,2	4,1	2,4	5,0	3,6	10	8,2	12
	Phenyllessigsäureethylester	1,2	1,2	1,0	1,0	1,1	Sp.	1,0	0,8
	2-Acetylfuran	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	19	12	Sp.	Sp.
	2-Propionylfuran	Sp.	2,5	2,1	Sp.	Sp.	2,2	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	26	24	26	27	28	31	16	21
	Summe der Wärmeindikatoren	26	24	26	27	28	31	16	21
	Summe der Sauerstoffindikatoren	14	14	11	14	12	11	6	14
Summe der Alterungskomponenten	50	56	51	56	68	73	33	48	
Alterungsindikatoren forciert in µg/l	2-Methylbutanal	n. ausw.	13	42	9,9	Sp.	n. ausw.	Sp.	12
	3-Methylbutanal	n. ausw.	12	15	4,4	12	n. ausw.	9	14
	2-Furfural	n. ausw.	90	70	33	39	n. ausw.	117	39
	Methylfurfural	n. ausw.	8,1	8,3	8,3	6,8	n. ausw.	6,4	7,2
	Benzaldehyd	n. ausw.	1,0	1,5	1,0	Sp.	n. ausw.	1,2	1,1
	2-Phenylethanal	n. ausw.	5,1	13	1,6	9,3	n. ausw.	11	8,3
	Bernsteinsäurediethylester	n. ausw.	6,3	4,6	5,6	3,9	n. ausw.	4,3	5,6
	Nicotinsäureethylester	n. ausw.	16	12	8,5	18	n. ausw.	13	10
	Phenyllessigsäureethylester	n. ausw.	1,4	1,3	0,6	0,9	n. ausw.	0,9	1,0
	2-Acetylfuran	n. ausw.	19	6,0	36	20	n. ausw.	8,9	Sp.
	2-Propionylfuran	n. ausw.	3,1	2,9	1,3	Sp.	n. ausw.	Sp.	Sp.
	γ-Nonalacton	n. ausw.	33	35	28	20	n. ausw.	39	15
	Summe der Wärmeindikatoren	n. ausw.	123	105	61	59	n. ausw.	156	55
	Summe der Sauerstoffindikatoren	n. ausw.	19	30	7	21	n. ausw.	21	23
Summe der Alterungskomponenten	n. ausw.	179	158	119	112	n. ausw.	197	92	

**Tabelle 102: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte HHT und HSR, St. Johann**

Mittelwerte aller Verkoster					
		HHT KE		HSR KE	
		HHT KE frisch	HHT KE forciert	HSR KE frisch	HSR KE forciert
		HCXPHT frisch	HCXPHT forciert	HCXPSR frisch	HCXPSR forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	5,1	3,0	4,1	2,7
	Geruch Qualität	6,4	5,5	6,3	5,6
Trunk	Trunk Intensität	5,0	3,5	6,0	4,9
	Trunk Qualität	6,4	5,2	6,7	5,1
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	2,4	1,8	1,1	0,9
	blumig	4,0	2,5	2,1	1,0
	citrus	2,3	2,3	1,0	0,7
	grün-grasig	1,3	0,5	1,4	1,0
	hopfenwürzig	3,6	1,0	3,6	2,6
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	2,3	1,3	1,0	0,9
	blumig	2,4	1,7	1,0	1,0
	citrus	2,1	1,7	0,9	0,7
	grün-grasig	1,4	1,3	3,0	2,4
	hopfenwürzig	4,0	3,0	4,6	3,9
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,3	4,7	5,7	5,1
	Antrunk	4,0	3,7	4,6	4,3
	Trunk	5,1	4,8	5,9	5,3
	Nachtrunk	5,4	4,7	5,4	5,0
	Harmonie	7,0	6,0	6,7	4,9
	gesch. BE	21,0	18,5	23,0	22,4
Profil [%]	normal (harmonisch)	57	33	43	43
	kratzig	0	0	0	14
	hart	0	17	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	29	33	57	14
	schwach	0	0	0	0
	hart und breit	14	17	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	0	0	29

**Tabelle 103: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte TTE und HTU, St. Johann**

Mittelwerte aller Verkoster					
		TTE KE		HTU KE	
		TTE KE frisch	TTE KE forciert	HTU KE frisch	HTU KE forciert
		HCXPTE frisch	HCXPTE forciert	HCXPTU frisch	HCXPTU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	5,6	3,7	6,2	4,8
	Geruch Qualität	7,3	5,4	7,3	5,8
Trunk	Trunk Intensität	5,6	3,9	6,5	5,8
	Trunk Qualität	6,7	5,1	6,5	5,5
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	2,4	1,3	2,5	0,8
	blumig	3,1	1,4	1,7	1,2
	citrus	3,0	1,9	4,0	1,3
	grün-grasig	1,9	1,3	3,8	3,2
	hopfenwürzig	2,1	2,6	2,0	2,3
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	2,0	0,9	1,7	1,0
	blumig	2,6	1,3	1,3	1,2
	citrus	3,0	2,0	3,3	1,8
	grün-grasig	2,4	1,7	3,3	2,8
	hopfenwürzig	2,1	1,4	3,2	3,8
	sonstige	0,0	1,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	5,9	5,6	5,7	5,5
	Antrunk	5,0	4,6	4,3	4,3
	Trunk	5,9	6,0	5,2	5,3
	Nachtrunk	5,7	6,4	5,8	6,0
	Harmonie	6,3	4,7	6,5	5,7
	gesch. BE	24,3	23,3	21,3	21,3
Profil [%]	normal (harmonisch)	57	14	33	33
	kratzig	0	14	0	0
	hart	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	29	29	17	17
	schwach	0	0	33	17
	hart und breit	14	14	17	17
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	29	0	17

**Tabelle 104: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte HHT und HSR, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster					
		HHT KE		HSR KE	
		HHT KE frisch	HHT KE forciert	HSR KE frisch	HSR KE forciert
		TCXPHT frisch	TCXPHT forciert	TCXPSR frisch	TCXPSR forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	5,9	3,3	5,6	3,9
	Geruch Qualität	7,3	5,9	8,0	5,9
Trunk	Trunk Intensität	5,1	3,0	5,3	4,4
	Trunk Qualität	7,1	5,3	7,3	5,9
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	5,0	2,4	2,4	1,7
	blumig	4,1	1,6	4,3	2,1
	citrus	2,9	0,9	3,3	0,9
	grün-grasig	0,4	0,7	1,3	1,9
	hopfenwürzig	2,0	0,9	2,3	2,4
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	4,0	2,6	2,1	1,0
	blumig	2,6	1,9	2,9	1,1
	citrus	1,9	0,3	3,0	0,4
	grün-grasig	0,7	1,6	1,6	2,4
	hopfenwürzig	2,4	1,6	3,1	3,9
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	4,6	4,7	4,4	4,6
	Antrunk	3,6	3,6	3,6	3,9
	Trunk	4,9	4,9	4,9	4,3
	Nachtrunk	4,3	4,7	4,6	4,7
	Harmonie	7,4	5,4	7,3	6,0
	gesch. BE	19,1	19,3	19,4	18,0
Profil [%]	normal (harmonisch)	71	29	71	43
	kratzig	0	0	0	0
	hart	0	0	0	14
	harmonisch, langer Nachtrunk	29	57	29	29
	schwach	0	14	0	0
	hart und breit	0	0	0	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	0	0	14

**Tabelle 105: Verkostung (Hopfenaroma) Serie C, Sorte TTE und HTU, Weihenstephan**

Mittelwerte aller Verkoster					
		TTE KE		HTU KE	
		TTE KE frisch	TTE KE forciert	HTU KE frisch	HTU KE forciert
		TCXPTE frisch	TCXPTE forciert	TCXPTEU frisch	TCXPTEU forciert
<b>Hopfenaroma</b>					
Geruch	Geruch Intensität	6,4	4,9	7,3	4,5
	Geruch Qualität	8,0	6,0	8,0	6,3
Trunk	Trunk Intensität	5,6	5,0	7,0	5,3
	Trunk Qualität	7,6	6,9	7,7	5,7
<b>Beschreibung des Hopfenaromas</b>					
Geruch	fruchtig	4,3	2,6	2,2	1,0
	blumig	3,9	1,7	2,8	1,7
	citrus	2,9	1,3	6,3	2,8
	grün-grasig	2,6	2,3	0,8	1,3
	hopfenwürzig	1,9	2,0	1,7	1,5
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
Trunk	fruchtig	3,9	3,0	2,0	0,8
	blumig	3,0	2,1	2,3	1,2
	citrus	3,0	2,7	6,0	3,5
	grün-grasig	3,0	2,6	1,8	2,8
	hopfenwürzig	2,9	1,6	2,0	2,5
	sonstige	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Wahrnehmung der Bittere</b>					
	Gesamtintensität	4,9	5,3	5,8	5,3
	Antrunk	4,4	4,3	5,0	4,7
	Trunk	5,4	5,0	5,8	5,3
	Nachtrunk	5,3	5,9	6,3	5,7
	Harmonie	7,4	5,0	7,0	6,0
	gesch. BE	21,4	22,5	23,5	21,8
Profil [%]	normal (harmonisch)	71	29	50	33
	kratzig	0	0	0	0
	hart	0	0	0	0
	harmonisch, langer Nachtrunk	29	14	33	50
	schwach	0	14	0	0
	hart und breit	0	0	17	0
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	0	43	0	17

Tabelle 106: DLG-Verkostung und Alterungsverkostung nach EICHORN (alle Serien, St. Johann)

			DLG-Verkostung					Alterungsverkostung n. EICHORN					
			Geruch	Trunk	Rezenz	Vollmundigkeit	Bittere	gew. Note	Geruch	Trunk	Bittere	Akzeptanz	gew. Note
HAX	CO2-X	frisch	4,4	4,3	4,3	4,1	4,1	4,3					
		forciert	3,9	3,7	4,2	4,2	3,6	3,8	1,4	1,6	1,6	74	1,5
HAXPHT	HHT 50	frisch	4,6	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5					
		forciert	3,6	3,6	4,3	4,1	3,8	3,7	1,8	1,8	1,4	69	1,7
HAPHT	HHT 100	frisch	4,2	4,3	4,4	4,3	4,4	4,2					
		forciert	3,6	3,6	4,3	4,3	3,9	3,8	1,7	1,8	1,6	68	1,7
HAXPSR	HSR 50	frisch	4,4	4,4	4,6	4,4	4,4	4,4					
		forciert	4,0	3,9	4,5	4,3	4,1	4,2	1,6	1,7	1,4	79	1,6
HAPSR	HSR 100	frisch	4,6	4,7	4,7	4,6	4,7	4,7					
		forciert	3,4	3,9	4,5	4,3	4,1	4,0	1,6	1,8	1,4	80	1,6
HAXPTE	TTE 50	frisch	4,5	4,2	4,4	4,3	4,3	4,3					
		forciert	3,6	3,6	4,1	4,1	3,9	3,9	1,8	1,9	1,6	68	1,8
HAPTE	TTE 100	frisch	4,4	4,4	4,3	4,3	4,4	4,4					
		forciert	3,4	3,6	4,2	4,1	3,8	3,7	2,1	2,0	1,6	63	2,0
HAPTU	HTU P	frisch	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5					
		forciert	3,9	3,6	4,3	4,3	3,9	3,9	1,6	1,8	1,6	70	1,7
HBXPHT	HHT KM	frisch	4,3	4,4	4,5	4,6	4,3	4,4					
		forciert	3,1	3,3	4,2	4,2	3,7	3,5	2,1	1,9	1,7	67	1,9
HBXPSR	HSR KM	frisch	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,1					
		forciert	3,8	3,6	4,3	4,2	3,8	3,7	1,6	1,7	1,4	78	1,6
HBXPTE	TTE KM	frisch	4,5	4,5	4,6	4,5	4,4	4,5					
		forciert	3,4	3,3	4,4	4,2	3,6	3,7	2,0	2,1	1,8	64	2,0
HBXPTE	HTU KM	frisch	4,6	4,2	4,6	4,4	4,2	4,4					
		forciert	3,5	3,3	4,5	4,3	3,6	3,7	1,8	2,1	1,6	58	1,9
HCXPHT	HHT KE	frisch	4,8	4,5	4,8	4,6	4,7	4,6					
		forciert	3,8	3,9	4,7	4,5	4,0	4,1	1,7	1,7	1,5	78	1,6
HCXPSR	HSR KE	frisch	4,5	4,7	4,6	4,7	4,5	4,7					
		forciert	3,7	4,0	4,3	4,4	4,0	4,0	1,8	1,6	1,5	74	1,7
HCXPTE	TTE KE	frisch	4,3	4,4	4,5	4,4	4,5	4,4					
		forciert	3,6	3,6	4,1	4,1	3,9	3,8	2,0	1,9	1,5	70	1,9
HCXPTE	HTU KE	frisch	4,4	4,1	4,7	4,6	4,4	4,4					
		forciert	3,8	3,9	4,4	4,5	4,1	4,1	1,6	1,4	1,2	86	1,4

Tabelle 107: DLG-Verkostung und Alterungsverkostung nach EICHORN (alle Serien, Weihenstephan)

			DLG-Verkostung					Alterungsverkostung n. EICHORN					
			Geruch	Trunk	Rezenz	Vollmundigkeit	Bittere	gew. Note	Geruch	Trunk	Bittere	Akzeptanz	gew. Note
TAX	CO2-X	frisch	4,4	4,3	4,4	4,3	4,3	4,3					
		forciert	3,6	3,6	4,3	4,3	4,0	3,9	1,6	1,7	1,3	75	1,6
TAXPHT	HHT 50	frisch	4,3	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2					
		forciert	3,8	3,9	4,2	4,2	3,9	3,9	1,6	1,5	1,6	75	1,5
TAPHT	HHT 100	frisch	4,4	4,5	4,5	4,3	4,4	4,3					
		forciert	3,7	3,8	4,4	4,2	4,0	3,9	1,7	1,7	1,5	68	1,7
TAXPSR	HSR 50	frisch	4,6	4,6	4,7	4,5	4,6	4,6					
		forciert	3,9	3,8	4,4	4,3	4,1	4,0	1,8	1,4	1,3	73	1,5
TAPSR	HSR 100	frisch	4,4	4,4	4,6	4,5	4,4	4,5					
		forciert	3,8	3,8	4,4	4,4	4,1	4,1	1,8	1,6	1,1	73	1,6
TAXPTE	TTE 50	frisch	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4					
		forciert	3,8	3,7	4,2	4,1	4,1	3,9	1,8	1,9	1,4	70	1,8
TAPTE	TTE 100	frisch	4,5	4,3	4,4	4,6	4,4	4,4					
		forciert	3,4	3,4	4,1	4,1	3,9	3,7	1,9	1,9	1,6	64	1,9
TAPTU	HTU P	frisch	4,5	4,5	4,4	4,5	4,4	4,6					
		forciert	3,7	3,9	4,2	4,3	3,9	4,0	1,7	1,6	1,4	76	1,6
TBXPHT	HHT KM	frisch	4,6	4,3	4,5	4,5	4,3	4,4					
		forciert	3,6	3,7	4,3	4,3	3,5	3,8	1,8	1,6	1,6	72	1,7
TBXPSR	HSR KM	frisch	4,4	4,3	4,3	4,2	4,3	4,1					
		forciert	3,8	4,0	4,3	4,2	3,9	3,8	1,4	1,3	1,4	83	1,4
TBXPTE	TTE KM	frisch	4,6	4,4	4,4	4,3	4,4	4,4					
		forciert	3,8	3,6	4,3	4,3	3,8	3,9	1,8	1,8	1,6	73	1,7
TBXPPTU	HTU KM	frisch	4,7	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6					
		forciert	3,9	3,8	4,4	4,4	4,1	4,2	1,6	1,5	1,3	80	1,5
TCXPHT	HHT KE	frisch	4,8	4,6	4,8	4,7	4,8	4,7					
		forciert	3,7	4,0	4,7	4,6	4,2	4,1	1,8	1,5	1,3	78	1,6
TCXPSR	HSR KE	frisch	4,7	4,3	4,8	4,6	4,7	4,7					
		forciert	3,8	3,8	4,5	4,3	4,0	4,1	1,6	1,5	1,3	85	1,5
TCXPTE	TTE KE	frisch	4,7	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5					
		forciert	3,8	3,6	4,1	4,1	4,1	3,9	1,7	1,6	1,4	80	1,6
TCXPPTU	HTU KE	frisch	4,8	4,5	4,4	4,7	4,5	4,6					
		forciert	3,8	3,8	4,2	4,5	4,0	4,1	1,6	1,7	1,4	78	1,6

**Tabelle 108: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie A des St. Johanner Verkostungspanels (Weihenstephan)**

	TAX	TAXPHT	TAPHT	TAXPSR	TAPSR	TAXPTE	TAPTE	TAPTU
	X	HHT 50	HHT 100	HSR 50	HSR 100	TTE 50	TTE 100	HTU P
Farbe	5,0	5,0	4,8	4,9	4,8	4,9	4,7	4,9
Glanz/Trübung	4,1	4,2	4,3	4,1	4,3	4,1	4,1	4,0
Schaum/Porengröße	4,1	4,0	4,0	3,9	3,8	4,1	4,0	4,0
Schaum/Haftvermögen	4,2	4,0	3,8	3,7	3,8	3,6	3,8	4,0
Ø Optik	4,4	4,3	4,2	4,1	4,2	4,2	4,1	4,2
Geruch	4,00	4,57	4,13	4,38	4,00	4,50	3,86	4,29
Geschmack	4,11	4,56	3,75	4,33	3,78	4,44	3,75	4,00
Vollmundigkeit	4,63	4,75	4,50	4,63	4,11	4,75	4,50	4,88
Weichheit	3,89	4,11	4,22	3,89	3,56	4,22	3,63	3,38
Rezenz	4,33	4,78	4,50	4,75	4,63	4,50	4,88	4,22
Bittere/Intensität	4,67	4,75	4,50	5,00	4,89	4,88	5,00	4,67
Bittere/Intensität	4,67	4,75	4,25	4,75	4,22	4,63	4,50	4,44
Bittere/Qualität	3,50	4,11	4,00	3,89	3,56	4,38	3,78	3,50
Ø Verkostung	4,14	4,53	4,14	4,37	3,96	4,48	4,05	4,11
Ø DLG	4,17	4,58	4,13	4,43	4,01	4,52	4,11	4,20
Ø Gesamt	4,21	4,46	4,16	4,30	4,02	4,39	4,08	4,14
Reihenfolge der Beliebtheit	5,22	1,78	5,00	3,33	6,22	3,22	5,67	6,22
geschätzte BE	21,9	21,7	21,8	23,1	22,1	21,5	21,1	21,3

**Tabelle 109: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie A des St. Johanner Verkostungspanels (St. Johann)**

	HAX	HAXPHT	HAPHT	HAXPSR	HAPSR	HAXPTE	HAPTE	HAPTU
	X	HHT 50	HHT 100	HSR 50	HSR 100	TTE 50	TTE 100	HTU P
Farbe	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Glanz/Trübung	4,3	4,2	4,3	4,4	4,3	4,0	4,2	4,2
Schaum/Porengröße	4,1	4,1	4,2	3,9	4,4	4,3	4,1	4,2
Schaum/Haftvermögen	4,0	4,1	4,5	3,8	3,5	4,3	3,5	4,0
Ø Optik	4,3	4,3	4,5	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3
Geruch	4,33	4,44	4,33	4,00	4,33	4,33	4,22	4,22
Geschmack	3,78	4,09	4,00	4,09	4,09	4,18	3,70	4,09
Vollmundigkeit	4,60	4,91	4,80	4,91	4,82	4,82	4,80	4,82
Weichheit	3,64	4,09	3,82	4,09	4,09	3,82	4,00	3,82
Rezenz	4,60	4,55	4,82	4,70	4,80	4,70	4,70	4,73
Bittere/Intensität	5,33	5,30	5,11	4,90	5,11	5,00	5,20	5,33
Bittere/Intensität	4,40	4,64	4,80	4,64	4,80	4,80	4,73	4,60
Bittere/Qualität	3,27	3,73	3,55	4,00	3,80	3,64	3,60	3,33
Ø Verkostung	4,08	4,33	4,27	4,28	4,35	4,31	4,19	4,21
Ø DLG	4,14	4,36	4,33	4,30	4,38	4,37	4,21	4,26
Ø Gesamt	4,15	4,32	4,33	4,26	4,31	4,32	4,18	4,24
Reihenfolge der Beliebtheit	6,55	4,09	5,18	4,73	2,64	4,73	4,36	5,45
geschätzte BE	22,4	23,2	23,7	22,7	22,7	22,8	22,9	22,6

**Tabelle 110: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie B des St. Johanner Verkostungspanels (St. Johann und Weihenstephan)**

	TBXPHT	TBXPSR	TBXPTE	TBXPTU	TCXPHT	TCXPSR	TCXPTE	TCXPTU
	HHT KM	HSR KM	TTE KM	HTU KM	HHT KE	HSR KE	TTE KE	HTU KE
Farbe	5,0	5,0	4,9	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Glanz/Trübung	4,0	4,0	4,1	4,0	4,2	4,2	4,2	4,2
Schaum/Porengröße	4,0	3,8	4,1	4,1	4,0	4,0	3,8	4,0
Schaum/Haftvermögen	4,1	3,5	4,1	4,1	3,5	3,8	3,5	3,7
Ø Optik	4,3	4,1	4,3	4,3	4,2	4,3	4,1	4,2
Geruch	4,29	4,00	3,86	3,71	4,40	4,60	4,00	4,40
Geschmack	4,00	4,25	4,29	4,00	4,17	4,33	4,00	3,67
Vollmundigkeit	4,75	4,75	4,71	4,75	4,67	4,83	4,67	4,50
Weichheit	3,86	3,86	3,75	3,63	4,17	4,33	4,33	3,50
Rezenz	4,57	4,43	4,75	4,86	4,50	4,50	4,17	4,17
Bittere/Intensität	4,83	5,00	4,83	5,00	4,67	4,83	5,00	5,17
Bittere/Intensität	4,71	4,86	4,71	5,00	4,67	4,83	4,67	4,17
Bittere/Qualität	4,00	3,88	3,71	3,88	4,33	4,17	4,00	3,33
Ø Verkostung	4,27	4,25	4,21	4,17	4,39	4,50	4,20	3,98
Ø DLG	4,33	4,30	4,27	4,24	4,41	4,53	4,19	4,04
Ø Gesamt	4,28	4,19	4,24	4,20	4,32	4,43	4,18	4,05
Reihenfolge der Beliebtheit	2,63	1,75	2,38	2,88	1,33	1,83	3,33	3,50
geschätzte BE	21,8	22,6	22,8	22,0	19,2	19,2	19,4	19,6

**Tabelle 111: Verkostungsergebnisse der frischen Biere von Serie C des St. Johanner Verkostungspanels (St. Johann und Weihenstephan)**

	HBXPHT	HBXPSR	HBXPTE	HBXPTU	HCXPHT	HCXPSR	HCXPTE	HCXPTU
	HHT KM	HSR KM	TTE KM	HTU KM	HHT KE	HSR KE	TTE KE	HTU KE
Farbe	4,9	5,0	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	4,8
Glanz/Trübung	4,3	4,3	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2
Schaum/Porengröße	4,0	4,0	4,1	4,0	3,7	4,2	3,8	3,7
Schaum/Haftvermögen	4,1	3,9	4,0	4,4	3,7	4,0	3,7	3,8
Ø Optik	4,3	4,3	4,3	4,3	4,1	4,3	4,2	4,1
Geruch	4,14	4,00	4,00	4,00	4,80	4,60	4,40	4,40
Geschmack	4,00	4,14	4,00	4,00	4,67	4,67	4,33	4,17
Vollmundigkeit	4,75	4,88	4,75	4,50	4,83	4,50	4,67	4,50
Weichheit	4,29	3,63	3,88	3,75	4,17	4,17	3,83	3,83
Rezenz	4,43	4,50	4,38	4,75	4,50	4,17	4,67	4,50
Bittere/Intensität	4,86	5,17	4,71	4,86	5,33	5,00	5,50	5,17
Bittere/Intensität	4,75	4,43	4,75	4,63	4,67	4,67	4,50	4,17
Bittere/Qualität	4,00	3,50	3,88	3,63	4,33	4,33	3,83	3,83
Ø Verkostung	4,28	4,13	4,18	4,14	4,60	4,49	4,33	4,22
Ø DLG	4,28	4,20	4,22	4,19	4,66	4,53	4,39	4,27
Ø Gesamt	4,29	4,18	4,22	4,20	4,46	4,44	4,28	4,19
Reihenfolge der Beliebtheit	2,38	2,88	2,38	3,00	1,83	2,17	3,33	3,00
geschätzte BE	20,3	21,3	20,5	20,3	22,2	20,0	21,4	19,4

Tabelle 112: Analyse der niedermolekularen Polyphenole aller Sude aus St. Johann

	HAO / GOLD	HAPHT / HHT 100	HAPSR / HSR 100	HAPTE / TTE 100	HAPTU / HTU P	HAX / X	HAXPHT / HHT 50	HAXPSR / HSR 50	HAXPTE / TTE 50	HBXPHT / HHT KM	HBXPSR / HSR KM	HBXPTE / TTE KM	HBXPPTU / HTU KM	HCXPHT / HHT KE	HCXPSR / HSR KE	HCXPTE / TTE KE	HCXPPTU / HTU KE
Peakbezeichnung																	
Nr. 23 HBS max 272nm DP	22,5	24,4	20,2	19,7	20,5	22,4	22,1	22,5	21,4	21,5	16,9	19,3	21,2	20,2	17,9	18,7	20,0
Nr. 45 Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,9	1,4	2,0	1,5	1,6	1,7	0,7	0,7	1,6	0,6	1,2	0,8	0,7	0,8	1,6	0,9	0,6
Nr. 50 Protocatechusäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Nr. 53? max 260nm	0,3	0,4	0,2	n.A.	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	n.A.	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2
Nr. 55? max 314nm (Nr.59Hopfen)	0,0	n.A.	n.A.	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,3	0,6	0,0
Nr. 60c Procyanidin	1,0	0,9	0,7	0,8	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0
Nr. 60 Procyanidin	0,3	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	n.A.	<0,1	0,5	0,3
Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C)	2,6	3,6	3,9	3,8	0,6	2,8	3,0	3,2	3,5	2,6	3,6	3,6	2,5	3,2	4,7	4,4	2,7
Nr. 62 Kaffeoylchinasäure	0,0	1,1	1,5	1,5	0,1	0,0	0,5	0,9	0,8	0,7	1,5	1,3	0,0	1,4	2,5	2,3	0,3
Nr. 63 Procyanidin B1 (Ec/C)	0,0	0,8	1,3	1,4	0,0	0,0	0,4	0,7	0,9	0,4	1,0	0,9	0,0	0,3	0,9	1,4	0,0
Nr. 64? max 252nm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nr. 69 p-Hydroxybenzoesäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Nr. 71 Catechin	3,7	6,4	7,1	7,7	3,6	3,7	4,8	5,7	5,8	5,0	6,6	6,7	3,3	6,0	8,7	9,0	3,6
Nr. 80 Cumaroylchinasäure	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,3	0,5	0,4	0,1
Nr. 82 Procyanidin B2 (Ec/Ec)	1,0	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	0,8
Nr. 84 Favanol ä Nr.71 max 277nm																	
Nr. 89? max 302nm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Nr. 90 Chlorogensäure DP	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0
Nr. 100 Feruloylchinasäure	0,3	0,7	0,8	0,8	0,2	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,7	0,6	0,3	0,6	0,9	0,8	0,2
Nr. 103a RT 16.4? max 290nm	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	n.A.	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Nr. 105 Kaffeesäure	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	0,1	n.A.	n.A.	n.A.	0,2	0,1	n.A.	0,1	0,1	0,2	0,1
Nr. 106 Vanillinsäure	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
Nr. 130 Epicatechin	0,6	1,2	1,5	1,5	0,6	0,8	0,9	1,6	1,2	0,9	1,4	1,1	0,5	1,0	2,0	1,6	0,7
Nr. 131? max 308nm	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,6	0,5	0,2
Nr. 133 Syringasäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Nr. 150 Cumaroylchinasäure	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0
Nr. 164? max 300nm																	
Nr. 170p-Cumarsäure	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5
Nr. 178 HZS Max 299/325nm	0,9	1,2	1,2	1,0	0,8					1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	1,0	0,9	0,6
Nr. 179? max 261/293nm	0,1	0,2	0,3	0,2	<0,1	0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1	0,3	<0,1	<0,1
Nr. 184 Apigeninflavonoid	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
Nr. 185 HBS max 272nm	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	n.A.	0,2	n.A.	0,3	0,2	0,3	0,2	n.A.	0,1	0,2	<0,1	n.A.
Nr. 190 Ferulasäure	1,7	1,9	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,6	1,5

	HAO / GOLD	HAPHT / HHT 100	HAPSR / HSR 100	HAPTE / TTE 100	HAPTU / HTU P	HAX / X	HAXPHT / HHT 50	HAXPSR / HSR 50	HAXPTE / TTE 50	HBXPHT / HHT KM	HBXPSR / HSR KM	HBXPTE / TTE KM	HBXPPTU / HTU KM	HCXPHT / HHT KE	HCXPSR / HSR KE	HCXPTE / TTE KE	HCXPPTU / HTU KE
Nr. 193 (Nr.189 alt) max 286nm	0,0	2,5	3,0	2,5	0,5	0,0	1,2	1,7	1,4	1,6	2,5	2,0	0,3	2,6	4,0	3,3	0,7
Nr. 194? Max 272/331nm	0,4	0,4	n.A.	0,3	n.A.	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Nr. 194b RT 27,0 HZS max 322nm	0,9	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,3	0,7	0,7	0,6
Nr. 195 Sinapinsäure	0,5	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,7	0,3	0,3
Nr. 196? max 278/329nm DP																	
Nr. 197? max 280nm	0,5	1,1	0,7	0,9	0,6	0,0	0,6	0,7	0,5	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4
Nr. 221 Quercetingalactosid	0,0	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,4	0,3	0,0
Nr. 221a Kämpferol- diglykosid	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	<0,1	0,4	0,0	0,0
Nr. 223 Apigeninflavonoid	0,0	0,0	0,0	<0,1	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nr. 228? RT 33,7 max 295/305nm	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Nr. 230/231 Q- glucosid/rutinosid	0,2	2,1	4,1	4,2	0,6	0,2	1,0	2,3	2,3	1,2	3,1	2,8	0,4	1,8	4,5	4,1	0,8
Nr. 241 Quercetin- malonylhexosid	0,0	0,6	1,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9	0,5	1,5	1,5	0,0	1,1	2,5	2,7	0,3
Nr. 244 HZS ä Nr.105 max 322nm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Nr. 248 Apigeninflavonoid	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Nr. 270 Kämpferol-3- glucosid	0,0	0,9	1,9	1,6	0,1	<0,1	0,4	1,1	0,8	0,5	1,5	1,0	0,0	0,8	2,1	1,5	0,1
Nr. 275 ? max 277nm	0,2	0,5	0,8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5	0,3
Nr. 290 Kämpferolflavonoid	0,0	0,4	0,8	0,6	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,3	0,8	0,6	0,0	0,6	1,5	1,2	0,1
Nr. 295? max 325nm DP mit Nr.290	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2
Nr. 297? max 296nm	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Nr. 302 Trans- Zimtsäure	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Nr. 305? max 279nm	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,3
Nr. 321 Apigeninflavonoid	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Nr. 340 Isoxanthohumol	0,1	1,2	1,6	1,2	0,7	0,0	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4
Summe	44,4	62,8	66,3	64,8	40,7	44,8	50,0	58,0	55,0	49,8	57,0	57,0	42,1	52,5	70,0	66,4	40,3
Summe ohne Nr. 23	21,9	38,4	46,1	45,1	20,3	22,4	28,0	35,6	33,6	28,3	40,1	37,7	20,9	32,3	52,1	47,7	20,3
Zusätzliche Peaks																	
RT 9,0? max 319nm	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0
RT 11,6? max 300/318nm	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
RT 12,4 HZS max 313nm (Nr.68Hopfen)	0,0	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,0	0,3	0,5	0,5	0,0
RT 16,9? 309nm (Nr.121Hopfen)	0,0	0,3	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 19,5? max 280nm äNr.197	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	0,3

	HAO / GOLD	HAPHT / HHT 100	HAPSR / HSR 100	HAPTE / TTE 100	HAPTU / HTU P	HAX / X	HAXPHT / HHT 50	HAXPSR / HSR 50	HAXPTE / TTE 50	HBXPHT / HHT KM	HBXPSR / HSR KM	HBXPTE / TTE KM	HBXPPTU / HTU KM	HCXPHT / HHT KE	HCXPSR / HSR KE	HCXPTE / TTE KE	HCXPPTU / HTU KE
RT 26.4? Max 323nm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 29.7? max 285nm	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,9	0,9	0,4	0,8	0,0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7
RT 29.7? max 317nm	0,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 30.1? max 307nm	0,7	0,8	1,1	0,9	1,0	1,0	0,7	0,5	n.A.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
RT 33.6? Flavonoid max 260/350nm	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	n.A.	n.A.	0,2	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.
RT 33.6? max 295/310nm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,4
RT 35.2? max 304- 315nm beiNr.241	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,7	0,3	0,0	0,7	0,5	n.A.	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4
RT 42,6? max 288nm (ev.303aHopfen)	0,0	0,2	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 47.6? max 301nm	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	0,4	<0.1
RT 48.2? max 263nm	0,0	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	0,8	0,4	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,7
RT 27.2? max. 257/352nm Qu-glycosid																	
RT 41.6? max. 293/316nm																	

Tabelle 113: Analyse der niedermolekularen Polyphenole aller Sude aus Weihenstephan

	TAO / GOLD	TAPHT / HHT 100	TAPSR / HSR 100	TAPTE / TTE 100	TAPTU / HTU P	TAX / X	TAXPHT / HHT 50	TAXPSR / HSR 50	TAXPTE / TTE 50	TBXPHT / HHT KM	TBXPSPR / HSR KM	TBXPTE / TTE KM	TBXPPTU / HTU KM	TCXPHT / HHT KE	TCXPSPR / HSR KE	TCXPTE / TTE KE	TCXPPTU / HTU KE
Peakbezeichnung																	
Nr. 23 HBS max 272nm DP	22,4	21,4	20,2	20,6	22,4	21,6	22,4	21,9	21,8	21,4	20,4	21,8	22,6	22,2	16,9	18,9	23,6
Nr. 45 Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,8	0,8	1,2	n.A.	0,5	<0,5	1,1	0,6	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	1,3	0,8	1,0
Nr. 50 Protochatechusäure	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Nr. 53? max 260nm	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	n.A.	n.A.	0,3	0,4	0,3	n.A.	0,3
Nr. 55? max 314nm (Nr.59Hopfen)	0,0	0,2	0,2	0,6	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0
Nr. 60c Procyanidin	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Nr. 60 Procyanidin	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C)	2,5	2,5	3,2	3,1	2,2	2,0	2,4	2,4	2,5	2,5	3,4	3,7	2,2	3,0	3,6	3,5	2,3
Nr. 62 Kaffeoylchinasäure	0,0	1,0	1,9	1,9	0,1	0,0	0,5	0,9	0,9	1,0	1,9	2,1	0,1	1,9	2,4	2,7	0,4
Nr. 63 Procyanidin B1 (Ec/C)	0,0	0,6	1,4	1,3	0,0	0,0	0,3	0,5	0,6	0,6	1,1	1,4	0,0	0,8	1,3	1,3	0,0
Nr. 64? max 252nm	0,0	0,0	<0,1	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Nr. 69 p-Hydroxybenzoesäure	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Nr. 71 Catechin	3,9	6,0	8,8	9,4	3,6	3,5	5,0	5,5	5,8	5,8	8,2	9,7	3,9	7,6	8,8	10,6	4,4
Nr. 80 Cumaroylchinasäure	0,0	0,2	0,3	0,4	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0	0,3	0,4	0,4	0,7
Nr. 82 Procyanidin B2 (Ec/Ec)	2,0	2,1	2,6	2,1	2,3	1,8	1,8	2,1	1,8	2,1	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	2,3	1,8
Nr. 84 Favanol ä Nr.71 max 277nm	0,9	0,8	0,7	0,7	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	1,0	1,3	0,0	0,0	1,3	n.A.	1,3	1,4
Nr. 89? max 302nm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
Nr. 90 Chlorogensäure DP	0,0	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	<0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0
Nr. 100 Feruloylchinasäure	0,2	0,6	1,0	1,0	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,9	0,3	0,8	0,9	1,0	0,3
Nr. 103a RT 16.4? max 290nm	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	0,0	0,0	n.A.	n.A.	0,3	0,3	0,3	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.
Nr. 105 Kaffeesäure	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	n.A.	n.A.	n.A.	<0,1	0,2	0,2	0,1
Nr. 106 Vanillinsäure	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
Nr. 130 Epicatechin	0,7	1,2	2,0	1,8	0,8	0,6	1,0	1,2	1,1	1,1	1,9	1,7	1,0	1,4	2,0	1,8	1,1
Nr. 131? max 308nm	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8
Nr. 133 Syringasäure	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Nr. 150 Cumaroylchinasäure	0,0	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,3	<0,1
Nr. 164? max 300nm	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	<0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3
Nr. 170p-Cumarsäure	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
Nr. 178 HZS Max 299/325nm	0,6	0,8	1,1	0,9	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2	1,2	0,9	1,2	1,2	1,3	1,0
Nr. 179? max 261/293nm	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3
Nr. 184 Apigeninflavonoid	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Nr. 185 HBS max 272nm	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Nr. 190 Ferulasäure	1,7	1,5	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,6	1,8	1,8	1,8	1,9
Nr. 193 (Nr.189 alt) max 286nm	0,0	2,8	4,3	3,9	0,4	0,0	1,4	1,8	1,8	2,5	3,7	3,9	0,3	4,3	4,5	4,7	1,0

	TAO / GOLD	TAPHT / HHT 100	TAPSR / HSR 100	TAPTE / TTE 100	TAPTU / HTU P	TAX / X	TAXPHT / HHT 50	TAXPSR / HSR 50	TAXPTE / TTE 50	TBXPHT / HHT KM	TBXPSR / HSR KM	TBXPTE / TTE KM	TBXPTU / HTU KM	TCXPHT / HHT KE	TCXPSR / HSR KE	TCXPTE / TTE KE	TCXPTU / HTU KE
Nr. 194? Max 272/331nm	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	0,2	n.A.	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
Nr. 194b RT 27,0 HZS max 322nm	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	0,6	0,4	0,9	0,5	0,5	0,4	0,6
Nr. 195 Sinapinsäure	0,7	0,8	1,0	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8
Nr. 196? max 278/329nm DP	0,8	0,8	0,8	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	1,0	1,0
Nr. 197? max 280nm	2,6	3,1	3,5	2,7	3,6	2,6	2,7	2,8	2,4	2,9	4,3	3,3	4,2	2,8	1,9	2,8	2,7
Nr. 221 Quercetingalactosid	0,0	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,4	0,4	0,0
Nr. 221a Kämpferol-diglykosid	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,0
Nr. 223 Apigeninflavonoid																	
Nr. 228? RT 33,7 max 295/305nm	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	n.A.							
Nr. 230/231 Q-glucosid/rutinosid	0,2	2,0	5,0	5,1	0,6	0,2	1,1	2,2	2,3	1,6	4,2	4,6	0,5	2,6	4,8	5,3	1,2
Nr. 241 Quercetin-malonylhexosid	0,0	0,7	1,6	1,8	0,0	0,0	0,4	0,8	0,9	0,8	1,9	2,5	0,0	1,6	2,4	3,4	0,5
Nr. 244 HZS ä Nr.105 max 322nm	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Nr. 248 Apigeninflavonoid	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	0,2	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	0,2	n.A.	0,1	0,2	0,1	n.A.	0,2	0,1
Nr. 270 Kämpferol-3-glucosid	0,0	0,9	2,3	1,9	<0,1	0,0	0,5	0,9	0,8	0,5	1,7	1,5	0,0	1,0	2,3	1,7	0,2
Nr. 275 ? max 277nm	0,3	0,4	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,7	0,3
Nr. 290 Kämpferolflavonoid	0,0	0,3	0,9	0,8	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,4	1,0	1,1	0,0	0,8	1,4	1,3	0,1
Nr. 295? max 325nm DP mit Nr.290	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Nr. 297? max 296nm	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	<0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1
Nr. 302 Trans-Zimtsäure	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Nr. 305? max 279nm	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	1,2	0,8
Nr. 321 Apigeninflavonoid	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Nr. 340 Isoxanthohumol	0,0	0,9	1,2	0,9	0,7	0,0	0,5	0,7	0,5	0,5	0,9	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6
Summe	48,0	59,1	76,2	73,0	49,6	45,4	54,2	58,0	57,8	58,8	75,7	76,6	51,8	69,7	72,2	80,6	57,7
Summe ohne Nr. 23	25,6	37,7	56,0	52,4	27,3	23,8	31,8	36,1	36,1	37,4	55,3	54,8	29,2	47,5	55,3	61,7	34,2
Zusätzliche Peaks																	
RT 9.0? max 319nm	0,0	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,3	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0
RT 11.6? max 300/318nm	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0
RT 12.4 HZS max 313nm (Nr.68Hopfen)	0,0	0,3	0,5	0,6	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6	0,0	0,4	0,5	0,7	0,0
RT 16.9? 309nm (Nr.121Hopfen)	0,0	0,2	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4	0,5	0,6	0,0
RT 19.5? max 280nm äNr.197																	
RT 26.4? Max 323nm																	
RT 29.7? max 285nm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 29.7? max 317nm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 30.1? max 307nm	0,0	n.A.	n.A.	n.A.	0,0	0,0	n.A.	n.A.	0,0	n.A.							

	TAO / GOLD	TAPHT / HHT 100	TAPSR / HSR 100	TAPTE / TTE 100	TAPTU / HTU P	TAX / X	TAXPHT / HHT 50	TAXPSR / HSR 50	TAXPTE / TTE 50	TBXPHT / HHT KM	TBXPST / HSR KM	TBXPTE / TTE KM	TBXPSTU / HTU KM	TCXPHT / HHT KE	TCXPST / HSR KE	TCXPTE / TTE KE	TCXPSTU / HTU KE
RT 33.6? Flavonoid max 260/350nm	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	<0.1	0,2	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.
RT 33.6? max 295/310nm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
RT 35.2? max 304-315nm beiNr.241	0,6	n.A.	n.A.	n.A.	0,6	0,6	0,7	n.A.	n.A.	0,9	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	1,0
RT 42,6? max 288nm (ev.303aHopfen)	0,0	0,2	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 47.6? max 301nm	0,0	0,0	<0.1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	<0.1	0,0	<0.1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,5	<0.1
RT 48.2? max 263nm	0,0	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	<0.1	0,3	0,3
RT 27.2? max. 257/352nm Qu-glycosid	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RT 41.6? max. 293/316nm	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,0	0,4	0,4	0,3	0,0	0,5	0,5	0,4

Tabelle 114: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Bieranalysen	Alkohol [%vol]	0,070	0,431	0,513	0,357	<b>0,621</b>	<b>0,534</b>	0,511	0,233	0,396	-0,242	-0,396
	α-Säuren [mg/l]	0,036	0,313	0,165	0,084	0,167	0,461	0,487	0,057	-0,065	-0,474	-0,480
	Anthozyanogene [mg/l]	-0,368	<b>0,577</b>	<b>0,658</b>	0,308	0,488	0,136	-0,006	0,313	0,461	0,350	0,055
	Bittereinheiten	-0,458	0,325	0,425	0,141	0,150	0,313	<b>0,628</b>	0,255	0,371	-0,339	-0,351
	BE/iso-α-Säuren	-0,300	0,261	<b>0,651</b>	0,109	0,253	0,168	0,274	0,085	0,451	0,213	0,087
	co-iso-α-Säuren (mg/l)	<b>-0,601</b>	-0,055	-0,268	-0,176	-0,255	0,031	0,370	0,234	0,179	-0,349	-0,469
	Farbe	0,017	<b>0,625</b>	<b>0,637</b>	0,327	<b>0,584</b>	0,463	0,294	0,204	0,334	0,085	-0,082
	Gesamtpolyphenole [mg/l]	-0,384	0,493	<b>0,579</b>	0,179	0,381	0,057	-0,112	0,131	0,346	0,449	0,136
	iso-α-Säuren [mg/l]	-0,234	0,142	-0,246	0,082	-0,103	0,257	<b>0,553</b>	0,279	-0,057	<b>-0,781</b>	<b>-0,633</b>
	n-/ad-iso-α-Säuren (mg/l)	0,464	0,206	0,064	0,287	0,193	0,222	0,124	0,008	-0,265	-0,377	-0,090
	pH-Wert	0,144	0,332	0,452	0,244	<b>0,570</b>	0,456	0,378	0,079	0,426	-0,178	-0,242
	scheinbarer Extrakt [GG%]	-0,348	0,098	0,038	-0,304	-0,045	-0,359	-0,509	-0,050	0,097	<b>0,563</b>	0,250
	Stammwürze [%mas]	-0,009	0,495	<b>0,564</b>	0,313	<b>0,661</b>	0,494	0,428	0,237	0,450	-0,127	-0,371
	Tannine [mg/l]	-0,294	<b>0,541</b>	<b>0,701</b>	0,222	0,449	0,124	0,065	0,155	0,343	0,339	0,086
Vergärungsgrad scheinbar [%]	0,250	0,185	0,266	0,379	0,370	0,516	<b>0,600</b>	0,161	0,157	-0,480	-0,372	
		<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>				0,532 *		0,661 **		0,780 ***		

Tabelle 115: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie			
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert		
Bieraromastoffe frisch	1-Hexanol	-0,070	-0,148	0,032	-0,507	-0,266	-0,496	-0,076	-0,097	-0,108	<b>0,554</b>	0,481	
	1-Decanol	0,100	0,300	<b>0,578</b>	0,273	<b>0,743</b>	0,219	<b>0,534</b>	0,224	0,495	-0,020	-0,173	
	1-Heptanol	-0,213	0,025	-0,138	0,115	-0,121	-0,010	0,079	0,310	0,250	0,005	0,042	
	1-Octanol	0,136	0,150	0,248	0,399	<b>0,578</b>	0,430	0,506	0,157	0,350	-0,366	-0,461	
	2-Phenylethanol	-0,046	-0,370	<b>-0,660</b>	-0,318	<b>-0,723</b>	-0,319	-0,348	-0,061	-0,462	-0,043	0,129	
	$\alpha$ -Terpineol	-0,147	<b>0,543</b>	<b>0,654</b>	0,402	<b>0,546</b>	0,150	0,062	0,366	<b>0,579</b>	0,434	0,172	
	Buttersäure-Ethylester	-0,075	0,111	0,208	<b>0,642</b>	0,514	<b>0,547</b>	0,371	0,233	0,423	-0,413	<b>-0,601</b>	
	Caryophyllen	-0,196	<b>0,542</b>	0,110	-0,010	-0,079	-0,031	0,088	0,478	0,220	-0,115	0,129	
	Decansäure	0,078	0,370	<b>0,568</b>	0,325	<b>0,740</b>	0,290	0,495	0,250	0,403	-0,032	-0,237	
	Decansäure-Ethylester	0,114	0,336	<b>0,544</b>	0,339	<b>0,729</b>	0,280	0,467	0,208	0,383	-0,039	-0,211	
	Dodecansäure	-0,047	0,417	<b>0,760</b>	0,385	<b>0,826</b>	0,250	0,279	0,281	<b>0,548</b>	0,205	-0,141	
	Essigsäure-2-Phenylethylester	-0,149	-0,327	-0,508	-0,198	-0,520	-0,352	-0,364	-0,026	-0,222	0,157	0,218	
	Essigsäure-Furfurylester	-0,211	0,281	0,376	-0,068	0,339	-0,221	<b>0,633</b>	0,416	0,395	0,231	0,097	
	Essigsäure-Heptylester	-0,221	-0,333	-0,442	-0,244	<b>-0,533</b>	-0,342	-0,272	-0,057	-0,212	0,187	0,179	
	Essigsäure-Hexylester	-0,220	-0,196	-0,307	-0,125	-0,367	-0,345	-0,198	0,102	-0,046	0,225	0,222	
	Essigsäure-Isobutylester	-0,188	-0,362	-0,491	-0,025	-0,412	-0,301	-0,277	0,019	-0,169	0,110	0,089	
	Essigsäure-Octylester	-0,259	0,237	0,003	0,147	-0,066	-0,109	-0,131	0,375	0,269	-0,031	0,071	
	Geraniol	0,346	0,005	0,185	0,107	0,031	0,288	0,096	0,021	-0,039	-0,108	0,129	
	g-Nonalacton	-0,120	-0,122	-0,099	-0,293	-0,012	-0,326	-0,024	0,225	-0,022	0,319	0,067	
	Hexansäure	-0,022	-0,005	0,219	-0,437	0,108	-0,361	-0,199	-0,142	0,146	0,495	0,400	
	Hexansäure-Ethylester	0,077	-0,090	0,150	0,137	0,416	0,165	0,114	0,083	0,388	-0,029	-0,183	
	Humulen	0,105	<b>0,549</b>	<b>0,808</b>	0,461	<b>0,872</b>	0,085	0,491	<b>0,615</b>	<b>0,650</b>	0,202	0,043	
	Isovaleriansäure	0,086	-0,107	-0,349	<b>-0,595</b>	<b>-0,610</b>	-0,247	-0,404	-0,367	-0,457	0,064	0,415	
Linalool	0,530	-0,117	0,260	0,481	0,429	-0,205	-0,093	0,246	0,043	<b>0,556</b>	0,443		
Nerol	-0,323	<b>0,548</b>	<b>0,539</b>	0,012	0,352	0,021	<b>0,662</b>	0,391	0,419	0,208	0,052		
Nonansäure	0,491	0,124	0,503	0,345	<b>0,547</b>	-0,244	-0,241	0,058	0,094	<b>0,558</b>	<b>0,551</b>		
Octansäure	-0,051	0,242	<b>0,545</b>	0,239	<b>0,801</b>	0,155	0,403	0,299	<b>0,641</b>	0,164	-0,205		
Octansäure-Ethylester	-0,035	0,225	<b>0,533</b>	0,375	<b>0,806</b>	0,297	0,496	0,264	<b>0,618</b>	-0,029	-0,339		
		kritische Werte für n=14; f=12 [409]				0,532 *		0,661 **		0,780 ***			

Tabelle 116: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren frisch	2-Methylbutanal	-0,495	0,468	0,393	-0,355	0,007	0,064	0,267	-0,230	0,087	0,088	-0,046
	2-Acetylfuran	0,362	-0,379	<b>-0,539</b>	-0,323	<b>-0,555</b>	-0,520	-0,271	-0,188	-0,484	0,099	0,460
	2-Furfural	0,428	0,006	-0,048	0,372	0,122	-0,294	-0,348	0,054	-0,297	0,109	0,335
	2-Phenylethanal	<b>0,535</b>	-0,483	-0,456	-0,087	-0,337	-0,041	-0,037	-0,285	-0,477	-0,021	0,052
	2-Propionylfuran	0,481	0,009	0,131	0,503	0,259	-0,057	-0,445	0,076	-0,200	0,311	0,351
	3-Methylbutanal	0,292	-0,401	<b>-0,576</b>	-0,236	-0,410	-0,278	-0,363	-0,128	-0,168	-0,044	0,283
	Benzaldehyd	-0,294	0,447	0,426	0,483	<b>0,566</b>	0,424	0,317	<b>0,574</b>	<b>0,630</b>	-0,223	-0,418
	Bernsteinsäure-diethylester	0,464	<b>-0,635</b>	-0,454	0,130	-0,244	0,211	-0,364	-0,150	-0,196	-0,071	-0,048
	γ-Nonalacton	-0,152	-0,025	-0,349	-0,517	<b>-0,661</b>	-0,484	-0,302	-0,277	-0,423	0,191	<b>0,544</b>
	Methylfurfural	0,105	0,458	-0,067	0,210	-0,217	0,388	-0,088	0,138	-0,185	-0,269	0,058
	Nicotinsäure-ethylester	0,199	0,272	0,494	<b>0,602</b>	<b>0,587</b>	<b>0,588</b>	0,240	0,128	0,427	-0,162	-0,267
	Phenyllessigsäure-ethylester	<b>0,577</b>	-0,232	-0,343	0,140	-0,148	0,262	-0,068	-0,256	-0,320	-0,186	-0,068
	Summe der Sauerstoffindikatoren	<b>0,548</b>	<b>-0,555</b>	<b>-0,661</b>	-0,137	-0,430	-0,144	-0,220	-0,192	-0,353	-0,089	0,156
	Summe der Alterungskomponenten	0,300	-0,212	-0,522	-0,266	<b>-0,631</b>	-0,523	-0,482	-0,242	<b>-0,604</b>	0,167	<b>0,637</b>
	Summe der Wärmeindikatoren	0,040	-0,020	-0,338	-0,315	<b>-0,551</b>	<b>-0,564</b>	-0,421	-0,230	-0,510	0,220	<b>0,636</b>
<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>				<i>0,532 *</i>		<i>0,661 **</i>		<i>0,780 ***</i>				

Tabelle 117: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren forciert	2-Methylbutanal	0,165	0,271	<b>0,586</b>	0,192	0,396	0,008	0,092	0,044	0,229	0,110	0,114
	2-Acetylfuran	-0,061	-0,260	-0,252	-0,184	-0,406	-0,163	0,105	0,125	-0,061	0,089	0,204
	2-Furfural	-0,025	0,310	-0,092	-0,190	-0,327	0,111	-0,096	0,061	-0,095	-0,345	-0,005
	2-Phenylethanal	0,099	<b>0,577</b>	0,489	0,004	0,270	0,025	0,327	0,357	0,331	-0,042	0,244
	2-Propionylfuran	0,430	-0,254	-0,216	-0,244	-0,165	<b>-0,726</b>	-0,371	-0,417	-0,508	0,312	<b>0,735</b>
	3-Methylbutanal	0,152	0,154	-0,080	-0,370	-0,313	-0,146	-0,135	-0,016	-0,056	-0,162	0,297
	Benzaldehyd	0,130	-0,083	0,081	0,168	0,190	0,188	-0,194	-0,300	0,146	-0,134	-0,202
	Bernsteinsäurediethylester	<b>0,623</b>	-0,340	-0,189	0,149	-0,200	-0,164	-0,334	-0,098	-0,183	0,239	<b>0,599</b>
	γ-Nonalacton	0,025	0,239	-0,126	-0,310	-0,203	0,014	-0,180	-0,155	-0,058	-0,232	0,111
	Methylfurfural	-0,192	0,466	0,450	-0,139	0,289	-0,344	-0,374	-0,023	0,269	<b>0,553</b>	0,512
	Nicotinsäure-ethylester	0,047	<b>0,572</b>	0,217	0,052	0,204	0,310	0,173	0,110	0,130	-0,328	-0,148
	Phenyllessigsäure-ethylester	0,047	0,041	0,498	0,195	0,370	0,324	0,498	0,380	<b>0,642</b>	0,000	-0,204
	Summe der Wärmeindikatoren	-0,021	0,310	-0,096	-0,203	-0,322	0,105	-0,104	0,044	-0,094	-0,342	0,004
	Summe der Sauerstoffindikatoren	0,174	0,355	0,199	-0,199	-0,031	-0,040	0,026	0,093	0,154	-0,154	0,263
	Summe der Alterungskomponenten	0,009	0,301	-0,087	-0,216	-0,324	0,061	-0,118	0,040	-0,090	-0,302	0,072
<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>				<i>0,532 *</i>		<i>0,661 **</i>		<i>0,780 ***</i>				

Tabelle 118: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Nr. 45 Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,273	0,063	0,146	0,412	0,237	<b>0,544</b>	0,060	-0,124	-0,062	-0,202	-0,262
Nr. 50 Protochatechusäure	-0,264	-0,074	0,470	-0,033	0,503	-0,466	-0,130	-0,049	0,493	<b>0,656</b>	0,296
Nr. 60c Procyanidin	-0,105	-0,002	-0,060	-0,290	0,019	-0,451	0,056	0,003	-0,178	0,007	0,148
Nr. 60 Procyanidin	-0,106	0,273	0,351	0,043	-0,012	-0,060	-0,249	-0,092	-0,045	0,271	0,262
Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C)	-0,182	0,472	<b>0,721</b>	0,374	<b>0,636</b>	0,232	0,170	0,157	0,435	0,200	-0,048
Kaffeoylchinasäure	-0,317	0,255	0,385	0,094	0,192	-0,243	-0,249	0,092	0,190	0,503	0,336
Nr. 63 Procyanidin B1 (Ec/C)	-0,335	0,409	<b>0,536</b>	0,092	0,275	-0,094	-0,155	0,052	0,235	0,480	0,283
Nr. 69 p-Hydroxybenzoesäure	-0,233	0,304	-0,098	0,192	-0,089	-0,106	-0,235	0,235	-0,130	0,081	0,196
Nr. 71 Catechin	-0,402	0,343	0,365	0,110	0,168	-0,168	-0,193	0,138	0,208	0,410	0,266
Nr. 80 Cumaroylchinasäure	-0,366	0,184	0,291	0,086	0,152	-0,311	-0,227	0,169	0,199	0,467	0,298
Nr. 82 Procyanidin B2 ( Ec/Ec )	-0,005	-0,330	<b>-0,585</b>	-0,207	<b>-0,595</b>	-0,460	-0,528	-0,144	-0,494	0,188	0,372
Nr. 90 Chlorogensäure DP	-0,244	0,120	0,243	0,080	0,034	-0,154	-0,348	-0,018	0,103	0,454	0,354
Nr. 100 Feruloylchinasäure	-0,248	0,293	0,367	0,184	0,229	-0,240	-0,184	0,139	0,155	0,443	0,351
Nr. 105 Kaffeesäure	-0,109	-0,152	-0,511	-0,180	-0,404	-0,428	-0,449	0,055	-0,406	0,225	0,259
Nr. 106 Vanillinsäure	0,222	-0,054	-0,386	0,045	-0,297	-0,437	-0,396	0,109	-0,400	-0,063	0,370
Nr. 130 Epicatechin	-0,138	0,288	0,374	0,098	0,204	-0,309	-0,192	0,048	0,091	0,480	0,499
Nr. 133 Syringasäure	0,481	-0,457	-0,342	0,349	0,010	-0,085	-0,236	0,232	-0,084	-0,077	0,079
Nr. 150 Cumaroylchinasäure	-0,244	0,340	0,335	0,108	0,215	-0,274	-0,320	0,096	0,095	<b>0,543</b>	0,395
Nr. 170p-Cumarsäure	-0,171	0,177	0,366	-0,014	0,344	-0,097	-0,457	-0,285	0,217	0,430	0,341
Nr. 184 Apigeninflavonoid	0,274	0,175	0,327	0,289	0,472	0,427	0,227	-0,075	0,220	-0,270	-0,242
Nr. 190 Ferulasäure	0,302	0,259	0,436	0,503	<b>0,622</b>	0,134	-0,076	0,208	0,285	-0,007	0,018
Nr. 195 Sinapinsäure	0,169	-0,137	-0,286	0,100	-0,311	-0,260	<b>-0,606</b>	-0,166	-0,367	0,345	0,466
Nr. 195 Sinapinsäure	0,169	-0,137	-0,286	0,100	-0,311	-0,260	<b>-0,606</b>	-0,166	-0,367	0,345	0,466
Nr. 221a Kämpferol-diglykosid	0,411	0,029	0,033	0,442	0,176	-0,068	-0,503	0,037	-0,265	0,392	0,365
Nr. 221a Kämpferol-diglykosid	0,411	0,029	0,033	0,442	0,176	-0,068	-0,503	0,037	-0,265	0,392	0,365
Nr. 221a Kämpferol-diglykosid	0,411	0,029	0,033	0,442	0,176	-0,068	-0,503	0,037	-0,265	0,392	0,365
Nr. 230/231 Q-glucosid/rutinosid	-0,281	0,336	0,413	0,075	0,168	-0,156	-0,278	0,031	0,176	0,488	0,376
Nr. 241 Quercetin-malonylhexosid	-0,324	0,298	0,360	-0,011	0,049	-0,163	-0,256	-0,046	0,161	0,444	0,398
Nr. 248 Apigeninflavonoid	0,095	0,358	0,390	0,231	0,357	0,503	0,489	0,156	0,122	-0,373	-0,398
Nr. 270 Kämpferol-3-glucosid	-0,128	0,282	0,398	0,156	0,222	-0,222	-0,319	0,051	0,108	<b>0,549</b>	0,446
Nr. 290 Kämpferolflavonoid	-0,141	0,292	0,414	0,149	0,245	-0,226	-0,338	0,060	0,139	<b>0,553</b>	0,436
Nr. 302 Trans-Zimtsäure	0,276	-0,301	-0,403	-0,300	-0,251	-0,149	-0,022	-0,192	-0,191	-0,153	0,137
Nr. 321 Apigeninflavonoid	0,166	0,215	<b>0,581</b>	0,461	<b>0,769</b>	0,379	0,530	0,301	0,488	0,042	-0,242
Nr. 340 Isoxanthohumol	-0,112	0,114	0,482	0,187	0,378	-0,251	-0,225	0,062	0,209	<b>0,572</b>	0,263
Summe	-0,249	0,235	0,292	0,100	0,107	-0,253	-0,322	0,050	0,076	0,483	0,383
kritische Werte für n=14; f=12 [409]		0,532	*	0,661	**	0,780	***				

Tabelle 119: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Weihenstephaner Panels (Serie A, nur Kochbeginn)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
DLG frisch	Geruch	0,191	-0,193	0,214	-0,118	0,252	-0,203	-0,489	-0,148	0,260	<b>0,686</b>	0,423
	Trunk	0,349	-0,267	0,263	-0,061	0,310	-0,438	-0,480	-0,090	0,164	<b>0,778</b>	0,464
	Vollmundigkeit	0,123	-0,006	0,249	-0,092	0,203	-0,518	<b>-0,612</b>	0,063	0,107	<b>0,710</b>	<b>0,598</b>
	Rezenz	0,514	-0,417	0,063	-0,052	0,114	<b>-0,548</b>	<b>-0,554</b>	-0,144	-0,128	<b>0,625</b>	<b>0,631</b>
	Bittere	0,163	-0,207	0,244	-0,183	0,233	-0,468	<b>-0,592</b>	-0,145	0,061	<b>0,747</b>	0,439
	Gewichtete Note	0,290	-0,253	0,248	-0,127	0,268	-0,476	<b>-0,613</b>	-0,123	0,124	<b>0,818</b>	<b>0,550</b>
DLG / Alterungsverkostung forciert	Geruch	0,514	<b>-0,582</b>	-0,509	-0,114	-0,213	-0,379	-0,104	-0,332	-0,386	-0,126	0,266
	Trunk	<b>0,782</b>	-0,373	-0,069	0,082	0,105	-0,523	-0,278	-0,158	-0,220	0,436	<b>0,637</b>
	Vollmundigkeit	<b>0,614</b>	-0,273	-0,340	0,118	-0,166	-0,398	-0,401	-0,229	<b>-0,675</b>	0,120	0,421
	Rezenz	<b>0,648</b>	-0,276	0,051	0,156	0,171	-0,419	-0,257	0,001	-0,307	0,451	0,494
	Bittere	0,429	-0,421	-0,013	-0,200	-0,249	-0,472	<b>-0,581</b>	-0,272	-0,276	0,530	<b>0,686</b>
	Gewichtete Note	<b>0,776</b>	<b>-0,569</b>	-0,266	-0,047	-0,126	<b>-0,589</b>	-0,408	-0,302	-0,444	0,346	<b>0,665</b>
	Alterungsnote Geruch	<b>-0,739</b>	0,291	0,296	<b>-0,559</b>	-0,133	-0,198	-0,022	-0,206	0,122	0,329	0,101
	Alterungsnote Trunk	<b>-0,578</b>	<b>0,578</b>	<b>0,636</b>	0,057	0,241	0,435	0,355	0,325	0,479	0,063	-0,218
	Alterungsnote Bittere	<b>-0,556</b>	0,450	0,463	0,130	0,327	0,408	<b>0,658</b>	0,345	<b>0,711</b>	-0,311	-0,488
	Gewichtete Alterungsnote	<b>-0,782</b>	0,523	<b>0,556</b>	-0,240	0,113	0,189	0,295	0,118	0,442	0,138	-0,153
	Akzeptanz (%)		-0,259	-0,112	0,264	0,069	-0,179	-0,357	-0,079	-0,297	0,124	0,515
<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>			<i>0,532 *</i>				<i>0,661 **</i>				<i>0,780 ***</i>	

Tabelle 120: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (Serie A, nur Kochbeginn)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Verkostung Panel St. Johan	Farbe	0,384	-0,320	-0,425	-0,346	-0,471	-0,137	-0,197	-0,380	-0,494	-0,310	0,018
	Glanz/Trübung	0,399	-0,050	0,032	0,477	0,307	-0,199	0,144	0,278	-0,121	0,132	0,156
	Schaum/Porengröße	-0,022	0,196	0,456	0,357	0,366	<b>0,656</b>	0,200	0,244	0,477	-0,157	-0,441
	Schaum/Haftvermögen	-0,124	0,040	-0,238	0,094	-0,108	0,242	0,445	0,202	-0,199	<b>-0,669</b>	<b>-0,542</b>
	Ø Optik	0,091	0,022	-0,093	0,266	0,038	0,359	0,419	0,243	-0,112	<b>-0,615</b>	<b>-0,547</b>
	Geruch	0,091	-0,393	-0,056	-0,100	0,194	-0,042	-0,211	-0,318	0,215	0,067	-0,182
	Geschmack	0,406	-0,426	-0,146	-0,371	-0,163	-0,372	-0,446	-0,381	-0,071	0,141	0,357
	Vollmundigkeit	0,068	0,135	<b>0,579</b>	-0,138	0,444	0,082	0,301	0,027	0,517	0,045	-0,072
	Weichheit	0,171	-0,226	0,305	-0,218	0,191	-0,268	0,066	0,038	0,268	0,482	0,216
	Rezenz	-0,104	0,246	0,482	0,154	0,437	-0,213	-0,153	-0,005	0,478	0,212	0,239
	Bittere/Intensität	-0,160	0,260	0,300	0,183	0,527	0,314	0,036	-0,060	0,387	-0,135	-0,344
	Bittere/Intensität	0,082	0,088	0,384	-0,324	0,113	-0,037	-0,124	-0,288	0,228	0,011	0,091
	Bittere/Qualität	0,115	-0,347	0,135	-0,305	-0,006	-0,524	-0,287	-0,092	0,241	<b>0,562</b>	0,518
	Ø Verkostung	0,235	-0,318	0,184	-0,305	0,147	-0,307	-0,262	-0,281	0,276	0,282	0,238
	Ø DLG	0,232	-0,314	0,154	-0,302	0,131	-0,295	-0,300	-0,317	0,261	0,232	0,227
	Ø Gesamt	0,242	-0,291	0,149	-0,219	0,147	-0,197	-0,140	-0,202	0,231	0,111	0,086
<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>			<i>0,532 *</i>				<i>0,661 **</i>				<i>0,780 ***</i>	

Tabelle 121: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner frisch (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Geruch Intensität Hopfenaroma	-0,040	0,061	0,111	0,030	-0,015	-0,242	-0,512	-0,067	0,115	<b>0,575</b>	0,515
Geruch Qualität Hopfenaroma	0,151	-0,130	0,210	-0,347	0,043	<b>-0,640</b>	-0,363	-0,123	-0,125	<b>0,879</b>	<b>0,665</b>
Trunk Intensität Hopfenaroma	0,137	-0,146	0,113	-0,127	0,136	<b>-0,629</b>	-0,366	-0,002	0,037	<b>0,753</b>	<b>0,553</b>
Trunk Qualität Hopfenaroma	0,180	-0,204	0,350	-0,176	0,325	<b>-0,703</b>	-0,280	-0,097	0,026	<b>0,844</b>	<b>0,596</b>
Geruch fruchtig	-0,175	-0,407	-0,119	<b>-0,616</b>	-0,180	<b>-0,801</b>	-0,523	-0,465	-0,168	<b>0,572</b>	0,440
Geruchblumig	0,303	-0,377	-0,299	-0,216	-0,054	<b>-0,759</b>	-0,298	-0,195	-0,506	0,470	0,439
Geruch citrus	-0,151	0,478	0,369	0,054	0,192	-0,190	-0,110	0,511	0,317	0,433	0,292
Geruch grün-grasig	-0,045	0,258	0,334	0,527	0,341	0,433	0,154	0,142	0,379	0,062	-0,064
Geruch hopfenwürzig	0,173	0,320	<b>0,605</b>	0,235	0,390	0,094	-0,372	0,003	0,341	0,477	0,434
Geruch sonstige	-0,249	0,102	-0,078	0,166	0,027	0,367	0,308	-0,086	0,078	<b>-0,617</b>	<b>-0,592</b>
Trunk fruchtig	0,090	-0,463	-0,162	-0,449	-0,135	<b>-0,702</b>	<b>-0,661</b>	<b>-0,655</b>	-0,345	0,489	0,473
Trunk blumig	0,531	-0,058	0,266	-0,020	0,391	<b>-0,582</b>	-0,345	-0,013	-0,111	<b>0,768</b>	<b>0,669</b>
Trunk citrus	-0,018	0,317	0,395	0,111	0,369	-0,063	0,012	0,417	0,449	0,276	0,058
Trunk grün-grasig	-0,042	0,028	0,214	0,147	0,239	0,185	0,342	-0,084	0,149	0,123	-0,107
Trunk hopfenwürzig	0,229	0,169	<b>0,536</b>	0,334	0,520	-0,252	-0,294	0,065	0,198	<b>0,628</b>	0,520
Trunk sonstige	-0,059	-0,379	-0,325	0,202	-0,120	0,454	-0,010	-0,132	0,102	<b>-0,544</b>	-0,527
Bittere Gesamtintensität	0,264	0,256	0,225		<b>0,560</b>	<b>0,539</b>	0,236	<b>0,689</b>	0,321	-0,162	-0,289
Bittere Antrunk	-0,259		<b>0,611</b>	0,256	0,362	0,332	0,470	<b>0,542</b>	0,312	-0,087	-0,053
Bittere Trunk	-0,079	<b>0,542</b>	0,401	<b>0,689</b>	0,524	0,351	0,523		0,438	-0,048	-0,274
Bittere Nachtrunk	-0,179	0,332	0,105	<b>0,539</b>	0,110		0,442	0,351	0,262	<b>-0,609</b>	<b>-0,716</b>
Harmonie	0,124	-0,087	0,425	-0,162	0,376	<b>-0,609</b>	-0,375	-0,048	0,232		<b>0,662</b>
normal (harmonisch)	0,135	-0,044	0,228	-0,275	0,111	<b>-0,828</b>	-0,453	-0,129	-0,068	<b>0,776</b>	<b>0,800</b>
kratzig	-0,168	-0,269	-0,067	0,131	-0,010	-0,053	0,342	0,303	0,084	0,227	-0,146
hart	-0,018	-0,218	-0,249	0,428	0,073	0,378	0,425	0,249	0,124	-0,255	-0,463
harmonisch, langer Nachtrunk	-0,357	0,347	0,407	-0,047	0,164	0,381	0,323	-0,011	0,123	-0,176	-0,419
schwach	0,131	-0,062	-0,269	-0,249	-0,224	-0,081	-0,130	0,081	-0,184	-0,082	-0,032
hart und breit	0,144	-0,027	-0,271	0,450	0,108	<b>0,566</b>	0,236	0,035	0,084	<b>-0,574</b>	-0,483
Antrunk abgerundet aber nachhängend	0,015	-0,025	-0,360	0,270	-0,233	<b>0,731</b>	0,221	0,013	0,009	<b>-0,810</b>	<b>-0,568</b>
<i>kritische Werte für n=14; f=12 [409]</i>				<i>0,532 *</i>		<i>0,661 **</i>		<i>0,780 ***</i>			

Tabelle 122: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung n. Kaltner forciert	Geruch Intensität Hopfenaroma	<b>0,594</b>	0,059	-0,057	0,436	-0,026	0,372	-0,114	0,021	-0,282	-0,042	0,117
	Geruch Qualität Hopfenaroma	0,411	-0,343	0,016	0,013	0,083	-0,478	<b>-0,717</b>	-0,178	-0,200	<b>0,642</b>	0,509
	Trunk Intensität Hopfenaroma	0,437	-0,153	0,231	0,158	0,140	0,235	-0,284	-0,297	0,073	0,285	0,185
	Trunk Qualität Hopfenaroma	0,530	-0,214	0,107	-0,255	0,017	<b>-0,582</b>	-0,514	-0,308	-0,213	<b>0,684</b>	<b>0,769</b>
	Geruch fruchtig	<b>0,603</b>	<b>-0,624</b>	<b>-0,613</b>	-0,219	-0,461	<b>-0,539</b>	<b>-0,601</b>	-0,417	<b>-0,646</b>	0,046	0,394
	Geruch blumig	<b>0,610</b>	-0,319	<b>-0,579</b>	0,272	-0,196	-0,121	-0,378	-0,078	<b>-0,637</b>	-0,207	0,063
	Geruch citrus	-0,059	0,065	-0,148	-0,330	-0,204	-0,344	-0,106	0,040	-0,299	-0,072	0,004
	Geruch grün-grasig	<b>0,543</b>	-0,181	0,023	0,270	0,295	-0,345	0,066	0,207	0,061	0,202	0,237
	Geruch hopfenwürzig	0,186	0,237	0,518	<b>0,541</b>	<b>0,606</b>	0,368	-0,013	0,105	0,403	0,292	-0,020
	Trunk fruchtig	0,529	-0,402	-0,341	-0,435	-0,385	<b>-0,666</b>	<b>-0,746</b>	-0,496	<b>-0,578</b>	0,343	<b>0,645</b>
	Trunk blumig	0,464	-0,137	-0,235	0,077	0,084	-0,189	<b>-0,538</b>	-0,284	-0,325	0,082	0,245
	Trunk citrus	-0,057	-0,385	-0,327	-0,151	-0,346	-0,197	-0,083	0,103	-0,157	0,135	-0,075
	Trunk grün-grasig	<b>0,616</b>	-0,397	0,077	0,269	0,394	-0,199	-0,269	-0,162	0,131	0,281	0,210
	Trunk hopfenwürzig	0,494	0,196	0,430	0,364	0,441	-0,033	-0,281	-0,128	0,121	0,296	0,402
	Bittere Gesamtintensität	0,069	0,362	<b>0,754</b>	<b>0,560</b>		0,110	0,289	0,524	<b>0,740</b>	0,376	-0,034
	Bittere Antrunk	-0,112	<b>0,611</b>		0,225	<b>0,754</b>	0,105	0,355	0,401	<b>0,738</b>	0,425	0,170
	Bittere Trunk	-0,297	0,312	<b>0,738</b>	0,321	<b>0,740</b>	0,262	0,321	0,438		0,232	-0,179
	Bittere Nachtrunk	-0,357	0,470	0,355	0,236	0,289	0,442		0,523	0,321	-0,375	-0,510
	Harmonie	0,515	-0,053	0,170	-0,289	-0,034	<b>-0,716</b>	-0,510	-0,274	-0,179	<b>0,662</b>	
	normal (harmonisch)	0,344	-0,008	0,086	0,049	0,042	-0,254	-0,514	0,164	-0,015	<b>0,647</b>	<b>0,554</b>
	kratzig	-0,091	0,176	0,196	-0,055	0,321	-0,069	0,209	0,135	0,212	0,101	-0,073
	hart	0,214	0,094	-0,373	-0,189	<b>-0,600</b>	0,222	0,023	0,035	<b>-0,576</b>	-0,424	-0,079
	harmonisch, langer Nachtrunk	0,268	0,136	-0,209	0,458	-0,027	0,223	0,215	0,243	-0,460	-0,209	-0,184
	schwach	-0,386	-0,172	0,133	<b>-0,772</b>	-0,139	-0,396	-0,216	<b>-0,611</b>	0,208	0,214	0,195
	hart und breit	0,144	-0,027	-0,271	0,450	0,108	<b>0,566</b>	0,236	0,035	0,084	<b>-0,574</b>	-0,483
	Antrunk abgerundet aber nachhängend	-0,415	-0,106	0,127	-0,090	0,068	0,111	0,264	-0,094	0,409	-0,350	-0,307
		kritische Werte für n=14; f=12 [409]				0,532 *		0,661 **		0,780 ***		

Tabelle 123: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie A, nur Kochbeginn)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Hopfen-gabe	Extraktmenge Kochbeginn	0,366	-0,209	-0,384	-0,037	-0,142	0,260	0,105	-0,210	-0,124	-0,500	-0,187
	Pelletmenge Kochbeginn	-0,264	0,284	0,417	0,102	0,214	-0,222	-0,266	0,065	0,174	<b>0,552</b>	0,374
		kritische Werte für n=14; f=12 [409]				0,532 *		0,661 **		0,780 ***		

Tabelle 124: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Bieranalysen	Alkohol [%vol]	-0,315	0,315	-0,627	0,479	-0,308	-0,111	-0,365	0,233	-0,196	-0,647	-0,531
	$\alpha$ -Säuren [mg/l]	<b>-0,874</b>	-0,665	-0,440	-0,135	-0,242	-0,652	-0,321	-0,306	-0,382	-0,355	-0,503
	Anthozyanogene [mg/l]	0,177	0,560	0,087	0,748	0,382	0,277	0,133	0,339	0,477	-0,743	-0,434
	Bittereinheiten	0,603	-0,209	<b>0,862</b>	-0,227	0,486	0,311	0,339	-0,405	0,477	0,189	0,422
	BE/iso- $\alpha$ -Säuren	0,774	-0,139	<b>0,926</b>	0,153	0,659	0,639	0,572	-0,122	0,724	0,002	0,150
	co-iso- $\alpha$ -Säuren (mg/l)	-0,496	-0,407	-0,114	<b>-0,826</b>	-0,342	-0,781	-0,502	-0,737	-0,523	0,276	0,438
	Farbe	-0,611	0,283	-0,703	0,462	-0,211	-0,281	-0,215	0,456	-0,225	-0,479	-0,606
	Gesamt-polyphenole [mg/l]	0,473	0,537	0,453	0,701	0,615	0,478	0,345	0,281	0,711	-0,608	-0,255
	iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	-0,055	-0,208	0,242	<b>-0,844</b>	-0,141	-0,491	-0,307	-0,715	-0,282	0,467	0,730
	n-/ad-iso- $\alpha$ -Säuren (mg/l)	<b>0,973</b>	0,470	0,739	0,096	0,463	0,714	0,477	0,163	0,573	0,343	0,523
	pH-Wert	-0,527	0,059	-0,784	0,423	-0,418	-0,197	-0,361	0,268	-0,338	-0,565	-0,665
	scheinbarer Extrakt [GG%]	-0,074	-0,625	-0,147	<b>-0,841</b>	-0,604	-0,303	-0,431	-0,676	-0,604	0,551	0,491
	Stammwürze [%mas]	-0,279	0,433	-0,609	0,418	-0,315	-0,147	-0,404	0,211	-0,212	-0,591	-0,407
	Tanninoide [mg/l]	-0,041	-0,165	0,274	0,657	0,519	0,169	0,232	0,008	0,548	<b>-0,906</b>	-0,715
	Vergärungsgrad scheinbar [%]	-0,069	0,637	-0,163	0,763	0,283	0,143	0,121	0,563	0,326	-0,636	-0,509
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>						<i>0,811</i>	*	<i>0,917</i>	**	<i>0,974</i>	***	

Tabelle 125: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffe frisch (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Bieraromastoffe frisch	1-Hexanol	0,693	-0,348	0,600	-0,216	0,134	0,466	0,171	-0,425	0,260	0,190	0,337
	1-Decanol	-0,165	-0,128	-0,678	0,185	-0,590	0,093	-0,291	0,200	-0,423	-0,126	-0,378
	1-Heptanol	0,698	-0,199	0,481	-0,361	-0,039	0,377	0,012	-0,466	0,095	0,322	0,528
	1-Octanol	-0,695	-0,061	<b>-0,870</b>	0,280	-0,490	-0,332	-0,368	0,275	-0,469	-0,391	-0,631
	2-Phenylethanol	0,348	-0,247	0,747	-0,419	0,425	0,073	0,322	-0,363	0,314	0,423	0,512
	$\alpha$ -Terpineol	0,603	-0,345	0,412	0,443	0,297	0,793	0,484	0,157	0,487	-0,166	-0,338
	Buttersäure-Ethylester	-0,752	0,272	<b>-0,877</b>	-0,004	-0,561	-0,645	-0,615	0,084	-0,609	-0,274	-0,237
	Caryophyllen	0,601	-0,175	0,781	-0,354	0,408	0,361	0,472	-0,165	0,364	0,626	0,578
	Decansäure	-0,254	0,246	-0,735	0,294	-0,531	-0,083	-0,445	0,200	-0,387	-0,388	-0,370
	Decansäure-Ethylester	-0,241	0,254	-0,720	0,302	-0,519	-0,076	-0,445	0,190	-0,372	-0,407	-0,370
	Dodecansäure	-0,281	0,065	-0,657	0,409	-0,431	-0,050	-0,400	0,122	-0,277	-0,611	-0,568
	Essigsäure-2-Phenylethylester	0,278	-0,253	0,674	-0,513	0,315	-0,065	0,145	-0,526	0,206	0,351	0,558
	Essigsäure-Furfurylester	0,326	0,117	0,559	-0,604	0,178	-0,161	-0,044	-0,520	0,081	0,430	0,803
	Essigsäure-Heptylester	0,546	-0,077	<b>0,812</b>	-0,398	0,434	0,204	0,338	-0,325	0,367	0,477	0,636
	Essigsäure-Hexylester	0,442	-0,145	0,734	-0,469	0,326	0,046	0,139	-0,536	0,264	0,318	0,616
	Essigsäure-Isobutylester	0,159	-0,043	0,567	-0,555	0,267	-0,242	0,018	-0,518	0,121	0,332	0,637
	Essigsäure-Octylester	0,209	-0,749	0,331	-0,464	-0,048	0,146	0,155	-0,393	-0,051	0,472	0,240
	Geraniol	-0,441	0,082	-0,275	0,740	0,229	-0,065	0,061	0,362	0,224	<b>-0,860</b>	<b>-0,868</b>
	g-Nonalacton	0,439	-0,384	0,490	-0,641	-0,055	0,058	-0,070	-0,672	-0,036	0,444	0,641
	Hexansäure	-0,113	-0,522	-0,254	0,080	-0,360	-0,050	-0,424	-0,492	-0,203	-0,618	-0,424
	Hexansäure-Ethylester	-0,610	-0,256	-0,769	0,129	-0,593	-0,428	-0,652	-0,239	-0,512	-0,669	-0,569
Humulen	-0,040	-0,481	-0,411	-0,017	-0,565	0,051	-0,420	-0,332	-0,372	-0,294	-0,293	
Isovaleriansäure	0,729	-0,162	<b>0,885</b>	-0,162	0,495	0,459	0,413	-0,308	0,525	0,239	0,426	
Linalool	0,704	0,246	0,254	0,522	0,185	0,754	0,270	0,263	0,425	-0,248	-0,155	
Nerol	-0,127	0,126	-0,090	0,469	0,298	0,290	0,579	<b>0,856</b>	0,234	0,192	-0,396	
Nonansäure	0,638	0,316	0,088	0,410	0,000	0,650	0,116	0,239	0,245	-0,159	-0,059	
Octansäure	-0,500	-0,093	-0,799	0,199	-0,607	-0,305	-0,599	-0,077	-0,494	-0,585	-0,527	
Octansäure-Ethylester	-0,532	-0,022	-0,806	0,236	-0,569	-0,331	-0,588	-0,031	-0,472	-0,611	-0,541	
		<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>				0,811	*	0,917	**	0,974	***	

Tabelle 126: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren frisch	2-Acetylfuran	0,460	-0,413	0,532	-0,237	0,252	0,454	0,536	0,047	0,241	0,668	0,298
	2-Furfural	-0,058	-0,096	-0,235	0,702	0,018	0,263	-0,016	0,185	0,182	<b>-0,830</b>	-0,799
	2-Phenylethanal	0,431	-0,245	0,401	0,513	0,350	0,526	0,236	-0,108	0,520	-0,640	-0,449
	2-Propionylfuran	<b>0,816</b>	0,375	0,403	0,583	0,366	<b>0,876</b>	0,476	0,441	0,580	-0,113	-0,089
	3-Methylbutanal	-0,174	-0,143	-0,711	0,007	-0,698	0,014	-0,375	0,112	-0,544	0,030	-0,219
	Benzaldehyd	-0,544	0,309	<b>-0,880</b>	0,145	-0,567	-0,346	-0,454	0,317	-0,539	-0,167	-0,289
	Bernsteinsäure-diethylester	0,659	-0,232	0,698	0,519	0,609	0,764	0,587	0,077	0,748	-0,346	-0,316
	$\gamma$ -Nonalacton	0,125	0,189	0,123	-0,725	-0,162	-0,208	-0,052	-0,131	-0,282	<b>0,922</b>	<b>0,870</b>
	Methylfurfural	0,478	0,487	0,481	<b>0,922</b>	0,788	0,700	0,693	0,677	<b>0,865</b>	-0,478	-0,458
	Nicotinsäure-ethylester	-0,312	0,257	-0,598	0,624	-0,195	0,023	-0,164	0,441	-0,091	-0,614	-0,678
	Phenyllessigsäure-ethylester	0,131	-0,156	0,247	0,676	0,408	0,324	0,190	-0,005	0,519	<b>-0,892</b>	-0,684
	Summe der Wärmeindikatoren	0,158	0,233	0,059	-0,717	-0,234	-0,174	-0,087	-0,099	-0,327	<b>0,944</b>	<b>0,883</b>
	Summe der Sauerstoff-indikatoren	0,149	-0,213	-0,227	0,450	-0,199	0,366	-0,097	0,034	0,026	-0,536	-0,538
Summe der Alterungs-komponenten	0,751	0,029	0,546	-0,230	0,199	0,599	0,483	0,150	0,255	0,792	0,576	
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>				<i>0,811</i>		<i>*</i>	<i>0,917</i>		<i>**</i>	<i>0,974</i>		<i>***</i>

Tabelle 127: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren forciert	2-Methylbutanal	-0,138	-0,130	-0,250	0,728	0,050	0,221	0,007	0,212	0,190	<b>-0,860</b>	<b>-0,863</b>
	2-Acetylfuran	-0,251	0,216	-0,684	0,420	-0,427	-0,018	-0,354	0,262	-0,281	-0,493	-0,498
	2-Furfural	0,392	-0,179	0,752	-0,449	0,398	0,060	0,261	-0,416	0,299	0,411	0,581
	2-Phenylethanal	-0,291	0,398	-0,571	0,596	-0,173	-0,027	-0,206	0,416	-0,080	-0,617	-0,582
	2-Propionylfuran	0,721	-0,315	0,493	0,024	0,181	0,738	0,477	0,072	0,324	0,388	0,146
	3-Methylbutanal	0,390	0,127	-0,174	0,449	-0,169	0,552	0,036	0,291	0,075	-0,227	-0,288
	Benzaldehyd	0,369	-0,247	0,714	0,039	0,503	0,176	0,187	-0,476	0,512	-0,359	0,031
	Bernsteinsäure-diethylester	<b>0,832</b>	0,368	0,606	0,680	0,612	<b>0,891</b>	0,612	0,430	0,787	-0,245	-0,157
	$\gamma$ -Nonalacton	-0,169	0,278	0,260	0,455	0,563	-0,133	0,146	0,062	0,470	-0,682	-0,357
	Methylfurfural	0,396	0,547	0,519	0,458	0,606	0,252	0,226	0,061	0,635	-0,522	-0,036
	Nicotinsäure-ethylester	-0,612	0,148	-0,581	-0,277	-0,520	-0,799	<b>-0,840</b>	-0,510	-0,565	-0,442	0,020
	Phenyllessigsäure-ethylester	-0,619	-0,141	-0,704	-0,125	-0,637	-0,648	<b>-0,843</b>	-0,504	-0,598	-0,613	-0,278
	Summe der Wärmeindikatoren	0,370	-0,149	0,769	-0,398	0,449	0,046	0,272	-0,405	0,342	0,338	0,538
Summe der Sauerstoff-indikatoren	0,054	0,299	-0,376	0,635	-0,134	0,287	-0,095	0,364	0,054	-0,579	-0,534	
Summe der Alterungs-komponenten	0,594	-0,037	<b>0,885</b>	-0,192	0,558	0,269	0,348	-0,352	0,526	0,164	0,464	
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>				<i>0,811</i>		<i>*</i>	<i>0,917</i>		<i>**</i>	<i>0,974</i>		<i>***</i>

Tabelle 128: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
niedermolekulare Polyphenole (HPLC)	Nr. 45 Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,596	-0,362	0,441	0,224	0,184	0,592	0,211	-0,223	0,377	-0,265	-0,156
	Nr. 50 Protochatechu- säure	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Nr. 60c Procyanidin	-0,034	0,590	-0,011	0,619	0,322	0,021	-0,004	0,251	0,351	-0,741	-0,378
	Nr. 60 Procyanidin	0,457	-0,237	0,604	0,675	0,741	0,797	<b>0,882</b>	0,517	0,797	-0,162	-0,510
	Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C)	0,247	0,335	0,448	0,653	0,652	0,276	0,291	0,128	0,686	-0,749	-0,375
	Nr. 62 Kaffeoylchinasäure	0,573	0,322	<b>0,845</b>	0,300	0,790	0,384	0,465	-0,017	0,782	-0,255	0,128
	Nr. 63 Procyanidin B1 (Ec/C)	0,433	0,284	0,698	0,377	0,702	0,283	0,318	-0,084	0,712	-0,492	-0,038
	Nr. 69 p- Hydroxybenzoe säure	0,809	0,531	0,704	0,294	0,552	0,560	0,340	0,048	0,658	-0,141	0,278
	Nr. 71 Catechin	0,419	0,290	0,775	0,146	0,708	0,175	0,329	-0,149	0,654	-0,231	0,202
	Nr. 80 Cumaroyl- chinasäure	0,604	0,100	<b>0,950</b>	0,203	<b>0,828</b>	0,439	0,582	-0,050	0,800	-0,093	0,157
	Nr. 82 Procyanidin B2 (Ec/Ec)	0,538	0,038	<b>0,840</b>	-0,306	0,542	0,232	0,442	-0,176	0,451	0,487	0,607
	Nr. 84 Favanol ä Nr.71 max 277nm	0,630	-0,124	0,313	0,482	0,290	<b>0,841</b>	0,770	0,721	0,376	<b>0,975</b>	<b>-0,975</b>
	Nr. 90 Chlorogensäure DP	0,683	0,106	<b>0,899</b>	0,603	<b>0,941</b>	0,765	<b>0,845</b>	0,344	<b>0,979</b>	-0,212	-0,195
	Nr. 100 Feruloylchinasäure	0,672	0,437	<b>0,849</b>	0,370	0,805	0,496	0,524	0,106	<b>0,823</b>	-0,207	0,147
	Nr. 105 Kaffeensäure	-0,065	-0,600	-0,224	0,320	-0,213	0,208	-0,110	-0,146	-0,045	-0,552	-0,650
	Nr. 106 Vanillinsäure	0,585	0,453	0,776	-0,128	0,614	0,296	0,512	0,132	0,523	0,505	0,632
	Nr. 130 Epicatechin	0,798	0,382	<b>0,936</b>	0,294	<b>0,817</b>	0,609	0,627	0,137	<b>0,841</b>	-0,002	0,258
	Nr. 133 Syringensäure	0,357	-0,022	0,567	-0,627	0,192	-0,012	0,179	-0,304	0,079	0,739	0,801
	Nr. 150 Cumaroyl- chinasäure	0,743	0,548	<b>0,822</b>	0,172	0,680	0,452	0,435	0,056	0,697	0,026	0,410
	Nr. 170p- Cumarsäure	0,268	0,618	0,343	0,756	0,650	0,345	0,367	0,426	0,684	-0,621	-0,343
Nr. 184 Apigeninflavon oid	0,473	-0,177	0,776	-0,430	0,407	0,165	0,340	-0,334	0,324	0,505	0,599	
Nr. 190 Ferulasäure	0,444	0,419	0,714	-0,234	0,524	0,065	0,276	-0,129	0,417	0,323	0,648	
Nr. 195 Sinapinsäure	<b>0,821</b>	0,119	<b>0,964</b>	-0,005	0,671	0,569	0,579	-0,057	0,686	0,274	0,447	
Nr. 221 Quercetingalact osid	0,505	0,223	<b>0,833</b>	0,366	<b>0,820</b>	0,378	0,489	-0,012	0,808	-0,352	-0,003	

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch		frisch	forciert	frisch	forciert
Nr. 221a Kämpferol- diglykosid	<b>0,885</b>	0,435	0,552	0,590	0,532	<b>0,948</b>	0,665	0,567	0,705	0,038	-0,015
Nr. 230/231 Q- glucosid/rutino sid	0,558	0,390	0,807	0,383	0,805	0,401	0,477	0,061	0,803	-0,310	0,069
Nr. 241 Quercetin- malonylhexosid	0,432	0,285	0,750	0,308	0,738	0,257	0,356	-0,087	0,719	-0,393	0,040
Nr. 248 Apigenin- flavonoid	-0,707	-0,309	<b>-0,900</b>	-0,049	-0,756	-0,533	-0,726	-0,248	-0,700	-0,453	-0,458
Nr. 270 Kämpferol-3- glucosid	0,693	0,498	0,749	0,566	0,782	0,608	0,540	0,248	<b>0,852</b>	-0,345	-0,024
Nr. 290 Kämpferol- lavonoid	0,649	0,415	<b>0,821</b>	0,383	0,780	0,475	0,481	0,068	0,807	-0,274	0,110
Nr. 302 Trans- Zimtsäure	-0,193	-0,077	-0,142	0,627	0,126	0,031	-0,108	-0,015	0,219	<b>-0,986</b>	-0,760
Nr. 321 Apigeninflavon oid	-0,117	0,773	0,038	0,400	0,419	-0,086	0,199	0,509	0,310	-0,198	-0,067
Nr. 340 Iso- xanthohumol	<b>0,941</b>	0,400	<b>0,892</b>	0,150	0,666	0,723	0,643	0,205	0,723	0,325	0,458
<b>Summe</b>	0,656	0,272	<b>0,939</b>	0,190	<b>0,817</b>	0,445	0,567	0,007	0,791	-0,025	0,263
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>					0,811	*	0,917	**	0,974	***	

Tabelle 129: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (Serie B)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
DLG frisch	Geruch	-0,163	-0,620	0,440	-0,297	0,308	-0,235	0,133	-0,483	0,158	-0,017	0,016	
	Trunk	<b>-0,828</b>	0,040	-0,432	0,015	-0,049	-0,676	-0,220	0,082	-0,249	-0,257	-0,309	
	Vollmundigkeit	<b>-0,893</b>	-0,394	-0,740	-0,478	-0,628	-0,790	-0,533	-0,215	-0,775	0,165	-0,080	
	Rezenz	<b>-0,904</b>	-0,533	-0,657	-0,189	-0,424	-0,631	-0,325	-0,073	-0,559	-0,069	-0,412	
	Bittere	-0,164	0,096	0,297	0,456	0,560	-0,107	0,143	-0,041	0,485	-0,760	-0,437	
	Gewichtete Note	-0,788	-0,433	-0,215	-0,208	-0,020	-0,685	-0,192	-0,261	-0,235	-0,197	-0,265	
DLG / Alterungsverkostung forciert	Geruch	0,781	-0,022	<b>0,894</b>	0,283	0,683	0,656	0,539	-0,084	0,772	-0,164	0,066	
	Trunk	<b>0,895</b>	0,077	<b>0,934</b>	0,089	0,662	0,743	0,706	0,120	0,710	0,365	0,369	
	Vollmundigkeit	-0,195	-0,606	0,210	-0,672	-0,129	-0,484	-0,334	<b>-0,868</b>	-0,234	0,073	0,324	
	Rezenz	-0,361	-0,350	0,156	0,502	0,475	-0,080	0,228	0,015	0,398	-0,761	-0,748	
	Bittere	0,705	<b>0,814</b>	0,588	0,451	0,627	0,550	0,454	0,397	0,688	-0,079	0,221	
	Gewichtete Note	<b>0,868</b>	0,169	<b>0,959</b>	0,285	0,769	0,721	0,658	0,080	<b>0,835</b>	0,013	0,197	
	Alterungsnote Geruch	<b>-0,966</b>	-0,148	<b>-0,859</b>	-0,272	-0,618	<b>-0,853</b>	-0,651	-0,158	-0,743	-0,149	-0,223	
	Alterungsnote Trunk	<b>-0,912</b>	-0,126	-0,760	-0,037	-0,473	-0,792	-0,666	-0,243	-0,554	-0,561	-0,433	
	Alterungsnote Bittere	<b>-0,973</b>	-0,322	-0,647	-0,166	-0,356	-0,776	-0,412	-0,112	-0,526	-0,208	-0,370	
	Gewichtete Alterungsnote	<b>-0,975</b>	-0,162	<b>-0,816</b>	-0,154	-0,539	<b>-0,844</b>	-0,654	-0,200	-0,651	-0,363	-0,351	
	Akzeptanz (%)		0,337	0,766	0,222	0,519	<b>0,843</b>	0,591	0,237	0,653	0,279	0,358	
kritische Werte für n=6; f=4 [409]					0,811		*	0,917		**	0,974		***

Tabelle 130: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten den St. Johanner Panels (Serie B)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung Panel St. Johan	Farbe	0,334	-0,480	0,323	0,561	0,390	0,710	0,624	0,348	0,507	-0,200	-0,592	
	Glanz/Trübung	-0,309	0,434	-0,703	0,111	-0,546	-0,323	-0,631	0,000	-0,452	-0,396	-0,135	
	Schaum/Porengröße	-0,767	-0,354	-0,516	-0,204	-0,428	-0,790	-0,726	-0,619	-0,491	-0,626	-0,313	
	Schaum/Haftvermögen	-0,778	-0,422	-0,670	-0,660	-0,775	<b>-0,932</b>	<b>-0,912</b>	-0,758	<b>-0,855</b>	-0,120	0,087	
	Ø Optik	-0,787	-0,343	-0,746	-0,361	-0,726	<b>-0,834</b>	<b>-0,901</b>	-0,633	-0,752	-0,439	-0,190	
	Geruch	-0,212	-0,574	-0,400	-0,472	-0,580	-0,111	-0,176	-0,107	-0,569	0,571	0,110	
	Geschmack	0,708	0,534	0,791	0,142	0,637	0,395	0,362	-0,015	0,655	-0,019	0,414	
	Vollmundigkeit	0,352	0,048	-0,163	0,435	-0,179	0,488	-0,044	0,151	0,069	-0,360	-0,331	
	Weichheit	-0,500	0,241	-0,593	-0,351	-0,447	-0,467	-0,255	0,260	-0,574	0,534	0,245	
	Rezenz	0,135	-0,114	0,316	-0,606	-0,092	-0,347	-0,410	<b>-0,851</b>	-0,124	0,028	0,580	
	Bittere/Intensität	0,793	0,386	0,262	0,289	0,080	0,701	0,191	0,204	0,308	0,030	0,166	
	Bittere/Intensität	-0,120	0,099	0,272	-0,131	0,396	-0,088	0,442	0,325	0,184	0,506	0,215	
	Bittere/Qualität	-0,426	-0,260	-0,222	-0,431	-0,182	-0,339	0,050	0,118	-0,359	0,637	0,183	
	Ø Verkostung	-0,092	-0,044	-0,019	-0,666	-0,201	-0,254	0,005	-0,031	-0,348	<b>0,905</b>	0,634	
	Ø DLG	0,166	-0,196	0,315	-0,675	-0,007	-0,066	0,153	-0,190	-0,128	<b>0,883</b>	0,693	
Ø Gesamt	-0,627	-0,277	-0,532	<b>-0,847</b>	-0,681	-0,804	-0,618	-0,465	<b>-0,831</b>	0,508	0,437		
kritische Werte für n=6; f=4 [409]					0,811		*	0,917		**	0,974		***

Tabelle 131: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner frisch (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung n. Kaltner frisch	Geruch Intensität Hopfenaroma	0,756	0,146	0,703	-0,377	0,290	0,420	0,377	-0,085	0,295	0,737	0,779
	Geruch Qualität Hopfenaroma	0,359	-0,105	0,135	-0,688	-0,298	0,090	-0,019	-0,195	-0,293	<b>0,934</b>	0,774
	Trunk Intensität Hopfenaroma	<b>0,870</b>	0,179	0,801	0,316	0,583	0,709	0,459	-0,019	0,720	-0,153	0,135
	Trunk Qualität Hopfenaroma	0,570	0,555	0,539	-0,074	0,449	0,403	0,563	0,447	0,387	0,733	0,610
	Geruch fruchtig	0,654	-0,091	0,369	-0,535	-0,167	0,301	-0,016	-0,371	-0,067	0,635	0,731
	Geruch blumig	-0,257	-0,141	-0,390	<b>-0,950</b>	-0,736	-0,587	-0,625	-0,534	-0,804	0,696	0,727
	Geruch citrus	0,408	-0,177	0,524	-0,714	0,031	-0,010	0,022	-0,518	-0,024	0,672	<b>0,814</b>
	Geruch grün-grasig	0,634	0,441	0,757	0,755	<b>0,945</b>	0,754	<b>0,845</b>	0,600	<b>0,978</b>	-0,239	-0,223
	Geruch hopfenwürzig	0,469	-0,351	<b>0,858</b>	0,286	0,788	0,547	0,742	0,058	0,768	-0,064	-0,161
	Geruch sonstige	0,305	0,194	-0,238	0,310	-0,288	0,325	-0,237	0,026	-0,051	-0,365	-0,180
	Trunk fruchtig	0,379	0,322	0,782	-0,015	0,702	0,109	0,390	-0,079	0,587	0,060	0,378
	Trunk blumig	-0,375	0,285	-0,485	-0,765	-0,643	-0,724	-0,693	-0,373	-0,745	0,478	0,680
	Trunk citrus	0,000	-0,220	0,288	<b>-0,837</b>	-0,098	-0,408	-0,202	-0,629	-0,243	0,577	0,751
	Trunk grün-grasig	0,407	-0,486	0,422	0,532	0,439	0,731	0,634	0,273	0,559	-0,207	-0,534
	Trunk hopfenwürzig	0,513	0,013	0,575	<b>0,866</b>	0,782	<b>0,835</b>	<b>0,820</b>	0,572	<b>0,881</b>	-0,406	-0,585
	Bittere Gesamtintensität	0,222	0,271	0,208		0,621	0,617	0,614	0,732	0,706	-0,598	-0,743
	Bittere Antrunk	0,337		0,096	0,271	0,243	0,196	0,145	0,496	0,256	0,094	0,306
	Bittere Trunk	0,237	0,496	0,098	0,732	0,485	0,590	0,694		0,508	0,042	-0,358
	Bittere Nachtrunk	<b>0,843</b>	0,196	0,636	0,617	0,633		<b>0,818</b>	0,590	0,780	0,060	-0,139
	Harmonie	0,279	0,094	0,125	-0,598	-0,171	0,060	0,106	0,042	-0,225		0,763
normal (harmonisch)	0,145	-0,286	0,447	-0,324	0,307	0,128	0,488	0,089	0,168	0,700	0,336	
hart	0,245	0,668	0,010	0,016	0,104	0,233	0,332	0,663	0,061	0,671	0,406	
harmonisch, langer Nachtrunk	0,044	0,140	0,129	0,154	0,097	-0,148	-0,323	-0,451	0,157	-0,723	-0,112	
schwach	-0,022	0,417	-0,637	0,016	-0,621	-0,047	-0,488	0,124	-0,469	-0,014	0,066	
hart und breit	-0,066	-0,100	-0,237	0,705	0,021	0,259	-0,014	0,188	0,183	<b>-0,834</b>	-0,806	
Antrunk abgerundet aber nachhängend	-0,470	-0,810	0,053	-0,391	-0,061	-0,491	-0,216	-0,660	-0,187	-0,174	-0,138	
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>					<i>0,811</i>	*	<i>0,917</i>	**	<i>0,974</i>	***		

Tabelle 132: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie B)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung n. Kaltner forciert	Geruch Intensität Hopfenaroma	0,549	0,053	0,686	-0,096	0,533	0,491	0,718	0,318	0,463	0,719	0,426
	Geruch Qualität Hopfenaroma	0,379	0,528	-0,146	-0,187	-0,272	0,264	0,037	0,385	-0,201	0,722	0,545
	Trunk Intensität Hopfenaroma	0,390	-0,105	0,617	-0,351	0,382	0,246	0,519	0,055	0,272	0,765	0,537
	Trunk Qualität Hopfenaroma	0,741	0,341	0,539	0,056	0,399	0,695	0,679	0,526	0,431	0,732	0,446
	Geruch fruchtig	0,099	-0,138	0,688	0,214	0,742	0,067	0,412	-0,142	0,630	-0,360	-0,156
	Geruch blumig	-0,429	0,278	-0,409	-0,530	-0,499	-0,793	<b>-0,811</b>	-0,581	-0,573	-0,103	0,410
	Geruch citrus	-0,129	-0,016	0,276	-0,674	0,069	-0,475	-0,104	-0,421	-0,135	0,486	0,648
	Geruch grün-grasig	0,632	0,025	0,523	0,790	0,651	<b>0,938</b>	0,810	0,615	0,792	-0,214	-0,469
	Geruch hopfenwürzig	0,252	0,218	0,756	0,203	<b>0,815</b>	0,133	0,490	0,033	0,691	-0,158	0,079
	Geruch sonstige	0,112	-0,488	-0,312	-0,323	-0,640	0,076	-0,390	-0,391	-0,467	0,144	0,074
	Trunk fruchtig	0,259	0,321	0,625	0,604	<b>0,845</b>	0,295	0,504	0,225	0,805	-0,552	-0,290
	Trunk blumig	-0,223	0,089	0,239	-0,205	0,218	-0,500	-0,250	-0,512	0,082	-0,346	0,166
	Trunk citrus	0,237	0,117	0,660	-0,322	0,512	-0,018	0,376	-0,086	0,338	0,477	0,546
	Trunk grün-grasig	0,621	-0,093	0,493	0,601	0,550	<b>0,924</b>	<b>0,835</b>	0,618	0,668	0,079	-0,331
	Trunk hopfenwürzig	0,305	0,266	0,690	-0,263	0,514	-0,058	0,210	-0,255	0,383	0,202	0,555
	Bittere Gesamtintensität	0,519	0,243	<b>0,835</b>	0,621		0,633	<b>0,878</b>	0,485	<b>0,968</b>	-0,171	-0,203
	Bittere Antrunk	0,766	0,096		0,208	<b>0,835</b>	0,636	0,733	0,098	<b>0,836</b>	0,125	0,223
	Bittere Trunk	0,653	0,256	<b>0,836</b>	0,706	<b>0,968</b>	0,780	<b>0,883</b>	0,508		-0,225	-0,242
	Bittere Nachtrunk	0,591	0,145	0,733	0,614	<b>0,878</b>	<b>0,818</b>		0,694	<b>0,883</b>	0,106	-0,209
	Harmonie	0,358	0,306	0,223	-0,743	-0,203	-0,139	-0,209	-0,358	-0,242	0,763	
	normal (harmonisch)	-0,047	-0,400	0,462	-0,566	0,211	-0,284	0,079	-0,493	0,037	0,363	0,423
	kratzig	0,155	0,307	0,645	0,166	0,730	0,002	0,356	-0,008	0,595	-0,209	0,103
	hart	-0,409	0,422	-0,716	-0,355	-0,629	-0,471	-0,481	0,163	-0,680	0,424	0,324
	harmonisch, langer Nachtrunk	-0,051	0,396	-0,606	0,136	-0,549	-0,061	-0,516	0,056	-0,385	-0,266	-0,078
	schwach	-0,292	-0,726	-0,528	-0,365	-0,716	-0,178	-0,425	-0,355	-0,630	0,132	-0,134
	hart und breit	-0,606	-0,290	-0,235	0,557	0,240	-0,162	0,160	0,291	0,158	-0,659	<b>-0,886</b>
Antrunk abgerundet aber nachhängend	<b>0,895</b>	0,459	0,637	0,567	0,631	<b>0,957</b>	0,774	0,634	0,765	0,150	0,042	
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>					<i>0,811</i>	*	<i>0,917</i>	**	<i>0,974</i>	***		

Tabelle 133: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie B)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Hopfen gabe	Pelletmenge Kochmitte	0,699	0,382	0,804	0,532	0,802	0,611	0,556	0,173	<b>0,869</b>	-0,351	-0,034
<i>kritische Werte für n=6; f=4 [409]</i>					0,811 *		0,917 **		0,974 ***			

Tabelle 134: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Bieranalysen	Alkohol [%vol]	<b>-0,853</b>	0,734	0,481	<b>0,970</b>	0,510	<b>0,815</b>	0,332	0,776	0,759	<b>-0,904</b>	-0,438
	$\alpha$ -Säuren [mg/l]	0,317	-0,500	-0,598	-0,075	-0,750	-0,175	<b>-0,834</b>	-0,355	-0,523	0,042	0,709
	Anthozyanogene [mg/l]	-0,077	0,300	0,273	0,485	0,010	0,583	-0,060	0,372	0,033	-0,515	0,163
	Bittereinheiten	-0,195	0,670	0,677	0,375	0,646	0,748	0,733	0,523	0,389	-0,275	-0,354
	BE/iso- $\alpha$ -Säuren	0,053	0,449	0,704	0,123	0,477	0,389	0,607	0,366	0,160	-0,260	-0,252
	co-iso- $\alpha$ -Säuren (mg/l)	0,044	-0,227	-0,413	-0,293	-0,092	-0,201	0,046	-0,393	-0,015	0,406	0,138
	Farbe	0,778	-0,646	-0,312	<b>-0,887</b>	-0,421	-0,809	-0,269	-0,648	-0,680	0,742	0,317
	Gesamtpolyphenole [mg/l]	-0,378	0,641	<b>0,845</b>	0,258	<b>0,822</b>	0,274	0,805	0,606	0,558	-0,279	<b>-0,840</b>
	iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	-0,224	-0,056	-0,410	0,140	-0,118	0,112	-0,208	-0,080	0,101	0,133	0,078
	n-/ad-iso- $\alpha$ -Säuren (mg/l)	-0,372	0,182	-0,113	0,539	-0,064	0,393	-0,352	0,339	0,162	-0,278	-0,047
	pH-Wert	-0,671	0,608	0,477	<b>0,854</b>	0,366	0,696	0,246	0,666	0,592	<b>-0,938</b>	-0,261
	scheinbarer Extrakt [GG%]	<b>0,823</b>	-0,668	-0,366	<b>-0,884</b>	-0,486	-0,721	-0,226	-0,744	-0,701	0,662	0,523
	Stammwürze [%mas]	<b>-0,818</b>	0,720	0,500	<b>0,951</b>	0,492	0,806	0,354	0,748	0,740	<b>-0,948</b>	-0,383
	Tannoide [mg/l]	-0,383	<b>0,814</b>	<b>0,853</b>	0,652	0,699	<b>0,840</b>	0,600	<b>0,824</b>	0,487	-0,547	-0,545
	Vergärungsgrad scheinbar [%]	<b>-0,855</b>	0,709	0,417	<b>0,938</b>	0,506	0,775	0,272	0,773	0,740	-0,770	-0,502
<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>					0,811 *		0,917 **		0,974 ***			

Tabelle 135: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (Serie C)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Bieraromastoffe frisch	1-Hexanol	0,430	-0,349	-0,143	-0,603	-0,110	-0,599	-0,163	-0,281	-0,381	0,723	-0,150
	1-Decanol	<b>-0,832</b>	0,714	0,491	<b>0,951</b>	0,490	0,789	0,347	0,745	0,749	<b>-0,949</b>	-0,393
	1-Heptanol	-0,192	0,002	-0,194	0,386	-0,242	0,186	-0,544	0,219	-0,039	-0,195	0,067
	1-Octanol	-0,704	0,624	0,472	<b>0,821</b>	0,422	0,704	0,392	0,601	0,667	<b>-0,951</b>	-0,240
	2-Phenylethanol	0,707	-0,516	-0,292	<b>-0,860</b>	-0,252	-0,635	-0,061	-0,612	-0,557	<b>0,856</b>	0,225
	$\alpha$ -Terpineol	0,090	-0,521	-0,546	-0,452	-0,335	-0,743	-0,385	-0,466	-0,191	0,470	0,031
	Buttersäure-Ethylester	-0,021	0,276	0,353	0,327	0,088	0,466	0,189	0,242	0,076	-0,537	0,188
	Caryophyllen	0,172	0,211	0,287	-0,179	0,366	0,133	0,369	0,143	-0,011	0,441	-0,351
	Decansäure	-0,786	0,702	0,491	<b>0,947</b>	0,458	0,798	0,295	0,754	0,696	<b>-0,932</b>	-0,369
	Decansäure-Ethylester	-0,765	0,669	0,455	<b>0,935</b>	0,416	0,776	0,240	0,735	0,661	<b>-0,912</b>	-0,341
	Dodecansäure	-0,663	0,591	0,392	<b>0,882</b>	0,312	0,746	0,145	0,668	0,551	<b>-0,872</b>	-0,224
	Essigsäure-2-Phenylethylester	0,706	-0,549	-0,308	<b>-0,877</b>	-0,277	-0,699	-0,108	-0,620	-0,572	<b>0,863</b>	0,208
	Essigsäure-Furfurylester	0,207	0,031	-0,021	-0,214	0,132	0,065	0,103	-0,021	-0,126	0,550	-0,147
	Essigsäure-Heptylester	0,696	-0,540	-0,280	<b>-0,866</b>	-0,267	-0,717	-0,123	-0,588	-0,570	<b>0,852</b>	0,166
	Essigsäure-Hexylester	0,693	-0,501	-0,214	<b>-0,850</b>	-0,226	-0,687	-0,068	-0,556	-0,549	0,808	0,147
	Essigsäure-Isobutylester	0,786	-0,547	-0,267	<b>-0,885</b>	-0,304	-0,655	-0,106	-0,624	-0,633	<b>0,833</b>	0,286
	Essigsäure-Octylester	0,474	-0,323	-0,172	-0,674	-0,048	-0,500	0,039	-0,390	-0,347	0,800	-0,055
	Geraniol	-0,345	0,179	0,250	0,374	0,095	0,010	-0,149	0,397	0,213	-0,449	-0,328
	g-Nonalacton	0,656	-0,642	-0,440	<b>-0,894</b>	-0,364	<b>-0,818</b>	-0,222	-0,690	-0,571	<b>0,874</b>	0,230
	Hexansäure	-0,504	0,277	0,162	0,645	0,036	0,357	-0,118	0,405	0,344	-0,770	-0,050
	Hexansäure-Ethylester	-0,356	0,313	0,344	0,533	0,119	0,348	0,061	0,397	0,291	-0,762	-0,051
	Humulen	-0,537	0,527	0,537	0,708	0,342	0,483	0,143	0,676	0,455	-0,789	-0,382
	Isovaleriansäure	0,029	0,046	0,227	-0,270	0,309	-0,327	0,224	0,090	0,055	0,387	-0,554
	Linalool	0,037	-0,428	-0,469	-0,069	-0,512	-0,449	-0,733	-0,199	-0,272	0,065	0,197
	Nerol	-0,458	0,686	<b>0,854</b>	0,310	<b>0,865</b>	0,334	<b>0,903</b>	0,599	0,653	-0,377	<b>-0,816</b>
	Nonansäure	-0,041	0,117	0,215	0,318	-0,082	0,177	-0,269	0,319	-0,062	-0,385	0,003
Octansäure	-0,568	0,518	0,426	0,770	0,274	0,614	0,174	0,582	0,489	<b>-0,897</b>	-0,166	
Octansäure-Ethylester	-0,694	0,597	0,436	<b>0,872</b>	0,346	0,694	0,201	0,667	0,594	<b>-0,926</b>	-0,263	
<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>				<i>0,811 *</i>		<i>0,917 **</i>		<i>0,974 ***</i>				

Tabelle 136: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Alterungsindikatoren frisch	2-Methylbutanal	0,251	0,254	0,466	-0,228	0,429	0,152	0,589	0,109	0,004	0,273	-0,266
	2-Acetylfuran	-0,134	0,035	-0,256	0,412	-0,267	0,411	-0,439	0,133	-0,049	0,217	0,302
	2-Phenylethanal	-0,166	0,208	0,168	-0,096	0,420	0,068	0,622	0,023	0,338	0,110	-0,274
	2-Propionylfuran	0,491	0,063	0,239	-0,267	-0,044	0,101	-0,103	0,050	-0,413	0,295	-0,018
	3-Methylbutanal	0,746	<b>0,858</b>	-0,795	-0,672	<b>-0,887</b>	0,714	<b>-0,945</b>	0,709	<b>-0,886</b>	0,716	0,684
	Bernsteinsäurediethylester	0,198	0,038	0,156	0,039	-0,145	0,050	-0,332	0,179	-0,266	0,057	-0,009
	$\gamma$ -Nonalacton	0,322	0,356	-0,432	-0,160	-0,470	0,188	-0,707	0,161	-0,486	0,433	0,250
	Methylfurfural	-0,242	0,531	0,778	0,292	0,595	0,250	0,469	0,624	0,340	0,315	-0,682
	Nicotinsäureethylester	-0,726	0,655	0,621	0,806	0,514	0,531	0,284	0,793	0,648	<b>0,839</b>	-0,592
	Phenyllessigsäureethylester	0,454	0,502	-0,459	-0,626	-0,349	0,460	-0,020	0,708	-0,349	0,447	0,517
	Summe der Wärmeindikatoren	0,322	0,356	-0,432	-0,160	-0,470	0,188	-0,707	0,161	-0,486	0,433	0,250
	Summe der Sauerstoffindikatoren	0,792	<b>0,906</b>	<b>-0,845</b>	-0,767	<b>-0,891</b>	0,778	<b>-0,911</b>	0,793	<b>-0,908</b>	<b>0,820</b>	0,699
	Summe der Alterungskomponenten	0,276	0,282	-0,383	0,003	-0,498	0,007	-0,721	0,086	-0,457	0,211	0,365
			<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>				0,811 *		0,917 **		0,974 ***	

Tabelle 137: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Alterungsindikatoren forciert	2-Methylbutanal	0,419	-	0,203	-0,529	0,181	-	0,184	-	-0,254	0,717	-0,268
	2-Acetylfuran	0,480	0,789	<b>-0,887</b>	-0,329	<b>-0,909</b>	0,493	<b>-0,905</b>	0,777	-0,639	0,157	<b>0,941</b>
	2-Furfural	-0,416	0,487	0,765	0,264	0,582	0,053	0,660	0,507	0,519	-	-0,603
	2-Phenylethanal	-0,547	0,758	0,590	0,496	0,763	0,754	0,700	0,736	0,622	0,131	-0,754
	2-Propionylfuran	0,785	0,498	-0,086	<b>-0,890</b>	-0,254	0,789	-0,198	0,507	-0,642	0,805	0,150
	3-Methylbutanal	0,663	0,360	-0,202	-0,703	-0,190	0,407	-0,204	0,386	-0,557	<b>0,917</b>	0,113
	Benzaldehyd	-0,088	0,428	0,788	-0,109	0,649	0,054	0,705	0,425	0,288	0,053	-0,724
	Bernsteinsäurediethylester	0,707	0,632	-0,203	-0,782	-0,458	<b>0,925</b>	-0,365	0,620	-0,635	0,439	0,382
	$\gamma$ -Nonalacton	-0,306	0,535	<b>0,869</b>	0,115	0,704	0,041	0,773	0,544	0,472	0,285	-0,754
	Methylfurfural	<b>0,842</b>	0,559	-0,218	<b>-0,917</b>	-0,336	0,756	-0,300	0,574	-0,718	<b>0,915</b>	0,238
	Nicotinsäureethylester	0,284	0,622	<b>-0,882</b>	-0,097	-0,806	0,197	<b>-0,839</b>	0,616	-0,475	0,061	<b>0,864</b>
	Phenyllessigsäureethylester	0,727	0,441	0,002	<b>-0,849</b>	-0,190	0,782	-0,123	0,447	-0,575	0,721	0,085
	Summe der Wärmeindikatoren	-0,400	0,504	0,797	0,238	0,615	0,052	0,693	0,522	0,517	0,505	-0,642
	Summe der Sauerstoffindikatoren	-0,045	0,384	0,397	-0,035	0,502	0,295	0,459	0,356	0,175	0,381	-0,545
	Summe der Alterungskomponenten	-0,268	0,392	0,737	0,099	0,530	0,084	0,616	0,410	0,395	0,390	-0,570
<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>					0,811 *		0,917 **		0,974 ***			

Tabelle 138: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (Serie C)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Nr. 45 Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,004	0,108	0,263	0,237	-0,038	0,096	-0,228	0,317	-0,082	-0,300	-0,080
Nr. 50 Protocatechusäure	-0,069	0,162	0,458	-0,137	0,397	-0,271	0,373	0,204	0,181	0,026	-0,574
Nr. 60c Procyanidin	<b>-0,921</b>	0,809	0,589	<b>0,975</b>	0,637	<b>0,814</b>	0,500	<b>0,815</b>	<b>0,869</b>	<b>-0,956</b>	-0,546
Nr. 60 Procyanidin	0,091	-0,021	0,199	-0,389	0,273	-0,337	0,511	-0,186	0,107	0,187	-0,225
Nr. 61 Procyanidin B3 (C/C)	-0,632	0,777	<b>0,832</b>	0,761	0,677	0,630	0,487	<b>0,880</b>	0,642	-0,775	-0,695
Nr. 62 Kaffeylchinasäure	0,000	0,381	0,686	0,004	0,535	0,082	0,494	0,416	0,164	-0,012	-0,597
Nr. 63 Procyanidin B1 (Ec/C)	-0,020	0,342	0,657	-0,074	0,548	0,022	0,674	0,261	0,242	-0,097	-0,489
Nr. 69 p-Hydroxybenzoesäure	0,516	-0,219	0,077	-0,431	-0,117	-0,355	-0,207	-0,085	-0,465	0,500	-0,068
Nr. 71 Catechin	0,002	0,416	0,698	-0,036	0,609	0,124	0,628	0,384	0,208	0,051	-0,612
Nr. 80 Cumaroylchinasäure	-0,187	0,505	0,767	0,266	0,557	0,249	0,448	0,594	0,290	-0,306	-0,623
Nr. 82 Procyanidin B2 ( Ec/Ec )	0,561	-0,396	-0,175	-0,755	-0,110	-0,602	-0,004	-0,448	-0,427	<b>0,813</b>	-0,005
Nr. 90 Chlorogensäure DP	0,468	-0,088	0,291	-0,499	0,131	-0,328	0,242	-0,111	-0,275	0,403	-0,156
Nr. 100 Feruloylchinasäure	0,158	0,226	0,550	-0,163	0,403	-0,060	0,375	0,265	0,004	0,173	-0,490
Nr. 105 Kaffeesäure	0,231	0,266	0,495	0,047	0,214	0,349	0,361	0,198	-0,059	-0,199	0,049
Nr. 106 Vanillinsäure	0,578	-0,504	-0,286	-0,783	-0,233	-0,722	-0,182	-0,498	-0,499	<b>0,842</b>	0,036
Nr. 130 Epicatechin	0,137	0,175	0,517	-0,066	0,263	-0,071	0,206	0,275	-0,037	-0,032	-0,360
Nr. 133 Syringasäure	0,745	-0,634	-0,371	<b>-0,920</b>	-0,368	-0,792	-0,200	-0,684	-0,632	<b>0,859</b>	0,275
Nr. 150 Cumaroylchinasäure	0,008	0,416	0,709	-0,015	0,590	0,132	0,595	0,403	0,191	0,020	-0,600
Nr. 170p-Cumarsäure	-0,514	0,637	0,703	0,648	0,541	0,486	0,285	0,802	0,484	-0,597	-0,656
Nr. 184 Apigeninflavonoid	0,593	-0,393	-0,127	-0,785	-0,099	-0,597	0,096	-0,495	-0,417	0,734	0,068
Nr. 190 Ferulasäure	0,596	-0,486	-0,210	-0,693	-0,285	-0,695	-0,321	-0,385	-0,561	0,728	0,034
Nr. 195 Sinapinsäure	0,770	-0,627	-0,324	-0,770	-0,488	-0,734	-0,481	-0,521	-0,748	0,736	0,292
Nr. 221 Quercetingalactosid	0,150	0,261	0,562	0,057	0,261	0,144	0,191	0,363	-0,054	-0,108	-0,283
Nr. 221a Kämpferoldiglykosid	-0,344	0,324	0,302	0,490	0,184	0,271	-0,153	0,561	0,208	-0,333	-0,410
Nr. 230/231 Q-glucosid/rutinosid	0,119	0,339	0,664	-0,041	0,461	0,113	0,460	0,358	0,061	0,010	-0,461
Nr. 241 Quercetinmalonylhexosid	-0,092	0,541	0,795	0,111	0,689	0,285	0,691	0,511	0,300	-0,083	-0,656
Nr. 248 Apigeninflavonoid	-0,720	0,771	0,499	0,774	0,667	<b>0,823</b>	0,500	0,746	0,713	-0,487	-0,600
Nr. 270 Kämpferol-3-glucosid	0,201	0,139	0,473	-0,047	0,167	-0,019	0,121	0,245	-0,115	-0,074	-0,217
Nr. 290 Kämpferolflavonoid	0,048	0,341	0,648	0,089	0,386	0,145	0,315	0,429	0,066	-0,143	-0,428
Nr. 302 Trans-Zimtsäure	<b>0,852</b>	-0,688	-0,361	<b>-0,901</b>	-0,504	-0,771	-0,305	-0,714	-0,749	0,717	0,471
Nr. 321 Apigeninflavonoid	-0,406	0,721	0,641	0,590	0,637	0,742	0,432	0,768	0,448	-0,281	-0,617
Nr. 340 Isoxanthohumol	0,634	-0,520	-0,202	-0,650	-0,383	-0,689	-0,414	-0,387	-0,621	0,590	0,154
Summe	0,245	0,118	0,454	-0,296	0,333	-0,182	0,343	0,135	-0,072	0,290	-0,424
				<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>		0,811 *		0,917 **		0,974 ***	

Tabelle 139: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
DLG frisch	Geruch	0,786	-0,804	<b>-0,820</b>	-0,772	-0,762	-0,607	-0,701	-0,799	<b>-0,835</b>	<b>0,912</b>	0,690
	Trunk	-0,453	0,116	-0,097	0,377	0,040	0,056	-0,283	0,301	0,251	-0,138	-0,335
	Vollmundigkeit	0,121	-0,541	-0,615	-0,134	-0,651	-0,486	<b>-0,826</b>	-0,338	-0,367	0,105	0,384
	Rezenz	0,471	<b>-0,829</b>	<b>-0,885</b>	-0,468	<b>-0,919</b>	-0,633	<b>-0,873</b>	-0,758	-0,649	0,325	<b>0,837</b>
	Bittere	0,420	<b>-0,844</b>	<b>-0,904</b>	-0,548	<b>-0,849</b>	-0,736	-0,759	<b>-0,821</b>	-0,569	0,390	0,752
	Gewichtete Note	0,458	<b>-0,828</b>	<b>-0,939</b>	-0,516	<b>-0,866</b>	-0,679	<b>-0,926</b>	-0,719	-0,657	0,571	0,659
DLG / Alterungsverkostung forciert	Geruch	<b>0,938</b>	-0,611	-0,436	-0,714	-0,614	-0,383	-0,489	-0,613	<b>-0,882</b>	0,737	0,685
	Trunk	0,185	-0,576	-0,685	-0,174	-0,694	-0,469	<b>-0,883</b>	-0,374	-0,436	0,223	0,427
	Vollmundigkeit	0,211	-0,672	<b>-0,841</b>	-0,276	-0,756	-0,539	<b>-0,872</b>	-0,537	-0,451	0,324	0,531
	Rezenz	0,472	<b>-0,847</b>	<b>-0,971</b>	-0,519	<b>-0,906</b>	-0,630	<b>-0,846</b>	<b>-0,817</b>	-0,640	0,461	<b>0,832</b>
	Bittere	0,527	-0,688	-0,672	-0,711	-0,530	-0,744	-0,565	-0,633	-0,588	<b>0,871</b>	0,278
	Gewichtete Note	0,536	<b>-0,851</b>	<b>-0,922</b>	-0,550	<b>-0,898</b>	-0,692	<b>-0,965</b>	-0,722	-0,730	0,603	0,686
	ALTERUNGSNOTE Geruch	<b>-0,942</b>	0,794	0,689	0,765	<b>0,816</b>	0,545	0,741	0,752	<b>0,968</b>	<b>-0,812</b>	-0,801
	Alterungsnote Trunk	-0,799	<b>0,829</b>	0,676	0,808	0,747	<b>0,813</b>	0,776	0,707	<b>0,869</b>	<b>-0,858</b>	-0,516
	ALTERUNGSNOTE Bittere	-0,784	0,774	0,495	<b>0,943</b>	0,553	<b>0,909</b>	0,376	0,792	0,720	-0,773	-0,447
	Gewichtete Alterungsnote	<b>-0,929</b>	<b>0,875</b>	0,712	<b>0,877</b>	<b>0,813</b>	0,774	0,766	0,800	<b>0,965</b>	<b>-0,898</b>	-0,679
	Akzeptanz (%)		<b>-0,818</b>	-0,614	<b>-0,899</b>	-0,756	-0,672	-0,599	<b>-0,820</b>	<b>-0,964</b>	<b>0,846</b>	0,759
	kritische Werte für n=6 f=4 [409]					0,811 *		0,917 **		0,974 ***		

Tabelle 140: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und den Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Verkostung Panel St. Johan	Schaum/ Porengröße	0,006	0,095	0,102	-0,069	-0,034	0,365	-0,240	0,119	-0,084	0,030	-0,287
	Schaum/ Haftvermögen	-0,098	0,156	0,228	0,376	-0,058	0,225	-0,252	0,356	-0,013	0,438	-0,014
	Ø Optik	-0,055	0,042	0,190	0,187	-0,052	0,061	-0,277	0,275	-0,052	0,245	-0,162
	Geruch	0,013	0,278	-0,431	0,187	-0,550	0,012	-0,619	0,168	-0,218	0,291	0,563
	Geschmack	-0,274	0,113	-0,087	0,544	-0,205	0,387	-0,393	0,260	0,074	0,516	0,209
	Vollmundigkeit	0,605	0,549	-0,534	-0,499	-0,594	0,260	-0,305	0,691	-0,563	0,319	<b>0,845</b>
	Weichheit	<b>0,887</b>	0,634	-0,458	-0,745	-0,585	0,512	-0,565	0,570	<b>-0,868</b>	<b>0,859</b>	0,504
	Rezenz	-0,164	0,121	-0,185	0,020	-0,126	0,104	0,089	0,255	0,160	0,333	0,287
	Bittere/ Intensität	-0,631	0,728	0,530	0,782	0,553	<b>0,886</b>	0,584	0,615	0,674	0,786	-0,261
	Bittere/ Intensität	<b>0,922</b>	0,784	-0,566	-0,759	-0,788	0,645	-0,733	0,691	<b>-0,950</b>	0,694	0,714
	Bittere/ Qualität	0,328	0,627	-0,755	-0,266	-0,751	0,444	<b>-0,927</b>	0,444	-0,561	0,397	0,516
	Ø Verkostung	0,181	0,403	-0,538	0,049	-0,671	0,074	-0,737	0,283	-0,386	0,116	0,672
	Ø DLG	0,054	0,312	-0,472	0,155	-0,587	0,001	-0,656	0,201	-0,262	0,238	0,599
	Ø Gesamt	0,150	0,353	-0,440	0,087	-0,615	0,081	-0,727	0,191	-0,359	0,161	0,567
	kritische Werte für n=6 f=4 [409]					0,811 *		0,917 **		0,974 ***		

Tabelle 141: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner (Serie C)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung n. Kaltner frisch	Geruch Intensität Hopfenaroma	0,359	-0,197	-0,075	-0,569	0,062	-0,311	0,338	-0,410	-0,158	0,523	0,062
	Geruch Qualität Hopfenaroma	0,525	-0,230	0,081	-0,646	0,025	-0,410	0,290	-0,374	-0,301	0,479	0,068
	Trunk Intensität Hopfenaroma	-0,471	0,686	0,793	0,550	0,676	0,464	0,443	<b>0,814</b>	0,505	-0,446	-0,794
	Trunk Qualität Hopfenaroma	0,579	-0,293	0,015	-0,708	-0,017	-0,514	0,115	-0,347	-0,402	0,695	-0,045
	Geruch fruchtig	0,300	-0,401	-0,376	-0,630	-0,127	-0,562	0,026	-0,530	-0,215	0,678	0,059
	Geruch blumig	0,720	-0,724	-0,656	<b>-0,814</b>	-0,598	-0,606	-0,302	<b>-0,879</b>	-0,647	0,691	0,719
	Geruch citrus	0,394	-0,315	-0,149	-0,566	-0,116	-0,390	0,229	-0,526	-0,220	0,317	0,298
	Geruch grün-grasig	-0,132	0,662	0,747	0,303	0,680	0,661	0,725	0,557	0,338	-0,181	-0,462
	Geruch hopfenwürzig	-0,190	0,090	-0,134	0,487	-0,224	0,398	-0,451	0,249	-0,011	-0,341	0,200
	Trunk fruchtig	0,360	-0,394	-0,370	-0,644	-0,135	-0,509	0,030	-0,535	-0,261	0,718	0,101
	Trunk blumig	0,470	-0,312	-0,195	-0,592	-0,128	-0,306	0,212	-0,541	-0,285	0,450	0,342
	Trunk citrus	0,282	0,022	0,189	-0,307	0,157	0,010	0,488	-0,209	-0,051	0,112	0,138
	Trunk grün-grasig	-0,375	0,796	<b>0,868</b>	0,560	0,757	0,713	0,614	<b>0,829</b>	0,486	-0,396	-0,703
	Trunk hopfenwürzig	0,078	-0,020	-0,127	0,260	-0,282	0,253	-0,528	0,175	-0,242	-0,061	0,202
	Bittere Gesamintensität	<b>-0,899</b>	<b>0,873</b>	0,669		0,694	<b>0,879</b>	0,513	<b>0,904</b>	<b>0,855</b>	<b>-0,916</b>	-0,623
	Bittere Antrunk	<b>-0,818</b>		<b>0,920</b>	<b>0,873</b>	<b>0,944</b>	<b>0,890</b>	<b>0,835</b>	<b>0,965</b>	<b>0,901</b>	-0,783	<b>-0,830</b>
	Bittere Trunk	<b>-0,820</b>	<b>0,965</b>	<b>0,889</b>	<b>0,904</b>	<b>0,877</b>	<b>0,849</b>	0,689		<b>0,852</b>	-0,790	<b>-0,841</b>
	Bittere Nachtrunk	-0,672	<b>0,890</b>	0,724	<b>0,879</b>	0,714		0,621	<b>0,849</b>	0,715	-0,749	-0,508
	Harmonie	<b>0,846</b>	-0,783	-0,658	<b>-0,916</b>	-0,624	-0,749	-0,529	-0,790	<b>-0,821</b>		0,514
	Bitterprofil normal (harmonisch)	0,672	-0,587	-0,400	<b>-0,862</b>	-0,339	-0,667	-0,058	-0,739	-0,528	0,743	0,389
normal (harmonisch)	0,672	-0,587	-0,400	<b>-0,862</b>	-0,339	-0,667	-0,058	-0,739	-0,528	0,743	0,389	
harmonisch, langer Nachtrunk	-0,344	0,324	0,302	0,490	0,184	0,271	-0,153	0,561	0,208	-0,333	-0,410	
hart und breit	-0,519	0,416	0,154	0,589	0,245	0,626	0,333	0,282	0,506	-0,648	0,032	
		<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>				<i>0,811 *</i>		<i>0,917 **</i>		<i>0,974 ***</i>		

Tabelle 142: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostung n. Kaltner forciert (Serie C)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Geruch Intensität Hopfenaroma	0,336	0,093	0,314	-0,387	0,312	-0,029	0,532	-0,082	-0,078	0,377	-0,151	
Geruch Qualität Hopfenaroma	0,733	-0,529	-0,280	<b>-0,844</b>	-0,286	-0,662	-0,183	-0,550	-0,619	<b>0,891</b>	0,175	
Trunk Intensität Hopfenaroma	0,121	0,395	0,608	0,132	0,379	0,358	0,286	0,463	-0,003	-0,020	-0,354	
Trunk Qualität Hopfenaroma	0,544	-0,080	0,142	-0,514	0,104	-0,135	0,236	-0,174	-0,338	0,617	-0,032	
Geruch fruchtig	0,534	-0,495	-0,464	-0,729	-0,276	-0,510	-0,088	-0,636	-0,434	<b>0,813</b>	0,287	
Geruch blumig	0,613	-0,542	-0,596	-0,457	-0,628	-0,177	-0,391	-0,665	-0,600	0,386	<b>0,868</b>	
Geruch citrus	-0,299	0,308	0,040	0,407	0,156	0,593	0,278	0,140	0,320	-0,375	0,157	
Geruch grün-grasig	0,378	0,141	0,462	-0,316	0,309	-0,001	0,448	0,061	-0,140	0,276	-0,202	
Geruch hopfenwürzig	-0,237	0,580	<b>0,813</b>	0,395	0,558	0,420	0,511	0,628	0,349	-0,517	-0,499	
Trunk fruchtig	0,320	-0,269	-0,255	-0,542	-0,033	-0,380	0,034	-0,358	-0,231	0,740	-0,052	
Trunk blumig	0,237	-0,189	-0,274	-0,412	-0,016	-0,181	0,102	-0,338	-0,146	0,612	0,050	
Trunk citrus	-0,269	0,633	0,552	0,350	0,645	0,698	0,729	0,458	0,445	-0,185	-0,382	
Trunk grün-grasig	0,321	0,128	0,440	-0,176	0,209	-0,018	0,150	0,211	-0,198	0,219	-0,277	
Trunk hopfenwürzig	0,359	-0,278	-0,199	-0,025	-0,498	-0,057	-0,622	-0,089	-0,486	-0,014	0,445	
Trunk sonstige	-0,725	0,688	0,653	0,607	0,708	0,521	0,794	0,561	<b>0,821</b>	-0,794	-0,533	
Bittere Gesamtintensität	-0,756	<b>0,944</b>	<b>0,932</b>	0,694		0,714	<b>0,936</b>	<b>0,877</b>	<b>0,888</b>	-0,624	<b>-0,922</b>	
Bittere Antrunk	-0,614	<b>0,920</b>		0,669	<b>0,932</b>	0,724	<b>0,869</b>	<b>0,889</b>	0,757	-0,658	<b>-0,831</b>	
Bittere Trunk	<b>-0,964</b>	<b>0,901</b>	0,757	<b>0,855</b>	<b>0,888</b>	0,715	0,791	<b>0,852</b>		<b>-0,821</b>	<b>-0,835</b>	
Bittere Nachtrunk	-0,599	<b>0,835</b>	<b>0,869</b>	0,513	<b>0,936</b>	0,621		0,689	0,791	-0,529	-0,766	
Harmonie	0,759	<b>-0,830</b>	<b>-0,831</b>	-0,623	<b>-0,922</b>	-0,508	-0,766	<b>-0,841</b>	<b>-0,835</b>	0,514		
normal (harmonisch)	0,603	-0,514	-0,396	-0,348	-0,636	-0,348	-0,769	-0,314	-0,720	0,399	0,483	
kratzig	<b>-0,845</b>	0,800	0,755	<b>0,867</b>	0,705	0,626	0,507	<b>0,886</b>	<b>0,813</b>	<b>-0,891</b>	-0,745	
hart	0,570	-0,520	-0,551	-0,297	-0,710	-0,119	-0,565	-0,543	-0,626	0,183	<b>0,903</b>	
harmonisch, langer Nachtrunk	0,102	-0,604	-0,705	-0,418	-0,501	-0,660	-0,396	-0,647	-0,204	0,281	0,389	
schwach	0,234	-0,256	-0,216	-0,527	0,015	-0,461	0,058	-0,322	-0,156	0,688	-0,162	
hart und breit	-0,468	0,363	0,086	0,558	0,177	0,608	0,260	0,235	0,443	-0,598	0,099	
Antrunk abgerundet aber nachhängend	-0,253	0,710	<b>0,874</b>	0,330	0,791	0,520	0,738	0,687	0,436	-0,224	-0,732	
		<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>				<i>0,811 *</i>		<i>0,917 **</i>		<i>0,974 ***</i>		

Tabelle 143: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (Serie C)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Hopfen- gabe	Pelletmenge Kochmitte	0,121	0,316	0,628	0,047	0,356	0,158	0,306	0,391	0,007	-0,091	-0,367
	Pelletmenge Kochende	0,047	-0,216	-0,459	-0,215	-0,148	-0,103	-0,071	-0,346	-0,058	0,410	0,185
<i>kritische Werte für n=6 f=4 [409]</i>					0,811 *		0,917 **		0,974 ***			

Tabelle 144: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieranalysen (alle Serien)

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Bieranalysen	Alkohol [%vol]	-0,060	<b>0,481</b>	<b>0,431</b>	<b>0,483</b>	<b>0,423</b>	<b>0,433</b>	<b>0,349</b>	<b>0,446</b>	<b>0,505</b>	-0,347	<b>-0,373</b>
	Anthozyanogene [mg/l]	-0,092	<b>0,360</b>	<b>0,418</b>	0,121	0,290	0,133	0,166	0,240	<b>0,373</b>	0,135	-0,120
	BE/isoalpha	<b>0,477</b>	<b>0,524</b>	<b>0,726</b>	<b>0,514</b>	<b>0,558</b>	<b>0,582</b>	<b>0,481</b>	<b>0,417</b>	<b>0,553</b>	0,134	0,141
	Bittereinheiten	0,339	<b>0,467</b>	<b>0,615</b>	<b>0,443</b>	<b>0,470</b>	<b>0,537</b>	<b>0,417</b>	<b>0,364</b>	<b>0,476</b>	0,012	0,082
	co-iso- $\alpha$ -Säure (mg/l)	<b>-0,380</b>	-0,217	-0,286	-0,328	-0,254	-0,224	-0,082	-0,232	-0,128	-0,116	-0,133
	Farbe	<b>-0,392</b>	-0,232	-0,280	<b>-0,398</b>	-0,291	-0,297	-0,272	-0,161	<b>-0,414</b>	0,024	-0,092
	Gesamtpolyphenole [mg/l]	-0,047	0,321	<b>0,395</b>	0,072	0,340	0,065	0,217	0,144	<b>0,381</b>	0,218	-0,140
	iso- $\alpha$ -Säuren [mg/l]	<b>-0,378</b>	-0,240	<b>-0,396</b>	-0,278	-0,302	-0,215	-0,218	-0,198	-0,284	-0,338	-0,174
	n-/ad-iso- $\alpha$ -Säuren (mg/l)	-0,026	-0,045	-0,156	0,037	-0,077	-0,006	-0,173	0,024	-0,200	-0,280	-0,060
	pH-Wert	-0,196	0,287	0,304	0,256	0,279	0,218	0,211	0,345	<b>0,373</b>	-0,298	-0,317
	scheinbarer Extrakt [GG%]	-0,070	-0,222	-0,148	<b>-0,490</b>	-0,313	<b>-0,350</b>	-0,297	<b>-0,357</b>	-0,336	<b>0,485</b>	0,294
	Stammwürze [%mas]	-0,073	<b>0,486</b>	<b>0,439</b>	<b>0,417</b>	<b>0,417</b>	<b>0,378</b>	0,307	<b>0,415</b>	<b>0,485</b>	-0,254	-0,328
	Tanninoide [mg/l]	-0,059	<b>0,476</b>	<b>0,583</b>	0,221	<b>0,419</b>	0,242	0,313	0,299	<b>0,453</b>	0,141	-0,187
	Vergärungsgrad scheinbar [%]	0,016	<b>0,382</b>	0,307	<b>0,539</b>	<b>0,415</b>	<b>0,422</b>	<b>0,354</b>	<b>0,448</b>	<b>0,460</b>	<b>-0,465</b>	<b>-0,361</b>
	$\alpha$ -Säuren [mg/l]	0,260	<b>0,359</b>	<b>0,396</b>	0,337	0,247	<b>0,478</b>	0,198	0,296	0,239	-0,159	0,006
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>					0,349 *		0,449 **		0,554 ***			

Tabelle 145: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Bieraromastoffen frisch (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
<b>1-Hexanol</b>	0,281	0,066	<b>0,354</b>	-0,154	0,137	0,006	0,155	-0,044	0,201	<b>0,422</b>	0,309
<b>1-Decanol</b>	-0,153	0,281	<b>0,354</b>	0,272	0,325	0,185	0,275	0,338	<b>0,398</b>	-0,140	-0,247
<b>1-Heptanol</b>	0,277	0,169	0,254	0,260	0,166	0,273	0,040	0,111	0,304	0,061	0,209
<b>1-Octanol</b>	<b>-0,366</b>	0,054	-0,059	0,172	0,050	0,081	0,088	0,185	0,056	<b>-0,422</b>	<b>-0,443</b>
<b>2-Phenylethanol</b>	0,154	-0,293	-0,324	<b>-0,363</b>	-0,313	-0,214	-0,183	-0,318	<b>-0,361</b>	0,169	0,204
<b>α-Terpineol</b>	0,249	-0,072	0,139	-0,094	0,149	-0,074	0,032	0,004	0,243	0,207	-0,029
<b>Buttersäure-Ethylester</b>	-0,204	0,148	-0,008	0,256	0,043	0,201	0,049	0,137	0,052	<b>-0,425</b>	-0,348
<b>Caryophyllen</b>	-0,010	0,287	0,243	-0,112	0,143	0,067	0,243	0,183	0,194	0,040	0,106
<b>Decansäure</b>	-0,173	0,339	0,239	<b>0,417</b>	0,240	0,228	0,182	<b>0,363</b>	0,318	-0,271	-0,285
<b>Decansäure-Ethylester</b>	-0,170	0,319	0,224	<b>0,416</b>	0,229	0,214	0,148	<b>0,352</b>	0,302	-0,264	-0,271
<b>Dodecansäure</b>	-0,243	0,254	0,203	0,349	0,177	0,152	0,071	0,280	0,285	-0,221	-0,315
<b>Essigsäure-2-Phenylethylester</b>	0,144	-0,270	-0,232	-0,344	-0,224	-0,250	-0,173	-0,346	-0,255	0,276	0,272
<b>Essigsäure-Furfurylester</b>	-0,001	0,184	0,301	-0,198	0,231	-0,089	0,288	0,001	0,200	0,267	0,156
<b>Essigsäure-Heptylester</b>	0,302	-0,093	0,066	-0,230	0,013	-0,070	0,039	-0,170	-0,036	<b>0,383</b>	0,338
<b>Essigsäure-Hexylester</b>	0,221	-0,106	0,022	-0,280	-0,040	-0,156	-0,003	-0,202	-0,054	<b>0,351</b>	0,294
<b>Essigsäure-Isobutylester</b>	0,103	-0,279	-0,295	-0,290	-0,252	-0,254	-0,213	<b>-0,350</b>	-0,314	0,224	0,239
<b>Essigsäure-Octylester</b>	0,086	-0,034	0,100	-0,213	0,008	-0,051	0,083	-0,054	0,020	0,242	0,086
<b>Geraniol</b>	-0,064	0,212	0,069	<b>0,392</b>	0,117	0,182	0,100	<b>0,373</b>	0,211	<b>-0,353</b>	<b>-0,403</b>
<b>g-Nonalacton</b>	-0,114	<b>-0,454</b>	<b>-0,443</b>	<b>-0,574</b>	<b>-0,432</b>	<b>-0,427</b>	<b>-0,362</b>	<b>-0,413</b>	<b>-0,537</b>	0,237	0,112
<b>Hexansäure</b>	-0,228	-0,040	0,160	-0,106	0,080	-0,213	-0,047	-0,066	0,190	0,073	0,026
<b>Hexansäure-Ethylester</b>	-0,261	-0,007	0,052	0,054	0,060	-0,074	0,011	0,023	0,159	-0,261	-0,256
<b>Humulen</b>	-0,271	0,061	0,167	0,041	0,078	-0,100	-0,008	0,240	0,163	-0,135	-0,212
<b>Isovaleriansäure</b>	0,192	0,087	0,144	-0,149	0,042	0,035	0,087	-0,094	0,040	0,146	0,264
<b>Linalool</b>	<b>0,576</b>	0,346	<b>0,512</b>	<b>0,434</b>	<b>0,436</b>	<b>0,422</b>	0,296	0,316	<b>0,494</b>	0,070	0,128
<b>Nerol</b>	-0,161	<b>0,585</b>	<b>0,509</b>	0,312	<b>0,387</b>	0,315	<b>0,617</b>	<b>0,694</b>	<b>0,494</b>	-0,007	-0,241
<b>Nonansäure</b>	<b>0,355</b>	0,188	0,345	0,225	0,229	0,095	0,030	0,227	0,223	0,195	0,103
<b>Octansäure</b>	-0,343	0,108	0,120	0,153	0,123	-0,026	0,044	0,159	0,206	-0,197	-0,269
<b>Octansäure-Ethylester</b>	<b>-0,361</b>	0,162	0,134	0,247	0,158	0,050	0,076	0,204	0,252	-0,286	-0,339
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349		*	0,449	**	0,554	***	

Tabelle 146: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren frisch (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren frisch	2-Methylbutanal	0,334	0,046	0,140	0,085	0,108	0,124	0,034	0,077	-0,052	0,244	0,106
	2-Acetylfuran	0,186	-0,189	-0,225	-0,022	-0,208	-0,086	-0,163	-0,112	-0,153	0,114	0,284
	2-Furfural	0,008	-0,068	-0,179	0,100	-0,071	-0,155	-0,129	-0,062	-0,184	-0,084	-0,070
	2-Phenylethanal	0,194	-0,183	-0,178	0,160	-0,012	0,085	0,032	-0,210	-0,170	-0,021	0,037
	2-Propionylfuran	<b>0,417</b>	0,086	0,183	0,125	0,180	0,111	0,042	0,158	0,043	0,206	0,047
	3-Methylbutanal	0,104	-0,126	-0,275	-0,001	-0,183	-0,089	-0,250	-0,261	-0,194	-0,023	0,120
	Benzaldehyd	<b>-0,563</b>	0,022	-0,142	0,006	-0,120	-0,097	-0,143	0,295	-0,064	-0,226	-0,286
	Bernsteinsäure-diethylester	<b>0,573</b>	0,087	0,337	<b>0,370</b>	0,330	<b>0,399</b>	0,180	0,235	0,322	-0,033	0,009
	$\gamma$ -Nonalacton	0,146	0,020	-0,062	-0,248	-0,247	-0,205	-0,176	-0,068	-0,142	0,277	<b>0,438</b>
	Methylfurfural	0,256	<b>0,577</b>	<b>0,414</b>	<b>0,438</b>	<b>0,363</b>	<b>0,497</b>	<b>0,403</b>	<b>0,533</b>	<b>0,409</b>	-0,223	-0,193
	Nicotinsäure-ethylester	-0,062	0,260	0,291	<b>0,522</b>	<b>0,376</b>	0,338	0,206	0,276	0,293	-0,235	-0,168
	Phenyllessigsäure-ethylester	0,205	-0,265	-0,232	-0,099	-0,047	-0,014	-0,049	<b>-0,389</b>	-0,185	-0,033	0,095
	Summe der Wärmeindikatoren	0,157	-0,007	-0,139	-0,220	-0,289	-0,279	-0,239	-0,098	-0,225	0,256	<b>0,432</b>
	Summe der Sauerstoffindikatoren	0,107	-0,148	-0,298	0,023	-0,184	-0,077	-0,243	-0,272	-0,216	-0,035	0,110
Summe der Alterungskomponenten	0,304	-0,096	-0,249	-0,028	-0,250	-0,131	-0,270	-0,186	-0,231	0,132	<b>0,358</b>	
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349		*	0,449		**	0,554		***

Tabelle 147: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Alterungsindikatoren forciert

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Alterungsindikatoren forciert	2-Methylbutanal	0,177	0,155	<b>0,354</b>	-0,055	0,271	0,052	0,214	0,179	0,193	0,093	-0,197
	2-Acetylfuran	0,227	0,212	0,224	0,212	0,074	0,271	-0,002	0,164	0,095	0,188	0,327
	2-Furfural	0,024	0,084	0,022	-0,144	-0,080	-0,006	0,045	0,020	-0,002	-0,201	-0,058
	2-Phenylethanal	-0,326	0,041	-0,112	-0,080	-0,005	-0,211	0,057	0,112	0,046	-0,141	<b>-0,356</b>
	2-Propionylfuran	<b>0,450</b>	-0,040	0,120	-0,195	0,016	-0,131	0,115	-0,072	-0,091	0,316	0,329
	3-Methylbutanal	<b>0,407</b>	0,114	0,123	0,022	0,060	0,110	0,174	0,151	0,117	-0,022	-0,010
	Benzaldehyd	0,194	0,194	<b>0,379</b>	0,234	<b>0,361</b>	0,246	0,225	0,178	0,336	-0,126	-0,191
	Bernsteinsäure-diethylester	<b>0,666</b>	0,298	<b>0,366</b>	0,321	0,273	<b>0,386</b>	0,320	0,279	<b>0,363</b>	0,050	0,190
	$\gamma$ -Nonalacton	-0,210	-0,011	-0,222	-0,188	-0,216	-0,212	-0,141	0,024	-0,159	-0,136	-0,276
	Methylfurfural	0,326	<b>0,487</b>	<b>0,497</b>	0,164	<b>0,368</b>	0,179	0,182	0,170	<b>0,366</b>	0,306	0,252
	Nicotinsäure-ethylester	-0,203	0,031	-0,030	-0,204	-0,101	-0,121	-0,184	0,055	-0,071	-0,235	-0,110
	Phenyllessigsäure-ethylester	0,119	-0,046	0,210	-0,080	0,112	0,060	0,153	0,002	0,130	0,085	-0,125
	Summe der Wärmeindikatoren	-0,008	0,074	-0,011	-0,157	-0,103	-0,035	0,021	0,021	-0,024	-0,201	-0,091
	Summe der Sauerstoffindikatoren	0,088	0,119	0,063	0,001	0,083	-0,019	0,169	0,180	0,143	-0,111	-0,235
Summe der Alterungskomponenten	0,095	0,148	0,071	-0,103	-0,054	0,029	0,062	0,083	0,033	-0,151	-0,030	
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349		*	0,449		**	0,554		***

Tabelle 148: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und niedermolekularen Polyphenolen (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
niedermolekulare Polyphenole (HPLC)	Apigeninflavonoid	0,133	0,109	0,201	-0,051	0,152	0,202	0,110	0,026	0,037	-0,051	-0,080
	Apigeninflavonoid	-0,178	0,198	0,049	0,236	0,014	0,227	0,005	0,179	0,010	-0,333	<b>-0,399</b>
	Apigeninflavonoid	-0,130	0,336	0,287	<b>0,352</b>	0,330	0,273	0,194	<b>0,535</b>	0,243	-0,037	-0,257
	Catechin	0,062	0,320	<b>0,408</b>	-0,010	0,306	0,029	0,259	0,141	<b>0,353</b>	0,218	-0,081
	Chlorogensäure DP	0,024	0,034	0,231	-0,159	0,168	-0,102	0,115	-0,044	0,173	0,339	0,045
	Cumaroylchinasäure	0,022	0,253	0,303	-0,089	0,212	-0,082	0,160	0,071	0,228	0,316	0,007
	Cumaroylchinasäure	0,221	<b>0,536</b>	<b>0,657</b>	0,280	<b>0,472</b>	0,326	<b>0,385</b>	<b>0,388</b>	<b>0,545</b>	0,238	0,086
	Epicatechin	0,231	0,281	<b>0,419</b>	0,024	0,312	0,031	0,236	0,121	0,288	0,295	0,104
	Ferulasäure	0,204	0,164	<b>0,384</b>	-0,017	<b>0,361</b>	0,039	0,059	0,099	0,148	0,244	0,199
	Feruloylchinasäure	0,070	0,239	0,341	-0,058	0,248	-0,044	0,204	0,118	0,282	0,249	-0,045
	Isoxanthohumol	-0,003	-0,039	0,191	-0,072	0,156	-0,183	-0,077	-0,114	0,006	<b>0,505</b>	0,256
	Kaffeesäure	0,182	0,113	0,084	0,074	0,049	0,046	0,107	0,028	0,070	0,090	0,031
	Kaffeoylchinasäure	0,164	0,319	<b>0,448</b>	0,043	0,338	0,059	0,270	0,194	<b>0,406</b>	0,240	-0,074
	Kämpferol-3-glucosid	0,122	0,238	<b>0,367</b>	-0,005	0,258	-0,020	0,155	0,110	0,260	0,289	0,035
	Kämpferol-diglykosid	0,268	0,199	0,150	0,332	0,200	0,197	0,045	0,292	0,145	0,132	-0,004
	Kämpferolflavonoid	0,236	0,343	<b>0,464</b>	0,091	<b>0,349</b>	0,101	0,259	0,242	<b>0,404</b>	0,201	-0,072
	p-Cumarsäure	0,094	<b>0,458</b>	<b>0,604</b>	0,302	<b>0,541</b>	0,249	0,309	<b>0,438</b>	<b>0,605</b>	0,030	-0,214
	p-Hydroxybenzoesäure	0,297	0,275	0,254	0,053	0,190	0,115	0,121	0,212	0,191	0,096	0,027
	Procyanidin	0,026	-0,031	0,026	-0,167	0,051	-0,048	0,230	-0,210	-0,030	0,100	-0,048
	Procyanidin	0,003	<b>0,366</b>	0,195	<b>0,365</b>	0,265	0,150	0,263	0,209	<b>0,393</b>	-0,283	-0,192
	Procyanidin B1 (Ec/C)	-0,044	0,269	<b>0,356</b>	-0,070	0,237	-0,021	0,230	0,040	0,277	0,198	-0,107
	Procyanidin B2 (Ec/Ec)	0,255	-0,188	-0,206	-0,248	-0,157	-0,191	-0,125	-0,258	-0,243	0,293	0,299
	Procyanidin B3 (C/C)	0,035	<b>0,359</b>	<b>0,411</b>	0,145	0,331	0,185	0,280	0,184	<b>0,442</b>	-0,079	-0,334
	Prodelfinidin B3 (Gc/Gc)	0,062	0,030	0,192	0,146	0,161	0,261	0,041	0,004	0,019	-0,075	-0,109
	Protocatechusäure	-0,075	0,122	0,198	0,024	0,136	-0,112	0,076	0,044	0,078	<b>0,396</b>	0,021
	Q-glucosid/rutinosid	0,086	0,316	<b>0,433</b>	0,005	0,317	0,040	0,232	0,125	0,333	0,267	-0,005
	Quercetingalactosid	0,122	0,326	<b>0,433</b>	0,066	0,316	0,124	0,247	0,192	<b>0,364</b>	0,140	-0,096
	Quercetin-malonylhexosid	0,172	<b>0,408</b>	<b>0,503</b>	0,098	<b>0,382</b>	0,148	0,347	0,237	<b>0,461</b>	0,159	-0,115
	Sinapinsäure	0,304	-0,208	-0,120	-0,259	-0,153	-0,156	-0,235	-0,253	-0,294	<b>0,378</b>	0,325
	Syringasäure	0,017	<b>-0,499</b>	-0,328	<b>-0,532</b>	-0,272	<b>-0,392</b>	-0,338	<b>-0,387</b>	<b>-0,492</b>	0,293	0,324
Trans-Zimtsäure	0,036	-0,161	-0,176	-0,140	-0,109	-0,139	-0,070	-0,041	-0,102	-0,144	0,028	
Vanillinsäure	<b>0,365</b>	0,060	0,045	-0,130	0,077	-0,054	0,034	-0,033	-0,060	0,231	<b>0,352</b>	
Summe	0,180	0,254	<b>0,375</b>	-0,040	0,277	0,015	0,213	0,101	0,282	0,305	0,016	
		<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349	*	0,449	**	0,554	***	

Tabelle 149: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des Weihenstephaner Panels (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
DLG frisch	Geruch	0,282	-0,225	0,127	-0,180	0,090	-0,114	-0,268	-0,111	0,013	<b>0,550</b>	<b>0,349</b>
	Rezenz	0,323	<b>-0,401</b>	-0,065	-0,133	-0,046	<b>-0,380</b>	<b>-0,354</b>	-0,134	-0,118	<b>0,451</b>	<b>0,356</b>
	Trunk	0,055	-0,083	0,023	0,067	0,083	-0,237	-0,309	-0,012	-0,017	<b>0,562</b>	0,203
	Vollmundigkeit	0,158	0,006	0,152	0,116	0,059	-0,148	-0,298	0,072	0,007	<b>0,489</b>	<b>0,403</b>
	Gewichtete Note	0,300	-0,197	0,126	-0,035	0,128	-0,239	-0,339	-0,079	0,015	<b>0,685</b>	<b>0,414</b>
DLG / Alterungsverkostung forciert	Geruch	<b>0,612</b>	-0,231	0,068	0,082	0,251	0,040	0,096	-0,178	0,026	0,098	<b>0,358</b>
	Trunk	<b>0,737</b>	-0,130	0,184	0,111	0,296	0,041	0,044	-0,182	0,132	<b>0,395</b>	<b>0,518</b>
	Vollmundigkeit	<b>0,489</b>	-0,110	0,056	0,160	0,081	-0,026	-0,213	-0,029	-0,034	0,208	<b>0,410</b>
	Rezenz	0,271	<b>-0,480</b>	-0,178	-0,200	-0,086	<b>-0,390</b>	-0,347	-0,179	-0,180	0,277	0,275
	Bittere	<b>0,567</b>	-0,164	0,153	-0,036	0,220	-0,097	-0,059	-0,217	0,030	<b>0,517</b>	<b>0,526</b>
	Gewichtete Note	<b>0,759</b>	-0,257	0,123	0,051	0,264	-0,058	-0,043	-0,224	0,039	<b>0,407</b>	<b>0,569</b>
	ALTERUNGSNOTE Geruch	<b>-0,674</b>	0,185	-0,028	-0,163	-0,217	-0,249	-0,090	-0,005	0,001	0,021	-0,245
	Alterungsnote Trunk	<b>-0,809</b>	0,165	-0,008	-0,058	-0,163	-0,102	-0,111	0,160	0,014	-0,225	<b>-0,367</b>
	ALTERUNGSNOTE Bittere	<b>-0,704</b>	0,232	0,013	0,065	-0,088	0,061	0,080	0,273	0,145	<b>-0,366</b>	<b>-0,480</b>
	Gewichtete Alterungsnote	<b>-0,846</b>	0,210	-0,015	-0,091	-0,197	-0,153	-0,083	0,129	0,034	-0,173	<b>-0,386</b>
Akzeptanz (%)		0,050	0,270	0,228	0,321	0,286	0,168	-0,037	0,123	0,280	<b>0,480</b>	
		<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349	*	0,449	**	0,554	***	

Tabelle 150: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Verkostungsdaten des St. Johanner Panels (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Verkostung Panel St. Johan	Bittere/Intensität	0,056	<b>0,423</b>	<b>0,464</b>	<b>0,458</b>	<b>0,499</b>	<b>0,489</b>	0,337	0,299	<b>0,470</b>	-0,096	-0,061
	Bittere/Intensität	-0,039	-0,281	-0,181	<b>-0,355</b>	-0,240	-0,301	-0,281	-0,141	-0,245	0,123	-0,029
	Bittere/Qualität	0,214	-0,199	0,046	-0,214	-0,032	-0,282	-0,119	-0,043	0,094	<b>0,424</b>	0,174
	Farbe	<b>0,371</b>	0,187	0,162	0,171	0,075	0,242	0,196	0,247	0,211	-0,145	-0,150
	Geruch	0,185	-0,023	0,228	0,041	0,208	0,093	0,026	-0,090	0,251	0,145	0,156
	Geschmack	0,310	-0,052	0,098	0,041	0,099	-0,076	-0,077	-0,011	0,202	0,061	0,155
	Glanz/Trübung	-0,015	0,053	0,044	0,029	0,075	-0,156	0,030	0,057	-0,036	0,059	0,069
	Ø DLG	0,218	-0,194	0,087	-0,136	0,047	-0,181	-0,150	-0,149	0,136	0,223	0,195
	Ø Optik	<b>-0,374</b>	-0,165	-0,319	-0,076	<b>-0,370</b>	-0,138	-0,305	-0,026	<b>-0,375</b>	<b>-0,488</b>	<b>-0,382</b>
	Ø Verkostung	0,210	-0,191	0,103	-0,179	0,047	-0,205	-0,127	-0,127	0,126	0,273	0,188
	Rezenz	-0,297	<b>-0,352</b>	-0,206	-0,291	-0,181	<b>-0,417</b>	-0,291	-0,330	-0,205	0,028	0,150
	Schaum/Haftvermögen	<b>-0,403</b>	-0,202	<b>-0,418</b>	-0,112	<b>-0,429</b>	-0,162	-0,286	-0,071	<b>-0,422</b>	<b>-0,562</b>	-0,328
	Schaum/Porengröße	<b>-0,359</b>	-0,167	-0,128	-0,096	-0,189	-0,079	-0,330	-0,115	-0,224	-0,093	-0,254
	Vollmundigkeit	0,109	-0,068	0,040	-0,081	-0,019	-0,002	-0,033	-0,144	-0,007	0,065	0,025
	Weichheit	0,101	-0,112	0,142	-0,326	0,033	-0,251	0,028	0,027	0,038	<b>0,425</b>	0,087
	Ø Gesamt	0,111	-0,227	0,020	-0,194	-0,047	-0,235	-0,200	-0,130	0,029	0,144	0,087
			<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349	*	0,449	**	0,554	***

Tabelle 151: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfenverkostung n. Kaltner (frisch) (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Geruch Intensität Hopfenaroma	<b>0,585</b>	<b>0,410</b>	<b>0,533</b>	0,281	<b>0,440</b>	<b>0,399</b>	<b>0,359</b>	0,116	<b>0,403</b>	<b>0,394</b>	<b>0,401</b>
Geruch Qualität Hopfenaroma	<b>0,496</b>	0,084	0,327	-0,069	0,162	-0,056	0,069	-0,003	0,057	<b>0,711</b>	<b>0,514</b>
Trunk Intensität Hopfenaroma	<b>0,605</b>	<b>0,457</b>	<b>0,610</b>	<b>0,482</b>	<b>0,566</b>	<b>0,389</b>	<b>0,391</b>	0,218	<b>0,498</b>	<b>0,369</b>	0,329
Trunk Qualität Hopfenaroma	<b>0,485</b>	0,207	<b>0,500</b>	0,078	<b>0,464</b>	-0,020	0,241	0,131	0,266	<b>0,745</b>	<b>0,517</b>
Geruch fruchtig	<b>0,368</b>	-0,169	0,063	-0,235	0,068	-0,237	-0,045	-0,168	0,037	<b>0,509</b>	0,225
Geruch blumig	0,321	0,024	0,092	-0,210	-0,039	-0,201	-0,060	-0,091	-0,051	<b>0,425</b>	0,346
Geruch citrus	<b>0,469</b>	<b>0,478</b>	<b>0,588</b>	0,292	<b>0,401</b>	<b>0,417</b>	<b>0,355</b>	0,266	<b>0,421</b>	0,244	0,348
Geruch grün-grasig	<b>0,428</b>	<b>0,433</b>	<b>0,459</b>	<b>0,546</b>	<b>0,561</b>	<b>0,560</b>	<b>0,561</b>	0,291	<b>0,496</b>	-0,088	-0,098
Geruch hopfenwürzig	0,272	0,172	<b>0,364</b>	0,204	0,303	0,236	0,076	0,030	0,349	0,206	0,112
Geruch sonstige	-0,302	-0,085	-0,241	-0,118	-0,247	0,028	-0,080	-0,068	-0,108	<b>-0,542</b>	<b>-0,445</b>
Trunk fruchtig	<b>0,433</b>	-0,103	0,161	-0,136	0,217	-0,161	-0,006	-0,115	0,093	<b>0,482</b>	0,264
Trunk blumig	<b>0,365</b>	0,151	0,141	-0,099	0,012	-0,110	-0,090	-0,095	-0,091	<b>0,511</b>	<b>0,460</b>
Trunk citrus	<b>0,433</b>	<b>0,495</b>	<b>0,613</b>	0,322	<b>0,446</b>	<b>0,437</b>	<b>0,369</b>	0,268	<b>0,432</b>	0,202	0,296
Trunk grün-grasig	0,273	<b>0,476</b>	<b>0,571</b>	<b>0,571</b>	<b>0,561</b>	<b>0,556</b>	<b>0,601</b>	<b>0,418</b>	<b>0,520</b>	-0,038	-0,212
Trunk hopfenwürzig	0,331	0,084	0,284	0,212	0,291	0,070	0,037	0,099	0,219	0,321	0,115
Trunk sonstige	0,005	<b>-0,397</b>	<b>-0,380</b>	-0,029	-0,226	0,069	-0,242	-0,216	-0,257	-0,252	-0,194
Bittere Gesamtintensität	0,228	<b>0,676</b>	<b>0,508</b>		<b>0,613</b>	<b>0,760</b>	<b>0,526</b>	<b>0,672</b>	<b>0,607</b>	-0,228	-0,184
Bittere Antrunk	0,050		<b>0,729</b>	<b>0,676</b>	<b>0,585</b>	<b>0,679</b>	<b>0,667</b>	<b>0,677</b>	<b>0,666</b>	-0,168	-0,114
Bittere Trunk	-0,037	<b>0,677</b>	<b>0,541</b>	<b>0,672</b>	<b>0,547</b>	<b>0,537</b>	<b>0,575</b>		<b>0,626</b>	-0,131	-0,337
Bittere Nachtrunk	0,286	<b>0,679</b>	<b>0,552</b>	<b>0,760</b>	<b>0,524</b>		<b>0,653</b>	<b>0,537</b>	<b>0,583</b>	<b>-0,357</b>	-0,251
Harmonie	0,280	-0,168	0,190	-0,228	0,132	<b>-0,357</b>	-0,196	-0,131	-0,050		<b>0,627</b>
normal (harmonisch)	-0,038	<b>-0,369</b>	-0,115	<b>-0,454</b>	-0,099	<b>-0,650</b>	-0,270	-0,303	-0,296	<b>0,692</b>	<b>0,509</b>
kratzig	-0,141	-0,183	-0,085	-0,035	-0,041	-0,090	0,101	0,039	-0,022	0,188	-0,081
hart	-0,003	0,112	-0,142	0,107	-0,041	0,218	0,239	0,297	0,010	-0,103	-0,145
harmonisch, langer Nachtrunk	0,239	<b>0,474</b>	<b>0,446</b>	<b>0,413</b>	0,293	<b>0,430</b>	0,171	0,279	<b>0,365</b>	-0,075	-0,186
schwach	0,039	-0,011	-0,180	-0,008	-0,161	-0,016	-0,071	-0,012	-0,076	-0,236	-0,041
hart und breit	-0,015	0,280	0,192	<b>0,439</b>	0,217	<b>0,412</b>	0,244	<b>0,392</b>	<b>0,410</b>	<b>-0,448</b>	-0,296
Antrunk abgerundet aber nachhängend	-0,223	-0,152	-0,266	-0,061	-0,184	0,223	0,015	-0,207	-0,155	<b>-0,593</b>	-0,319
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>					0,349	*	0,449	**	0,554	***	

Tabelle 152: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfenverkostung n. Kaltner (forciert) (alle Serien)

	Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie		
		frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	
Geruch Intensität Hopfenaroma	<b>0,679</b>	<b>0,411</b>	<b>0,528</b>	<b>0,370</b>	<b>0,515</b>	<b>0,546</b>	<b>0,513</b>	0,227	<b>0,363</b>	0,152	0,216	
Geruch Qualität Hopfenaroma	<b>0,381</b>	-0,121	0,184	-0,067	0,187	-0,149	-0,160	-0,018	-0,002	<b>0,602</b>	<b>0,480</b>	
Trunk Intensität Hopfenaroma	<b>0,570</b>	<b>0,354</b>	<b>0,640</b>	<b>0,365</b>	<b>0,578</b>	<b>0,512</b>	<b>0,448</b>	0,169	<b>0,380</b>	0,283	0,311	
Trunk Qualität Hopfenaroma	<b>0,481</b>	-0,070	0,237	-0,194	0,255	-0,154	0,081	-0,104	0,009	<b>0,658</b>	<b>0,533</b>	
Geruch fruchtig	<b>0,387</b>	-0,297	-0,014	-0,203	0,110	-0,273	-0,095	-0,090	-0,021	0,269	0,175	
Geruch blumig	<b>0,459</b>	0,073	0,029	0,080	0,038	0,051	-0,105	-0,048	-0,068	0,056	0,293	
Geruch citrus	0,234	<b>0,472</b>	<b>0,464</b>	<b>0,390</b>	<b>0,353</b>	<b>0,378</b>	0,265	<b>0,359</b>	<b>0,372</b>	0,070	0,258	
Geruch grün-grasig	<b>0,631</b>	0,334	<b>0,436</b>	<b>0,464</b>	<b>0,514</b>	<b>0,425</b>	<b>0,528</b>	0,270	<b>0,390</b>	0,038	0,033	
Geruch hopfenwürzig	0,300	<b>0,415</b>	<b>0,598</b>	<b>0,351</b>	<b>0,629</b>	<b>0,391</b>	<b>0,457</b>	0,156	<b>0,517</b>	0,058	-0,076	
Geruch sonstige	0,010	0,070	-0,106	0,039	<b>-0,357</b>	0,145	-0,072	-0,010	-0,138	-0,124	-0,125	
Trunk fruchtig	0,335	-0,205	0,032	-0,262	0,165	-0,329	-0,064	-0,138	0,010	<b>0,381</b>	0,206	
Trunk blumig	0,319	0,110	0,188	-0,007	0,305	-0,045	-0,002	-0,188	0,168	0,147	0,178	
Trunk citrus	0,280	<b>0,477</b>	<b>0,487</b>	<b>0,384</b>	<b>0,437</b>	<b>0,462</b>	<b>0,447</b>	<b>0,376</b>	<b>0,442</b>	0,094	0,104	
Trunk grün-grasig	<b>0,636</b>	<b>0,436</b>	<b>0,609</b>	<b>0,545</b>	<b>0,598</b>	<b>0,507</b>	<b>0,465</b>	<b>0,387</b>	<b>0,503</b>	0,170	0,121	
Trunk hopfenwürzig	<b>0,471</b>	0,059	0,309	0,162	0,245	0,120	-0,066	-0,063	0,072	0,167	<b>0,395</b>	
Trunk sonstige	-0,090	<b>0,406</b>	0,348	0,344	0,346	0,211	<b>0,430</b>	0,311	<b>0,496</b>	-0,162	-0,222	
Bittere Gesamtintensität	0,321	<b>0,585</b>	<b>0,854</b>	<b>0,613</b>		<b>0,524</b>	<b>0,765</b>	<b>0,547</b>	<b>0,861</b>	0,132	-0,053	
Bittere Antrunk	0,270	<b>0,729</b>		<b>0,508</b>	<b>0,854</b>	<b>0,552</b>	<b>0,716</b>	<b>0,541</b>	<b>0,835</b>	0,190	0,080	
Bittere Trunk	0,123	<b>0,666</b>	<b>0,835</b>	<b>0,607</b>	<b>0,861</b>	<b>0,583</b>	<b>0,760</b>	<b>0,626</b>		-0,050	-0,233	
Bittere Nachtrunk	0,168	<b>0,667</b>	<b>0,716</b>	<b>0,526</b>	<b>0,765</b>	<b>0,653</b>		<b>0,575</b>	<b>0,760</b>	-0,196	-0,282	
Harmonie	<b>0,480</b>	-0,114	0,080	-0,184	-0,053	-0,251	-0,282	-0,337	-0,233	<b>0,627</b>		
normal (harmonisch)	0,266	-0,149	0,085	-0,121	0,035	-0,162	-0,230	-0,168	-0,116	<b>0,535</b>	<b>0,492</b>	
kratzig	-0,088	<b>0,382</b>	0,302	0,268	<b>0,384</b>	0,144	0,333	0,273	<b>0,419</b>	-0,178	-0,249	
hart	-0,084	-0,177	<b>-0,366</b>	-0,297	<b>-0,477</b>	-0,211	<b>-0,402</b>	-0,036	<b>-0,359</b>	-0,123	0,109	
harmonisch, langer Nachtrunk	0,200	0,074	-0,172	0,117	-0,178	0,123	-0,063	-0,022	-0,232	-0,044	0,024	
schwach	-0,287	<b>-0,352</b>	-0,292	<b>-0,394</b>	<b>-0,409</b>	<b>-0,353</b>	-0,288	<b>-0,387</b>	-0,287	0,100	-0,027	
hart und breit	-0,310	-0,042	-0,058	0,109	0,056	0,004	0,053	0,279	0,207	<b>-0,416</b>	<b>-0,411</b>	
Antrunk abgerundet aber nachhängend	-0,011	0,194	0,339	0,160	<b>0,403</b>	0,245	<b>0,426</b>	0,140	<b>0,365</b>	-0,104	-0,125	
		<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>				0,349	*	0,449	**	0,554	***	

**Tabelle 153: Korrelationskoeffizienten zwischen Harmonie, Bittere (Antrunk, Trunk, Nachtrunk), Gesamtbitterintensität und Hopfengabe (alle Serien)**

		Akzeptanz (%) forciert	Bittere Antrunk		Bittere Gesamtintensität		Bittere Nachtrunk		Bittere Trunk		Harmonie	
			frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert	frisch	forciert
Hopfengabe	Extraktmenge Kochbeginn	0,282	0,085	0,004	0,104	0,047	0,288	0,179	0,092	0,158	<b>-0,412</b>	-0,201
	Pelletmenge Kochbeginn	-0,312	-0,163	-0,070	-0,258	-0,070	-0,313	-0,174	-0,321	-0,185	0,327	0,227
	Pelletmenge Kochmitte	0,310	<b>0,380</b>	<b>0,351</b>	0,257	0,254	0,285	0,304	<b>0,405</b>	<b>0,389</b>	-0,071	-0,241
	Pelletmenge Kochende	<b>0,462</b>	0,327	<b>0,549</b>	0,248	<b>0,472</b>	0,295	0,312	0,287	<b>0,510</b>	0,184	0,096
	<b>Gesamt- hopfengabe</b>	0,036	0,260	0,320	0,024	0,214	0,008	0,168	0,124	0,251	0,240	-0,043
<i>kritische Werte für n=32; f=30 [409]</i>			0,349		*	0,449		**	0,554		***	

Tabelle 154: Würzearomastoffe der Innenkocher-Würzen (Mittelwerte)

Würzearomastoffe in µg/l		Pfanne-voll	10 min	Ausschlagwürze	Kühlmitte
3-me-Butanal	(A,W)	224	52	19	57
2-me-Butanal	(A,W)	96	18	7,1	19
Methional	(A)	25	42	13	26
Benzaldehyd	(A)	3,7	4,2	2,3	2,4
2-Phenylethanal	(A,W)	181	210	164	131
<b>Σ Streckeraldehyde</b>		529	326	204	235
Pentanal	(A)	10	1,9	Sp.	1,1
2-Pentanon	(A)	4,1	4,4	2,6	2
Hexanal	(A)	45	6,9	1,3	3,9
Heptanal	(A)	2,2	1,2	0,8	4,3
Hexenal		1,2	0,8	0,5	0,3
Hexadienal		0,3	1,0	0,6	0,6
(E)-2,(Z)-6,-Nonadienal	(A)	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
2-Furfural	(T)	18	23	41	46
2-ac-Furan	(T)	1,7	1,7	1,4	1,0
γ-Nonalacton	(A,W)	2,1	4,9	4,0	4,4
Damascenon		Sp.	4,3	1,4	Sp.
3-me-Butanol	(A)	76	53	24,2	15,6
2-me-Butanol	(A)	20	19	6,5	8,7
1-Pentanol	(A)	24	16	4,0	3,6
1-Hexanol	(A)	31	19	2,2	3,5
1-Octanol	(A)	1,6	2,6	0,1	1,8
1-Octen-3-ol	(A)	15	5,3	0,3	1,4
Phenylethanol	(A)	83	85	91	119
Geraniol		0,9	21	9	18
α-Terpineol		0,8	7,6	2,7	7,6
Caryophyllen		2,9	128	16,1	9,4
Nerol		1,0	19	3,0	2,0
Humulen		5,3	242	27,8	19
Linalool		1,0	96	4,5	112

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen

W = Indikator für thermische Belastung im Whirlpool

T = Indikator für thermische Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Tabelle 155: Würzearomastoffe der Außenkocher-Würzen (Mittelwerte)

Außenkocher		Pfanne- voll	10 min	Ausschlagwürze	Kühlmitte
<b>Würzearomastoffe in µg/l</b>					
3-me-Butanal	(A,W)	306	72	14	49
2-me-Butanal	(A,W)	142	29	10	18
Methional	(A)	18	19	13	9,2
Benzaldehyd	(A)	3,0	3,4	1,3	1,6
2-Phenylethanal	(A,W)	158	192	122	105
<b>Σ Streckeraldehyde</b>		627	316	153	184
Pentanal	(A)	13	2,8	Sp.	1,1
2-Pentanon	(A)	2,6	2,9	1,8	3,5
Hexanal	(A)	63	11	0,9	3,4
Heptanal	(A)	2,6	1,3	1,4	1,7
Hexenal		1,4	0,9	1,2	0,2
Hexadienal		0,3	0,9	0,4	0,6
(E)-2,(Z)-6,- Nonadienal	(A)	Sp.	Sp.	Sp.	0,8
2-Furfural	(T)	17	23	39	39
2-ac-Furan	(T)	1,5	3,1	1,7	2,6
γ-Nonalacton	(A,W)	2,0	5,6	4,4	4,9
Damascenon		Sp.	3,0	1,4	Sp.
3-me-Butanol	(A)	92	56	73	12
2-me-Butanol	(A)	25	20	19	7,2
1-Pentanol	(A)	26	18	3,4	3,3
1-Hexanol	(A)	37	26	2,1	4,4
1-Octanol	(A)	1,6	2,9	0,2	1,8
1-Octen-3-ol	(A)	17	6,4	Sp.	1,2
Phenylethanol	(A)	89	97	126	65
Geraniol		0,4	24	8,0	18
α-Terpineol		Sp.	8,1	3,2	7,8
Caryophyllen		1,4	92	47	20
Nerol		1,9	18	5,3	3,3
Humulen		2,5	178	81	44
Linalool		0,8	100	2,7	110

A = Indikator für Ausdampfung beim Würzekochen

W = Indikator für thermische Belastung im Whirlpool

T = Indikator für thermische Belastung beim Würzekochen + Whirlpool

Tabelle 156: Würzearomastoffe der Würzen mit Vakuumsystem 1 hergestellt (Mittelwerte)

	Pfanne-voll	10 min Heißhaltezeit	Ausschlagwürze	nach Whirlpool	Kühlmitte
<b>Würzearomastoffe in µg/l</b>					
3-me-Butanal	307	290	287	264	97
2-me-Butanal	140	127	123	108	39
Methional	12	11	6,7	4,7	6,3
Benzaldehyd	2,0	1,8	1,8	2,0	1,5
2-Phenylethanal	150	129	120	111	117
<b>Σ Streckeraldehyde</b>	<b>610</b>	<b>559</b>	<b>540</b>	<b>490</b>	<b>261</b>
Pentanal	13	13	12	10	4,1
2-Pentanon	4,4	6,1	5,1	6,2	2,7
Hexanal	69	60	39	32	14
Heptanal	2,1	2,4	2,8	2,7	1,8
Hexenal	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6
Hexadienal	0,3	1,2	0,6	0,5	0,5
(E)-2,(Z)-6,- Nonadienal	Sp.	1,4	1,8	1,2	Sp.
2-Furfural	17	16	27	33	33
2-ac-Furan	1,6	0,7	0,5	0,5	0,6
γ-Nonalacton	1,7	2,9	3,1	3,7	4,2
Damascenon	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
3-me-Butanol	84	83	71	63	38
2-me-Butanol	22	28	23	25	14
1-Pentanol	26	18	17	15	11
1-Hexanol	26	22	20	19	11
1-Octanol	1,4	2,6	2,5	3,1	1,9
1-Octen-3-ol	15	11	10	8	5
Phenylethanol	81	60	60	59	84
Geraniol	0,5	19	20	24	25
α-Terpineol	Sp.	16	14	15	16
Caryophyllen	0,9	21	10	11	14
Nerol	Sp.	5,1	3,7	3,3	3,9
Humulen	1,8	47	28	27	32
Linalool	1,5	166	152	192	122

Tabelle 157: Würze aromastoffe der Würzen mit Vakuumsystem 2 hergestellt (Mittelwerte)

	Pfanne-voll	10 min Kochzeit	60 min Kochzeit	nach Verdampfungs- phase	Kühlmitte
<b>Würze aromastoffe in µg/l</b>					
3-me-Butanal	297	98	29	40	65
2-me-Butanal	139	40	14	16	26
Methional	24	18	14	16	15
Benzaldehyd	2,7	2,5	1,6	1,9	2,1
2-Phenylethanal	157	156	142	155	141
<b>Σ Streckeraldehyde</b>	<b>620</b>	<b>315</b>	<b>200</b>	<b>228</b>	<b>249</b>
Pentanal	13	4,5	1,1	1,1	1,4
2-Pentanon	2,9	3,5	1,8	2,0	3,4
Hexanal	65	19	3,4	3,8	5,8
Heptanal	2,9	1,6	1,1	1,4	2,1
Hexenal	1,3	0,8	0,5	0,4	0,3
Hexadienal	0,2	0,8	0,3	0,3	0,9
(E)-2,(Z)-6,- Nonadienal	Sp.	0,9	Sp.	Sp.	0,9
2-Furfural	22	22	39	43	38
2-ac-Furan	2,0	1,6	Sp.	1,1	1,4
γ-Nonalacton	2,2	4,5	4,3	4,1	4,6
Damascenon	Sp.	3,3	Sp.	2	Sp.
3-me-Butanol	79	53	29	17	18
2-me-Butanol	20	18	8,0	4,1	7,9
1-Pentanol	25	17	7,1	5,8	5,9
1-Hexanol	33	22	5,4	4,1	6,0
1-Octanol	2	2,7	0,8	0,7	2,1
1-Octen-3-ol	16	7,4	1,3	1,1	2,1
Phenylethanol	79	73	93	71	62
Geraniol	0,6	20	12	10	19
α-Terpineol	1,1	8,5	3,6	6,1	13
Caryophyllen	5,0	102	9,5	73	25
Nerol	1,0	14	2,0	11	4,7
Humulen	11	201	20	128	53
Linalool	1,0	109	20	21	121

---

## **Lebenslauf**

Stefan Hanke, geboren 26. März 1980 in Halle (Saale)

seit 04/2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der TU München

09/2004 – 03/2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der TU München

## **Studium**

11/1999 – 07/2004 Studium der Fachrichtung Brauwesen und Getränketechnologie/ TU München, Freising-Weihenstephan  
Abschluß: Diplom-Ingenieur für Brauwesen und Getränketechnologie

Juni 2003 Preis der Firma Hrch. Huppmann GmbH für besondere Studienleistungen in der Diplomvorprüfung

April 2005 Preis der Nienaber Stiftung für besondere Leistungen

## **Praktika**

07/2003 – 09/2003 Freiberger Brauhaus AG, Freiberg

02/2002 – 04/2002 Bitburger Privatbrauerei Th. Simon, Bitburg

02/2001 – 04/2001 Köstritzer Schwarzbierbrauerei GmbH & Co., Bad Köstritz

04/2000 – 05/2000 Schwerter Brauerei Meissen Wohlers KG, Meissen

03/2000 – 04/2000 Mälzerei Mich. Weyermann GmbH & Co. KG, Bamberg

03/2000 Schwerter Brauerei Meissen Wohlers KG, Meissen

09/1999 – 10/1999 Schwerter Brauerei Meissen Wohlers KG, Meissen

## **Zivildienst**

08/1998 – 08/1999 Volkssolidarität Kreisverband Döbeln e.V. im Bereich des Mobilen Sozialen Hilfsdienstes

## **Schulbildung**

1986 – 1992 Peter-Apian Oberschule Leisnig

1992 – 1998 Martin-Luther-Gymnasium Leisnig/Hartha

Abschluss: Abitur

---

## Im Rahmen dieser Dissertation bisher entstandene Veröffentlichungen

- 1 Gastl, M.; **Hanke, S.**; Back, W.: Analytical investigations to evaluate bitter sensation using a taste sensing system. In: *BrewingScience (Monatsschrift für Brauwissenschaft)* 60 (2007), Nr. 2, S. 48–54
- 2 Gastl, M.; **Hanke, S.**; Back, W.: "Drinkability"-Ausgewogenheit und Harmonie der Inhaltsstoffe sowie Anreiz zum Weitertrinken. In: *Brauwelt* 147 (2007), Nr. 45, S. 1316–1322
- 3 **Hanke, S.**; Schönberger, C.; Krottenthaler, M.; Back, W.: Sensory characterization of hexahydro-iso-alpha-acids in comparison to other reduced hop bitter acids. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 844–849
- 4 Gastl, M.; **Hanke, S.**; Back, W.: Influence of beer matrix in respect to drinkability. In: *31st European Brewery Convention Congress*. Venedig, Hans Carl 2007, S. 969–980
- 5 Gastl, M.; **Hanke, S.**; Back, W.: Influence of beverage matrix on drinkability measured by an electronic tongue. In: *Monograph - European Brewery Convention Symposium on Drinkability*. Edinburgh, Hans Carl 2007
- 6 Gastl, M.; **Hanke, S.**; Back, W.: Influence of beer matrix composition on bitter sensation. In: *120th Annual Convention of the Master Brewers Association of the Americas*. Nashville, 2007, S. O-44
- 7 **Hanke, S.**; Back, W.; Tauscher, F.: Einflüsse auf die Hopfenausbeute und Trubbildung bei der Würzekochung. In: *Brauindustrie* 93 (2008), Nr. 2, S. 34–37
- 8 Herrmann, M.; **Hanke, S.**; Kaltner, D.; Back, W.: Hop volatile compounds (Part I): Analysis of hop pellets and seasonal variations. In: *BrewingScience* 61 (2008), Nr. July/August, S. 135–139
- 9 **Hanke, S.**; Herrmann, M.; Ruckerl, J.; Schönberger, C.; Back, W.: Hop Volatile Compounds (Part II): Transfer Rates of Hop Compounds from Hop Pellets to Wort and Beer. In: *BrewingScience* 61 (2008), Nr. July/August, S. 140–147
- 10 **Hanke, S.**; Back, W.; Gastl, M.: Influence of non-volatile beer constituents on the bitter taste perception of iso-alpha-acids. In: *World Brewing Congress*. Honolulu, 2008, S. P-189
- 11 **Hanke, S.**; Herrmann, M.; Ruckerl, J.; Back, W.: Transfer von Hopfenaromastoffen im Brauprozess. In: *Brauwelt* 148 (2008), Nr. 46/47, S. 1386–1389
- 12 **Hanke, S.**; Seidl, J.; Back, W.: Bedeutung und Einfluss von Hopfenaromastoffen. In: *Der Weihenstephaner* 76 (2008), Nr. 4, S. 121–123
- 13 **Hanke, S.**; Herrmann, M.; Back, W.: Interactive Effects of Flavour Compounds in Beer. In: *First International Symposium for Young Scientists and Technologists in Malting, Brewing and Distilling*. Cork, 2008, S. P20

- 
- 14 **Hanke, S.**; Kern, M.; Herrmann, M.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: Gushing suppressing effects of hop constituents. In: *32nd European Brewery Convention Congress*. Hamburg, 2009, S. P46
  - 15 **Hanke, S.**; Herrmann, M.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: Synergistic and suppression effects of flavour compounds in beer. In: *32nd European Brewery Convention Congress*. Hamburg, 2009, S. L21
  - 16 **Hanke, S.**; Kern, M.; Herrmann, M.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: Suppression of gushing by hop constituents. In: *BrewingScience* 62 (2009), Nr. November/December, S. 181–186
  - 17 **Hanke, S.**; Herrmann, M.; Rückerl, J.; Back, W.: The transfer of hop aroma compounds during the brewing process. In: *Brauwelt International* 27 (2009), Nr. 4, S. 191–194
  - 18 **Hanke, S.**: Linalool – a key contributor to hop aroma. In: *Master Brewers Association of the Americas Global Emerging Issues* (2009)
  - 19 **Hanke, S.**; Kern, M.; Herrmann, M.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: Einfluss von Hopfeninhaltsstoffen auf das Gushing (Teil 1 Literaturübersicht). In: *Brauwelt* 150 (2010), Nr. 9/10, S. 258-260
  - 20 **Hanke, S.**; Kern, M.; Herrmann, M.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: Einfluss von Hopfeninhaltsstoffen auf das Gushing (Teil 2). In: *Brauwelt* 150 (2010)
  - 21 **Hanke, S.**; Becker, T.; Back, W.; Krottenthaler, M.: Einfluss verschiedener Hopfungparameter auf die Bierqualität. In: *Der Weihenstephaner* 78 (2010), Nr. 1
  - 22 Herrmann, M.; Klotzbücher, B.; Wurzbacher, M.; **Hanke, S.**; Kattein, U.; Back, W.; Becker, T.; Krottenthaler, M.: A new validation of relevant substances for the evaluation of beer aging depending on the employed boiling system. In: *Journal of the Institute of Brewing* 116 (2010), Nr. 1