

Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Back

Unter Mitarbeit von:

Dipl.-Ing. Ingrid Bohak, Dr.-Ing. Torsten Dickel, Dr.-Ing. Oliver Franz,
Dr.-Ing. Martina Gastl, Dipl.-Ing. Stefan Hanke, Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Klaus Hartmann,
Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Markus Herrmann, Dr.-Ing. Dietmar Kaltner,
Dr.-Ing. Matthias Keßler, Dr.-Ing. Stefan Kreis, PD Dr.-Ing. habil. Martin Krotten-
thaler, Dr.-Ing. Dipl.-Chem. Florian Kühbeck, Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Ralf Mezger,
em. Univ.-Prof. Dr. agr. Ludwig Narziß, Dr.-Ing. Mark Schneeberger,
Dr.-Ing. Christina Schönberger, Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Elmar Spieleder,
Dr.-Ing. Frithjof Thiele, Dipl.-Ing. Kornel Vetterlein, Dipl.-Ing. Sascha Wunderlich,
Dipl.-Ing. Michael Wurzbacher, Dipl.-Ing. (FH) Martin Zarnkow,
Dr.-Ing. Achim Zürcher

Die Autoren bedanken sich bei der Sekretärin des Lehrstuhls,
Frau Daniela Schulte,
für die wertvolle Unterstützung.



Haftungsausschluss

Alle Angaben in diesem Buch wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und gemeinsam mit dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch lassen sich (im Sinne des Produkthaftungsrechts) inhaltliche Fehler nicht vollständig ausschließen. Die Angaben verstehen sich daher ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie seitens der Autoren oder des Verlages. Autoren und Verlag schließen jegliche Haftung für etwaige inhaltliche Unstimmigkeiten sowie für Personen-, Sach- und Vermögensschäden aus.

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2008 Fachverlag Hans Carl GmbH, Nürnberg, 2. aktualisierte Auflage
Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Titelbild: Dr.-Ing. Christina Schönberger
Satz: Verlagsservice Rohner, Tegemheim

ISBN 978-3-418-00910-0

Vorwort

Die 2. Auflage des Fachbuchs „Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie“ bietet dem praktizierenden Technologen ein noch umfassenderes Nachschlagewerk als die im Jahr 2005 veröffentlichte Ersterscheinung. So wurden aktuelle Forschungsergebnisse aufgenommen und die Texte auf den neusten Stand gebracht. Insbesondere die Kapitel Hopfen, Würzekochung, Hefetechnologie und Gärung, Filtrierbarkeit, Geschmacksstabilität sowie Bierbereitung mit vermälzten und unvermälzten Zerealien und Pseudozerealien wurden intensiv überarbeitet. Die bewährte Strukturierung nach Themenschwerpunkten, die den Brauereitechnologen tagtäglich beschäftigt, wurde beibehalten.

Mit der komplexen Darstellung der einzelnen Themen werden dem Praktiker und dem Studierenden die technologischen Zusammenhänge und das technologische Verständnis eindrucksvoll vermittelt. Besonderer Wert wurde auf eine übersichtliche Darstellung biochemischer und prozesstechnischer Grundlagen gelegt, damit die Erkenntnisse in der Praxis umgesetzt werden können. Bewährt hat sich auch der am Ende der einzelnen Kapitel aufgeführte Überblick, in dem unter anderem auf Probleme, Ursachen und Lösungen eingegangen wird.

Neu ist der erweiterte Anhang mit den Standardwerten der Würze- und Bierinhaltsstoffe sowie der Bieraromastoffe und höheren Alkohole.

Ich bedanke mich beim Mitarbeiterteam meines Lehrstuhls für die engagierte und fachkundige Zusammenarbeit bei der Ausarbeitung der einzelnen Themen sowie bei meinem Vorgänger Ludwig Narziß für die wertvollen Hinweise aus seinem reichhaltigen Erfahrungsschatz.

Mein Dank gilt auch dem Fachverlag Hans Carl für die Bereitschaft, eine überarbeitete Auflage dieses Handbuchs zu veröffentlichen.

Werner Back

Freising, Oktober 2008

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Malz	9
1 Einleitung	10
2 Malzqualitätsmerkmale von Gerste und Weizen	10
2.1 Qualitätsmerkmale von Gerstenmalz	10
2.2 Qualitätsmerkmale von Weizenmalz	16
2.3 Lebensmittelsicherheit	18
3 Zusammenfassung	18
4 Überblick	20
5 Literatur	21
Hopfen	23
1 Einleitung	24
1.1 Wertgebende Substanzen des Hopfens	25
1.2 Hopfenprodukte	29
1.3 Analytik	30
2 Spezielle Aspekte der Hopfung	32
2.1 Hopfengabe	32
2.2 Bitterstoffausbeute	42
2.3 Schaum	43
2.4 Mikrobiologie	44
2.5 Dosage von Downstream-Produkten	44
2.6 Hopfenlagerung	45
3 Zusammenfassung	47
4 Überblick	48
5 Literatur	49
Maischen	59
1 Einleitung	60
2 Technologie des Maischens	60
2.1 Maischparameter	62
2.2 Ausgewählte Maischverfahren	68
3 Zusammenfassung	71
4 Überblick	72
5 Literatur	73

Würzekochung, Würzekochsysteme	75
1 Einleitung	76
2 Technologische Grundlagen zur Würzekochung	76
2.1 Heißhaltung	76
2.2 Verdampfung	77
2.3 Gegenseitige Beeinflussung der analytischen Eckwerte bei der Würzekochung	83
2.4 Moderne Kochsysteme	85
3 Zusammenfassung	101
4 Überblick	102
5 Literatur	106
Biologische Säuerung	109
1 Einleitung	110
2 Technologie der Sauergutherstellung	111
2.1 Milchsäurekulturen	111
2.2 Vorteile der biologischen Säuerung	112
2.3 Kultivierung und Herführung der Milchsäurekulturen	115
2.4 Sauergutgewinnung	115
2.5 Berechnung der benötigten Milchsäuremenge	118
3 Zusammenfassung	119
4 Überblick	120
5 Literatur	121
Hefetechnologie und Gärung	123
1 Einleitung	124
2 Hefezustand, Hefebehandlung und Gärung	124
2.1 Hefeviabilität und Hefevitalität	124
2.2 Hefeherführung und Assimilation	127
2.3 Anstelltechnologie und SO ₂ -Bildung	135
2.4 Gärung	141
2.5 Erntehefebehandlung	144
2.6 Reifung und Lagerung	146
3 Zusammenfassung	148
4 Überblick	150
5 Literatur	154

Inhaltsverzeichnis

Filtrierbarkeit – Trübungsproblematik	157
1 Einleitung	158
2 Einflussgrößen auf die Filtrierbarkeit von Bier	158
2.1 Der Einfluss der Malzqualität auf die Filtrierbarkeit von Bier	160
2.2 Der Einfluss der Sudhausarbeit auf die Filtrierbarkeit von Bier	160
2.3 Der Einfluss von Gärung und Lagerung auf die Filtrierbarkeit von Bier	161
2.4 Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Würze und Bier	162
2.5 Der Einfluss der Filtration auf die Trübung von Bier	164
3 Zusammenfassung	167
4 Überblick	168
5 Literatur	171
Bierschaum	173
1 Einleitung	174
2 Aspekte des Bierschaums	174
2.1 Grundlagen der Schaumphysik	174
2.2 Biochemische und technologische Aspekte des Bierschaums	175
2.3 Technologischer Einfluss auf den Bierschaum	176
2.4 Methoden zur Bestimmung der Schaumhaltbarkeit	179
3 Zusammenfassung	179
4 Überblick	180
5 Literatur	184
Sensorik	187
1 Einleitung	188
2 Sensorik in der Brauindustrie	188
2.1 Sensorische Beurteilung von Bier	189
2.2 Auswahl und Schulung eines Verkosterpanels	194
2.3 Statistik in der Sensorik	198
2.4 Technologische Möglichkeiten zur Beeinflussung der Sensorik	201
3 Zusammenfassung	202
4 Überblick	203
5 Literatur	207
Geschmacksstabilität	211
1 Einleitung	212
2 Aspekte der Geschmacksstabilität	212
2.1 Grundlagen	212
2.2 Technologische Möglichkeiten zur Beeinflussbarkeit der Geschmacksstabilität	218
2.3 Analytische Beurteilung der Geschmacksstabilität	229

3 Zusammenfassung	239
4 Überblick	240
5 Literatur	243
Weizenbier	249
1 Einleitung	250
2 Technologie der Weizenbierherstellung	250
2.1 Grundlagen	250
2.2 Rohstoff Weizen und Malzschüttung	254
2.3 Maischen	255
2.4 Würzekochung	257
2.5 Gärung	257
2.6 Reifung	259
2.7 Alterung des Weißbieres	260
2.8 Besonderheiten der Weißbierherstellung	260
2.9 Trübungsstabilität Weizenbier	261
3 Zusammenfassung	261
4 Überblick	262
5 Literatur	265
Alkoholfreies Bier	267
1 Einleitung	268
2 Verfahren zur Herstellung alkoholfreier Biere	258
2.1 Physikalische Verfahren	268
2.2 Biologische Verfahren	279
2.3 Kombination der Verfahren	282
2.4 Wirtschaftliche Aspekte	282
3 Zusammenfassung	283
4 Überblick	284
5 Literatur	286
Prozessbiere	289
1 Einleitung	290
2 Verwertung von Prozessbieren	290
2.1 Bedeutung des Bierschwandes	290
2.2 Rückgewinnung von Bier aus Überschusshefe	291
2.3 Vor-, Zwischen- und Nachläufe	294
2.4 Sonstige Prozessbiere	295
2.5 Vermeidung von Prozessbieren	296
3 Zusammenfassung	297
4 Überblick	299
5 Literatur	299

Inhaltsverzeichnis

Bier und Gesundheit	301
1 Einleitung	302
2 Gesundheitliche Bedeutung von Bier	302
2.1 Ernährungsphysiologisch interessante Bierinhaltsstoffe	302
2.2 Bier als wertvoller Beitrag zu einer ausgewogenen Ernährung	308
2.3 Anreicherung bzw. Vermeidung besonderer Inhaltsstoffe im Bier	312
3 Zusammenfassung	315
4 Literatur	316
Mikrobiologie	319
1 Einleitung	320
2 Mikroorganismen	323
2.1 Kulturhefen	324
2.2 Fremdhefen	324
2.3 Bierschädliche Bakterien	326
2.4 Nachweis von Bierschädlingen	329
3 Zusammenfassung	335
4 Überblick	336
5 Literatur	341
Bierbereitung mit vermälzten und unvermälzten Zerealien und Pseudozerealien	343
1 Einleitung	344
2 Kohlenhydratreiche Körner	346
2.1 Getreide (Zerealien)	348
2.2 Pseudogetreide (Pseudozerealien)	361
3 Zusammenfassung	362
4 Überblick	363
5 Literatur	364
Anhang	371
1 Auszug Vorläufiges Biergesetz	372
2 Würzeinhaltsstoffe	374
3 Bierinhaltsstoffe	378
4 Bieraromastoffe und höhere Alkohole	380
5 Alterungsindikatoren	381
Stichwortregister	382
Abkürzungsverzeichnis	392

Malz

I Einleitung

Die Malzqualität hat einen wesentlichen Einfluss auf den Bierbereitungsprozess und die Qualität des fertigen Bieres. Sowohl einzelne Produktionsschritte wie das Läutern, die Gärung und die Filtration als auch wichtige Merkmale des Bieres wie z. B. Geschmack, Farbe, Schaum und Stabilität werden durch die Malzqualität grundlegend beeinflusst. Braumalz wird hauptsächlich aus Braugerste erzeugt, für Spezialbiere wie z. B. Weizenbier auch aus Weizen und anderen Zerealien wie z. B. Roggen oder Hafer (vgl. Kapitel Zerealien und Pseudozerealien). Die Gerste ist ein Naturprodukt und unterliegt regionalen wie jahrgangsbedingten Qualitätsschwankungen. Es ist die handwerkliche Aufgabe des Mälzers, diese Schwankungen so gut wie möglich zu egalisieren und eine möglichst homogene und konstante Malzqualität für die Brauereien zur Verfügung zu stellen. Der Qualitätsanpassung in der Mälzerei sind aber natürliche wie ökonomische Grenzen gesetzt. Die Erhaltung des hohen Qualitätsniveaus, das Braumalz und die Braugerstenzüchtung in Deutschland erreicht haben, ist Aufgabe der gesamten Verarbeitungskette vom Landwirt bis zum Brauer.

Mit der Auswahl der Gerstensorte und der Malzqualität und damit der Angabe von Norm- und Grenzwerten für die analytisch feststellbaren Malzanalysenmerkmale bestimmt der Brauer die für die jeweilige Biersorte notwendige Rohstoffqualität. Es sollten bei der Auswahl der Analysenmerkmale sowohl die Genauigkeit der Analysen als auch Interaktionen verschiedener Merkmale beachtet werden. Bei der Ermittlung der Ergebnisse sollte eine sorgfältige Durchführung gewährleistet sein. Die in Deutschland geläufigen Analysenvorschriften sind von der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK) bzw. von der European Brewery Convention (EBC) in Methodensammlungen veröffentlicht worden [1, 2]. Bevor auf die einzelnen Analysenmerkmale eingegangen werden kann, soll auch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Qualität der Malzanalyse und damit die Qualität der Beurteilung einer Malzpartie ganz entscheidend von einer repräsentativen Probenahme abhängt. Dementsprechend sind bei der Probenahme und Probenvorbereitung wichtige, bereits mehrfach veröffentlichte Regeln einzuhalten [1, 3].

2 Malzqualitätsmerkmale von Gerste und Weizen

2.1 Qualitätsmerkmale von Gerstenmalz

Die Gerstenmalzanalytik beschreibt vor allem die drei nach den Hauptbestandteilen des Kornes eingeteilten Lösungsvorgänge Cytolyse, Proteolyse und Amylyolyse. Der möglichst gleichmäßige und vollständige Abbau der Zellwände und das richtige Maß der Proteinlösung sind durch den Einsatz moderner Brauverfahren mit Einmaischtemperaturen über 60 °C bereits alleinige Aufgabe des Mälzers geworden. Damit steigt die Bedeutung der Malzqualität vor allem für den reibungslosen Ablauf der Produktion. In großen Brauereien mit bis zu zwölf Suden pro Tag ist durch die zeitlichen Vorgaben des Ablaufes im Sudhaus eine Korrektur dieser Lösungsvorgänge durch das individuelle Anpassen der Temperaturen und Rasten an die Malzqualität nicht mehr vorgesehen. In diesen Fällen beschränkt sich die Maischarbeit hauptsächlich auf die Amylyolyse und damit auf den Abbau von Amylose und Amylopektin auf das gewünschte Maß (vgl. Kapitel Maischen).

2.1.1 Cytolyse

Die Cytolyse beschreibt den Abbau der Stütz- und Gerüstsubstanzen in der Umhüllung der stärkeführenden Zellen des Mehlkörpers. Abgebaut werden Strukturproteine und Zellwandpolysaccharide, vor allem β -Glucan. Ein weitgehender Abbau der Gerüstsubstanzen beim Mälzen ermöglicht einen leichteren enzymatischen Angriff der Mehlkörperstärke während des Maischens und folglich auch höhere Ausbeuten im Sudhaus. Umgekehrt führt eine knappe Zellwandlösung einerseits zu Ausbeuteverlusten im Sudhaus, andererseits zur Überführung hoher Mengen hochmolekularen β -Glucans in lösliche Form.

Ältere Quellen attestieren hochmolekularem β -Glucan eine günstige Wirkung für Schaum und Vollmundigkeit. Solange β -Glucan nicht in Gelform vorliegt, sind Mengen bis ca. 350 mg/l technologisch unproblematisch. Neuere Forschungsarbeiten konnten aber nicht bestätigen, dass β -Glucan in einem technologisch vertretbaren Bereich einen reproduzierbaren Einfluss auf den Bierschaum und die Vollmundigkeit hat [4, 5, 6]. β -Glucangel kann bereits in geringen Mengen von 10–15 mg/l, die nur wenig über der verlässlichen Nachweisgrenze liegen, zu Filtrationsstörungen führen (vgl. Kapitel Filtrierbarkeit – Trübungsproblematik). Als besonders anfällig haben sich in diesem Zusammenhang Maischverfahren mit hoher Einmaischtemperatur von über 60 °C gezeigt. Bei Maischtemperaturen im Bereich von 60 bis 65 °C beobachtet man eine starke Freisetzung von noch in den Zellwänden gebundenem β -Glucan durch das Enzym β -Glucan-Solubilase. Ein Abbau dieses hochmolekularen Anteils kann jedoch nicht mehr stattfinden, da die dafür verantwortlichen Endo- β -Glucanasen bereits ab 52 °C inaktiviert werden. Somit führen Brauverfahren mit hoher Einmaischtemperatur bei gleicher Malzqualität stets zu höheren Gesamt- β -Glucangehalten in Würze und Bier und erfordern deshalb einen Rohstoff mit besonders starker Zellwandlösung (vgl. Kapitel Maischen).

Verschiedene Kennzahlen werden zur Beschreibung des Ausmaßes der Cytolyse herangezogen. Als einfache und schnell zu ermittelnde Kennzahl hat sich der Friabilimeterwert erwiesen. Mit dem Friabilimeter wird die Zellwandlösung über die „Mürbigkeit“ der Malzkörner ermittelt und durch die Anzahl der ganzglasigen Körner kann eine Aussage über die homogene Verarbeitung der Gerste in der Mälzerei gegeben werden. Eingehende Untersuchungen von SACHER [7], in die viele Beobachtungen aus der Praxis einfließen, zeigten, dass entgegen früheren Auffassungen der Friabilimeterwert bei hohen Einmaischtemperaturen mindestens 85 % betragen sollte und nach oben hin nicht beschränkt werden muss. Hohe Mürbigkeitswerte sind kein generelles Kennzeichen einer Überlösung, solange dies nur für die Zellwandlösung nicht aber gleichzeitig für die Eiweißlösung gilt. Als weitere Merkmale für die Beurteilung der Cytolyse gelten die Viskosität der Kongresswürze, die Viskosität der 65-°C-Maische, die β -Glucangehalte der Kongresswürze und der 65-°C-Maische sowie die Homogenität und die Modifikation des Malzes. Dabei ergeben die Werte der 65-°C-Maische eine bessere Aussage als die Werte der Kongressmaische.

Das Kongressmaischverfahren beinhaltet durch die 45-°C-Rast einen längeren β -Glucanabbau und durch das sofortige Aufheizen auf 70 °C nur eine unzureichende β -Glucan-Solubilase-Rast. Damit werden Unterschiede in der cytotolytischen Lösung von Malzpartien nicht ausreichend erfasst. Die isotherme 65-°C-Maische stellt diese Unterschiede durch die hohe Einmaischtemperatur und die intensive β -Glucan-Solubilase-Rast deutlicher dar. Teilweise wird auch die Differenz zwischen den

Malz

Ergebnissen der Kongress- und der 65-°C-Maische als Beurteilungskriterium herangezogen. Ausdrücklich sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sowohl die MEBAK als auch die EBC die Mehl-Schrot-Differenz (Extrakt-differenz) wegen der Ungenauigkeit der Analyse gestrichen und durch die oben genannten Analysen ersetzt hat. Auf Basis von statistischen Auswertungen in Kombination mit Praxisversuchen haben sich folgende Analysenmerkmale und Grenzwerte bei hohen Einmaischtemperaturen als sinnvoll erwiesen.

Friabilimeter	> 85 %
Ganzglasige Körner	< 2 %
Viskosität (8,6 %)	< 1,56 mPa x s
Viskosität 65 °C (8,6 %)	< 1,6 mPa x s
β-Glucan (8,6 %)	< 200 mg/l
β-Glucan 65 °C (8,6 %)	< 350 mg/l
Homogenität	> 75 %

Tabelle 1: Cytolytische Malzanalysenmerkmale für Maischverfahren mit hohen Einmaischtemperaturen.

Für die Praxis hat es sich bewährt, die Bestimmungen der Viskosität der VZ 65 °C und des Friabilimeterwertes (inkl. ganzglasiger Körner) sowie der Homogenität als Routineuntersuchungen durchzuführen und nur im Zweifelsfall (Über- bzw. Unterschreitung der Grenzwerte) die Analyse durch die restlichen Analysen der Tabelle 1 zu erweitern. Die Interpretation der Ergebnisse wird wie folgt empfohlen: Werden die Messwerte der oben aufgeführten Analysen in mindestens zwei Fällen unter- bzw. überschritten, so ist durch den Einsatz dieses Malzes bei hohen Einmaischtemperaturen mit Schwierigkeiten im Bereich Läuterung und Filtration zu rechnen. Werden im Gegensatz dazu die Grenzwerte eingehalten und treten trotzdem Filtrationsstörungen auf, sind diese mit großer Wahrscheinlichkeit auf Fehler in der Brauereitechnologie zurückzuführen (vgl. Kapitel Filtrierbarkeit – Trübungsproblematik). Überschreitet nur ein Messwert den Grenzwert, so ist die Analyse auf jeden Fall zu wiederholen. Sowohl die Messung der ganzglasigen Körner als auch die der β-Glucane weisen zum Teil sehr schlechte Vergleichbarkeiten auf. Die dazugehörigen statistischen Auswertgrundlagen können der Methodensammlung der MEBAK entnommen werden. Niedrige Homogenitätswerte und ein überproportional starker Anstieg der Viskosität sowie der β-Glucane von der Kongresswürze zur Würze der 65-°C-Maische weisen auf eine Mischung von sehr gut gelösten und zu knapp gelösten Malzen hin [7].

2.1.2 Proteolyse

Die Proteolyse beschreibt den Abbau des Kornproteins und dessen Überführung in eine nieder-, mittel- und hochmolekulare lösliche Form. Während sich hohe Werte der Zellwandlösung der

Bierqualität gegenüber neutral verhalten, aber die Verarbeitbarkeit verbessern, sind überhöhte Eiweißlösungen als ebenso nachteilig zu sehen wie zu geringe. Eine zu niedrige Eiweißlösung birgt die Gefahr der Unterversorgung der Hefe mit assimilierbaren Stickstoffverbindungen. Folgen sind eine zu geringe Hefevermehrung und die Bildung von unerwünschten Gärungsnebenprodukten (z. B. Diacetyl). Eine überhöhte Eiweißlösung hingegen ergibt einen zu starken Abbau hochmolekularen Proteins. Das Fehlen hinreichender Mengen hochmolekularen Eiweißes, aber auch ein Überhang mittelmolekularer Verbindungen und bestimmter Aminosäuren (Lysin, Arginin und Histidin) wirken sich negativ auf die Schaumstabilität aus. Diese Malze, Würzen und Biere neigen zu hohen Farben und ein Zuviel bestimmter Aminosäuren kann zu Fehleraromen und einer schlechteren Geschmacksstabilität führen (vgl. Kapitel Geschmacksstabilität). Außerdem sind Biere mit höheren Aminosäuregehalten anfälliger gegenüber Bierschädlingen.

Als Kennzahlen der Proteolyse werden die Kolbachzahl, der Gehalt an löslichem Stickstoff und der freie Aminostickstoff (FAN) bestimmt. Die in der betrieblichen Praxis am häufigsten zur Beurteilung der Proteolyse herangezogene Kenngröße ist die Kolbachzahl (Eiweißlösungsgrad). Sie stellt den prozentualen Anteil des bei der Mälzung und beim Kongressmaisverfahren in lösliche Form überführten Rohproteins am gesamten Korneiweiß dar. Der erwünschte Bereich für helle Allmalzbiere liegt zwischen 38 und 42 %. Der Eiweißlösungsgrad begrenzt die aus den absoluten Angaben für den Eiweißgehalt des Malzes (Normwerte 9,5–11 %) und dem löslichen Protein (Normwert 3,9–4,7 %) rechnerisch möglichen Kombinationsmöglichkeiten. Damit soll erreicht werden, dass eine ausgewogene Zusammensetzung des löslichen Eiweißes sowohl im hochmolekularen Bereich (Schaumhaltbarkeit) als auch im niedermolekularen Bereich (Hefeernährung) unabhängig vom Rohproteingehalt des Malzes gewährleistet ist. Das lösliche Eiweiß wird in den meisten Fällen über die Bestimmung des löslichen Stickstoffs ermittelt (Umrechnungsfaktor 6,25). Damit ergeben sich aus den oben gemachten Angaben Werte von 630 bis 750 mg/100 g MTrS löslicher Stickstoff und für den FAN-Gehalt, der ca. 21 % des löslichen Stickstoffs ausmachen sollte, 130–160 mg/100 g MTrS. Bei Anwendung sehr knapper Maisverfahren oder der Gabe von Rohfrucht wie z. B. Reis oder Mais sind höhere Werte anzusetzen (vgl. Kapitel Zerealien und Pseudozerealien).

2.1.3 Amylolyse

Von den amylytischen Kennzahlen werden im Malz üblicherweise der Extrakt, der Endvergärungsgrad, als Abschätzung der β -Amylaseaktivität die Diastatische Kraft und ferner die Aktivität der α -Amylase erfasst. Der Extraktgehalt gibt an, wie viel Prozent der Malztrockensubstanz durch das Kongressmaisverfahren mit Feinschrot in Lösung gebracht werden kann und gibt einen Hinweis auf die Ausbeute während des Brauprozesses. Bei Gerstenmalz liegen die Werte zwischen 78,0 und 83,5 %. Moderne Sommergerstensorten sollten auch bei höheren Rohproteinwerten Extraktgehalte von über 81,0 % aufweisen.

Der Endvergärungsgrad stellt eine summarische Größe zur Beurteilung der (Kongress-)Würzequalität dar und gibt Aufschluss darüber, wie gut der gewonnene Extrakt von der Hefe verarbeitet werden kann. Entscheidend ist dabei die Menge der vergärbaren Zucker und ihr relativer Anteil. Beeinflusst wird der Endvergärungsgrad auch von der Verkleisterungstemperatur der Stärke (vgl. Kapi-

tel Maischen). Zusätzlich spielen auch Spurenelemente und die Stickstoffzusammensetzung eine nicht zu unterschätzende Rolle. Als Qualitätsmerkmal für die Kongresswürze gilt: Je höher der Endvergärungsgrad desto besser ($> 81\%$). Vor dem Hintergrund schlecht beherrschbarer zu hoher Vergärungsgrade in der Brauerei wird aber immer wieder diskutiert, ob der anzustrebende Endvergärungsgrad nicht bereits im Malz limitiert werden sollte (vgl. Kapitel Biologische Säuerung). Der Diastatischen Kraft eines Malzes wird überwiegend im Ausland Interesse geschenkt, wo zum Teil hohe Rohfruchtmengen ohne nennenswerte eigene Enzymaktivitäten eingesetzt werden. Für Allmalzbiere dürften Aktivitätswerte von über 200 WK als ausreichend angesehen werden. Eine zu niedrige β -Amylaseaktivität kann in extremen Fällen zu einer Verschiebung des Zuckerspektrums und damit zu atypischen Gärverläufen (Diauxie) führen.

Das Schrittmacherezym des Stärkeabbaus ist die α -Amylase. Sie bildet durch den Abbau von Amylopektin und Amylose Stärkebruchstücke und damit Angriffspunkte für die β -Amylase. Als genügend ist eine α -Amylaseaktivität von über 40 ASBC-Einheiten anzusehen. Findet Maischesäuerung statt, so wird die α -Amylaseaktivität beeinträchtigt. Daraus können erhöhte Iodwerte mit negativen Folgen wie z. B. Trübungen im filtrierten Bier resultieren. Außerdem kann sich ein Mangel an Angriffspunkten für die β -Amylase nachteilig für den Endvergärungsgrad auswirken.

2.1.4 Weitere Malzanalysenmerkmale

2.1.4.1 DMS-Vorläufer

Der DMS-Vorläufer (DMS-P) bzw. S-Methylmethionin (SMM) ist eine Aminosäure, die im Malz, jedoch noch nicht in der Gerste in freier Form vorkommt.

Aus DMS-P bildet sich ab etwa $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, also bei allen thermischen Behandlungsschritten im Zuge der Malz- und Würzebereitung Dimethylsulfid (DMS).

Während des Malzdarrrens und Würzekochens sollte das DMS-P weitgehend gespalten und ausgetrieben werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Whirlpool eine Nachbildung von freiem DMS erfolgt (vgl. Kapitel Würzekochung, Würzekochsysteme). Die effektivste Einflussnahme auf die Höhe des DMS-Vorläufers gestatten die Abdarrtemperatur und -zeit. Grundsätzlich gilt: Je höher bzw. länger diese gewählt werden, desto niedrigere DMS-P-Gehalte werden erreicht. Es sprechen jedoch sowohl wirtschaftliche Aspekte als auch eine zu starke Wärmebelastung bei hellem Malz (siehe TBZ) gegen ein zu intensives Ausdarrren.

DMS kann im fertigen Bier einen Geruchs- und Geschmackseindruck erzeugen, der an gekochten Kohl oder an gekochtes Gemüse erinnert. Die sensorische Schwelle für freies DMS in Bier wird mit etwa $100\text{ }\mu\text{g/l}$ angegeben. Je nach Intensität der Kochung (vgl. Kapitel Würzekochung, Würzekochsysteme) sollte deshalb der DMS-P-Gehalt in Malz 5–7 ppm nicht überschreiten.

2.1.4.2 TBZ (Thiobarbitursäurezahl)

Eine summarische Größe für die thermische Belastung des Malzes während des Darrprozesses stellt die TBZ dar. Durch thermische Belastung entstehen vor allem Maillardprodukte, die farberhöhend

wirken und die Geschmacksstabilität negativ beeinflussen. In hellem Malz sollte eine TBZ in der Kongresswürze von 18 nicht überschritten werden, wobei die Forderungen mit den Höchstwerten für DMS-P abgestimmt werden müssen. Wie oben bereits beschrieben, muss bei der Intensität des Darrvorgangs, wie so oft in der Mälzungs- und Brautechnologie, ein Kompromiss zwischen der Spaltung von DMS-P bzw. dem Ausdampfen von DMS und einer möglichst niedrigen thermischen Belastung gefunden werden (Abbildung 1).

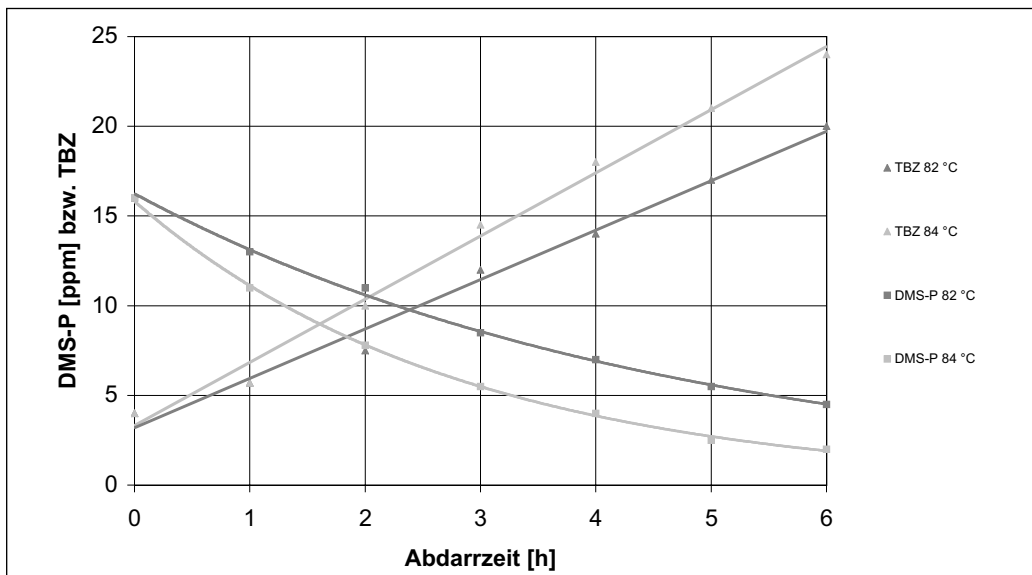


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Abdarrtemperatur und Dauer mit der TBZ und dem DMS-P-Gehalt nach FORSTER [8]. Beispiel: 5 ppm DMS-P werden erreicht durch: 3,2 h/84 °C/TBZ 14,5 oder 5,5 h/82 °C/TBZ 18.

2.1.4.3 Farbe und Kochfarbe

Die Malzfarbe beeinflusst maßgeblich die Farbe des fertigen Bieres. Ihre Bestimmung erfolgt photometrisch oder visuell aus der Kongresswürze bzw. der gekochten Kongresswürze. Beim Vergleich verschiedener Analyseergebnisse ist darauf zu achten, welche Methode angewandt wurde. Die Farbe sollte bei einem hellen Malz zwischen 2,5 und 3,5 EBC liegen und gibt Auskunft über die typgerechte Herstellung des Malzes. Die Farbe des fertigen Bieres lässt sich anhand der Kochfarbe bei bekannter Brauereitechnologie bedingt vorhersagen. Dabei haben die im Brauprozess stattfindenden thermischen Prozesse in Kombination mit möglichen oxidativen Belastungen (vor allem während des Maischens) und die pH-Wert-Verschiebung während der Gärung einen nicht unerheblichen (von der Malzfarbe unabhängigen) Einfluss auf die Bierfarbe. Auf Grund schonender Kochverfahren und geringer thermischer Belastungen sowohl des Malzes als auch der Würze können zu helle Biere entstehen. Die Einstellung der gewünschten Farbe erfolgt dann mittels verschiedener Spezialmalze [7, 9].

Malz

2.1.4.4 pH-Wert

Der pH-Wert von Malz wird in der Kongresswürze gemessen. Er liegt bei hellem Gerstenmalz zwischen 5,80 und 5,95. Dunkles Malz weist durch eine größere Menge von Maillardprodukten einen tieferen pH-Wert von 5,50–5,80 auf. Zu niedrige pH-Werte bei hellem Malz deuten auf eine zu starke Lösung bzw. auf eine mögliche zu intensive Schwefelung des Malzes hin. Niedrige pH-Werte lassen auch einen niedrigeren Maische-pH erwarten.

2.2 Qualitätsmerkmale von Weizenmalz

Die Weizenmalzqualitätskriterien wurden direkt von denen des Gerstenmalzes übernommen. Durch die sehr unterschiedlichen technologischen Anforderungen bei der Herstellung von Weizenbieren erscheint eine kritische Überprüfung dieses Transfers aber notwendig. Die Unterschiede von Gerste und Weizen einerseits und von untergärigen Bieren und trüben obergärigen Bieren andererseits erfordern eine grundsätzlich unterschiedliche Betrachtungsweise des Rohstoffes. Weder die Weizenqualität noch die Vermälzbarkeit sowie die Auswirkungen der Malzqualität auf die Weizenbierqualität sind annähernd so gut untersucht wie bei Gerste und Gerstenmalz. Trotzdem sollen im Folgenden die Eigenschaften des Weizenmalzes, in der bei der Gerste praktizierten Reihenfolge, besprochen und auf Parallelen bzw. Unterschiede hingewiesen werden.

2.2.1 Cytolyse

Den stofflichen Hintergrund der cytolytischen Analysenmerkmale bei Gerstenmalz bildet vor allem das Zellwandpolysaccharid β -Glucan. Es ist das viskositätsbestimmende Polysaccharid in Gerstenmalzwürzen. Seine Färbung mit Calcofluor ist die analytische Grundlage für die Homogenitätsbestimmung bzw. der direkten Bestimmung von β -Glucan in Würze und Bier. Der stoffliche Hintergrund für die im Allgemeinen höhere Viskosität von Weizenmalzwürzen (1,6–1,8 mPa s in der Kongresswürze) ist aber nicht das β -Glucan. Beim Weizen sind Pentosane die viskositätsgebenden Polysaccharide. Über ihr Verhalten während der Mälzung und im Brauprozess ist wenig bekannt. Es wird berichtet, dass sie zumindest bei Roggenmalz im Zusammenhang mit Sauerstoffeintrag beim Maischen zu hohen Viskositäten und zu Läuterschwierigkeiten führen können [10]. Eine Gelbildung im Bier wie bei β -Glucan konnte aber noch nicht nachgewiesen werden. In Anbetracht der oben aufgeführten cytolytischen Gerstenmalzanalysenmerkmale ist festzustellen, dass alle auf der β -Glucanalytik basierenden Untersuchungen nicht auf die Weizenmalzanalytik übertragbar sind. Damit sind sowohl die Homogenitätsmessungen als auch die direkte Bestimmung von β -Glucan keine sinnvollen Parameter zur Beurteilung der Weizenmalzqualität. Außerdem ist bei Weizenmalz auf Grund anderer Mürbigkeitsstrukturen der Friabilimetertest nicht aussagekräftig. Damit bleibt zur Beurteilung der cytolytischen Lösung nur die Viskosität. Leider korrelieren auch die Befunde dieser Messung der Weizenmalzkongresswürze nicht in befriedigender Weise mit dem Läuterverhalten von Betriebsmaischen aus Weizenmalz bzw. mit der Filtrierbarkeit von Kristallweizenbieren (vgl. Kapitel Filtrierbarkeit – Trübungsproblematik). Solange aber keine anderen Parameter zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit von Weizenmalz gefunden werden, gibt die Viskosität den einzigen Anhaltspunkt zur Beurteilung der cytolytischen Lösung von Weizenmalz.

2.2.2 Proteolyse

Wie bei der Beurteilung der proteolytischen Lösung von Gerstenmalz werden vor allem der Gesamteiweißgehalt (Umrechnungsfaktor 6,25) sowie der lösliche Teil des Eiweißes, ferner der daraus berechnete Eiweißlösungsgrad und der FAN zur Beurteilung der proteolytischen Lösung von Weizenmalz herangezogen. Die Eiweißlösung von Weizenmalz übt einen erheblichen Einfluss auf das Weizenbieraroma [11] aus. So wurde berichtet, dass hohe Ausprägungen der proteolytischen Kennzahlen zu geringen Gehalten an Estern führen und somit zu eher neutralen Noten.

Des Weiteren spielen Proteine für eine konstante Dauertrübung von Weizenbieren eine entscheidende Rolle. Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit dieser für ein trübes Bier wichtigen Eigenschaft. Es konnte von WEIKL bereits gezeigt werden, dass Hefezellen im Allgemeinen zu groß sind und eine zu hohe Sinkgeschwindigkeit besitzen, als dass sie für eine konstante Trübung sorgen könnten [12]. Partikeln, die dazu in der Lage sind, haben eine Größe von 0,1–1,0 μm und konnten als Eiweiß und zum Teil auch als α -Glucan identifiziert werden. Welchen Einfluss die Wahl der Weizensorte und die Mälzungstechnologie auf die Anzahl dieser Partikeln im Bier haben, ist aber noch weitgehend unbekannt und Gegenstand der aktuellen Weizenbierforschung.

Im Gegensatz dazu scheint beim Kristallweizen die Filtrierbarkeit sehr viel stärker von Eiweißpartikeln abzuhängen, als dies bei untergärigem Bier der Fall ist [13]. Der Wunsch nach einer stabilen Trübung einerseits und einer guten Filtrierbarkeit andererseits lässt vermuten, dass für Hefeweizen und Kristallweizen zwei verschiedene Malzspezifikationen hinsichtlich ihrer Eiweißlösung erforderlich sind. Insgesamt können die Analysenkennzahlen der Proteolyse vom Gerstenmalz auf das Weizenmalz übertragen werden, wobei anzumerken ist, dass der Rohproteingehalt von Weizen grundsätzlich etwas höher ist oder sogar sein soll. SACHER konnte zeigen, dass Eiweißgehalte um die 12 % und ein moderater Eiweißlösungsgrad für das Bieraroma vorteilhaft sind [11].

2.2.3 Amylolyse

Auf Grund der fehlenden Spelzen hat Weizenmalz auch bei deutlich höheren Proteingehalten eine höhere Extraktausbeute als Gerstenmalz, aber niedrigere Endvergärungsgrade. Dies mag auch daran liegen, dass Weizenmalz über eine wesentlich schwächere α -Amylaseaktivität verfügt. Weizenbiere zeigen im Allgemeinen höhere Iodwerte, was darauf schließen lässt, dass die Verzuckerung bei Weizenbiermaischen weniger weitgehend erfolgt ist. Für eine stabile Trübung werden die für den höheren Iodwert verantwortlichen α -Glucane als überwiegend positiv eingestuft, wobei auch hier gesicherte Erkenntnisse noch fehlen. Im filtrierten Weizenbier sind α -Glucane die Hauptverursacher von hohen Trübungswerten bei der 90°-Streulichtmessung und auf jeden Fall als negative Komponenten zu bewerten. Die α -Amylaseaktivität gibt keine gesicherte Erkenntnis über die Verarbeitbarkeit von Weizenmalz. Es hat sich aber gezeigt, dass mangels geeigneter Alternativen die Enzymtätigkeit ein Hilfsmittel zur Einschätzung der Qualität sein kann. Dabei gilt, dass eine möglichst hohe Aktivität zu bevorzugen ist.

2.3 Lebensmittelsicherheit

Durch die Globalisierung der Lebensmittelmärkte und verschiedene Lebensmittelskandale ist die Sicherheit von Lebensmitteln in den Mittelpunkt des Interesses der Verbraucher, des Handels und des Gesetzgebers gerückt. Bier ist u. a. durch den niedrigen pH-Wert und den Einsatz von Hopfen ein gegenüber pathogenen Keimen geschütztes Produkt (vgl. Kapitel Mikrobiologie). Auch die Rohstoffe Gerste, Weizen und das daraus gewonnene Malz sind Lebensmittel mit einem geringen und überschaubaren Risiko für den Verbraucher. Dennoch wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl von Sicherungssystemen, gesetzlichen Vorschriften und Grenzwerten national wie EU-weit etabliert bzw. erlassen. Die Grenzwerte und Analyseverfahren sind Gegenstand einer stetigen, sehr politisch geprägten Diskussion. Wegen der negativen Folgen, die falsche positive Befunde in der Öffentlichkeit hervorrufen können, sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Rückstands- und Toxinanalytik Sorgfalt und Expertenwissen voraussetzt und eine fachmännische Probenvorbereitung wie bereits erwähnt unabdingbar ist.

Die Risiken, die in der Verarbeitungskette von der landwirtschaftlichen Produktion über den Erfassungshandel und die Mälzerei bis zur Malzannahme in der Brauerei entstehen, sind übersehbar. Eine Risikoanalyse und Risikobewertung muss in jedem Unternehmen individuell vorgenommen werden. Im Rahmen dieses Buchs sind in der Tabelle 2 Informationsquellen angegeben, die es ermöglichen, den Überblick über die aktuellen Entwicklungen zu behalten.

3 Zusammenfassung

Malz wird aus dem natürlichen Rohstoff Gerste gewonnen. Die Qualität der Gerste ist demnach sorten-, anbau- und jahrgangsbedingten Schwankungen unterworfen. In der Mälzerei werden diese Schwankungen im Rahmen der technologischen und ökonomisch sinnvollen Möglichkeiten auf die von den Brauereien vorgegebenen Qualitätskriterien angepasst. Die Beurteilung der Malzqualität erfolgt im Allgemeinen über die von der MEBAK bzw. EBC vorgeschriebenen Malzqualitätsmerkmale. Die untersuchten Merkmale beschreiben vor allem die Ausprägung der drei wichtigen Lösungsvorgänge Proteolyse, Cytolyse und Amylolyse, die einen maßgebenden Einfluss auf die Bierqualität haben. Es ist die Aufgabe des Brauers in Abhängigkeit von der in der Brauerei festgelegten Technologie, Grenzwerte für die Malzqualitätsmerkmale festzulegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Parameter nicht isoliert voneinander betrachtet werden können. Des Weiteren können einzelne Merkmale oder Merkmalsgruppen mehrere Produktionsschritte und die Bierqualitätsmerkmale zum Teil auch gegenläufig beeinflussen. Die Malzspezifikation stellt also immer einen Kompromiss dar, der jährlich an die Qualität der Gerstenernte und an die aktuellen Braugerstensorten angepasst werden sollte.

Behörden, gesetzliche Grundlagen, Grenzwerte und Vorschriften	Quelle
<p>Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz (LMBG)</p> <p>Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002</p> <p>Lebensmittelhygieneverordnung (LMHV)</p> <p>Neuartige Lebensmittel- und Lebensmittelzutatenverordnung (NLV)</p> <p>Trinkwasserverordnung (TrinkwV)</p> <p>Gesetz zur Regelung der Gentechnik (GenTG)</p>	<p>Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) ist Herausgeber des Verbraucherschutzinformationssystems VIS. http://www.vis-ernaehrung.bayern.de/de/left/recht/recht-ix.htm</p> <p>Auf der oben angegebenen Webseite finden Sie die nebenan aufgeführten Gesetze und Verordnungen und einen Link zur staatlichen Lebensmittelüberwachung.</p>
<p>Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA). Die EFSA bietet unabhängige wissenschaftliche Beratung zu allen Fragen im Zusammenhang mit der Lebensmittelsicherheit, einschließlich der Tiergesundheit und des Tierschutzes sowie der Pflanzengesundheit, und im Zusammenhang mit den Rechtsvorschriften der Gemeinschaft auch zu Fragen der Ernährung.</p>	<p>http://www.efsa.eu.int/index_de.html</p>
<p>Auskünfte über malz- und bierspezifische Grenzwerte</p>	<p>Deutscher Brauerbund e.V. http://www.brauer-bund.de/</p> <p>Bayerischer Brauerbund e.V. http://www.bayrisch-bier.de/</p> <p>Deutscher Mälzerbund dmb@deutscher-maelzerbund.de</p>

Tabelle 2: Informationsquellen zur Lebensmittelsicherheit.

4 Überblick

Analysenmerkmal	Einheit	Gerstenmalz		Weizenmalz
		Variables Maischverfahren	Hoch-Kurz-Maischverfahren	
Extrakt	%, wfr.	> 81	> 81	> 83
α -Amylase	ASBC, wfr.	> 40	> 40	> 28
Diastatische Kraft	WK	> 200	> 200	
Endvergärungsgrad	%, schb.	> 80	> 80	
Rohprotein	%, wfr.	9,5–11	9,5–11	11–12,5
Löslicher Stickstoff	mg/100 g MTrS	550–700	650–750	650–780
Eiweißlösungsgrad	%	38–40	39–42	37–40
Freier Aminostickstoff	mg/100 g MTrS	120–150	130–160	
Friabilimeter	%	> 80	> 85	
Ganzglasigkeit	%	< 2	< 2	
Viskosität	mPa x s (8,6 GG%)	< 1,58	< 1,56	< 1,8
Viskosität 65 °C	mPa x s (8,6 GG%)	< 1,65	< 1,60	
β -Glucan	mg/l	< 300	< 200	
β -Glucan 65 °C	mg/l	< 450	< 350	
Modifikation	%	> 85	> 90	
Homogenität	%	> 75	> 75	
DMS-P	ppm, lfr.	< 7	< 7	
DON	μ g/kg	500	500	500
NDMA	μ g/kg	< 2,5	< 2,5	< 2,5

5 Literatur

- [1] Anger, H.-M.: Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK) Band Gerste, Rohfrucht, Malz, Hopfen. Selbstverlag der MEBAK, Weihenstephan 2005.
- [2] Analytica EBC. Hrsg.: P. van Eerde. Fachverlag Hans-Carl, Nürnberg 1998.
- [3] Münzing, K.: Probenahme und Getreidevorbereitung für Rückstellmuster und Laboruntersuchungen, Veröffentlichungsnummer 7418 der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster. S. 649–655.
- [4] Lusk, L. T., Duncombe, G. R., Lay, S., Navarro, A., und Ryder, D.: Barley β -Glucan and Foam Stability. Journal ASBC. 59, 2001. S.183-186.
- [5] Kreis, S.: Der Einfluss von Polysacchariden aus Malz, Hefe und Bakterien auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier: Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 2003.
- [6] Potrek, M., und Rauschmann, M.: Jahrbuch 1999 Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB).
- [7] Sacher, B.: Hohe Einmischtemperaturen – Anforderungen an die Malzqualität. 40. Mälzertechnische Arbeitstagung, Doemens.
- [8] Forster, C.: Der Einfluß der Darrtechnologie auf die Malz- und Bierqualität, Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 1996.
- [9] <http://www.weyermann.de/>
- [10] Braun, F.: Mälzungs- und Maischversuche zu Möglichkeiten der technologischen Einflußnahme auf ungünstige Fließigenschaften bei Roggenmalzwürzen. Diplomarbeit, TU München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 1997.
- [11] Sacher, B.: Über den Einfluß von Sorte, Umwelt, agronomischen Maßnahmen und Mälzertechnologie auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Winterweizenmalzen, Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 1997.
- [12] Weigl, D.: Untersuchung der physikalischen Aspekte der Trübungsentstehung in Bier und ihrer messtechnischen Erfassung unter besonderer Berücksichtigung von dauertrüben Weizenbieren, TU München/Weihenstephan, Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, Juni 2003.
- [13] Keßler, M.: Untersuchungen zur Filtrierbarkeit von Weizenbieren, Diplomarbeit, TU München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, 2003.

Hopfen

I Einleitung

Der Kulturhopfen (*Humulus lupulus*) gehört innerhalb der botanischen Ordnung der Urticales (Nesselgewächse) zur Familie der Hanfgewächse (*Cannabaceae*) [1].

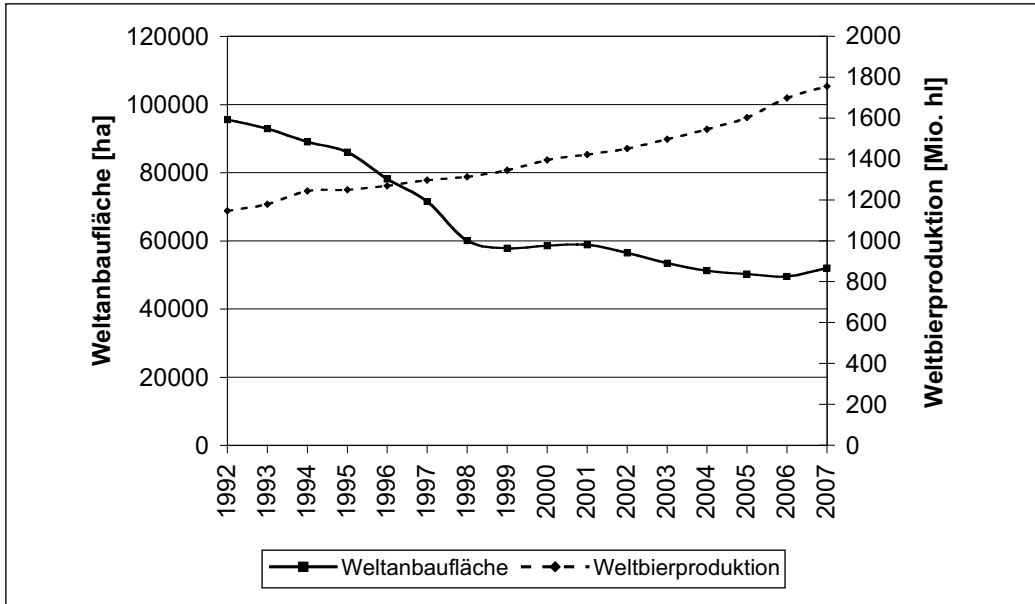


Abbildung 1: Entwicklung der Weltanbaufläche und -bierproduktion [2, 3].

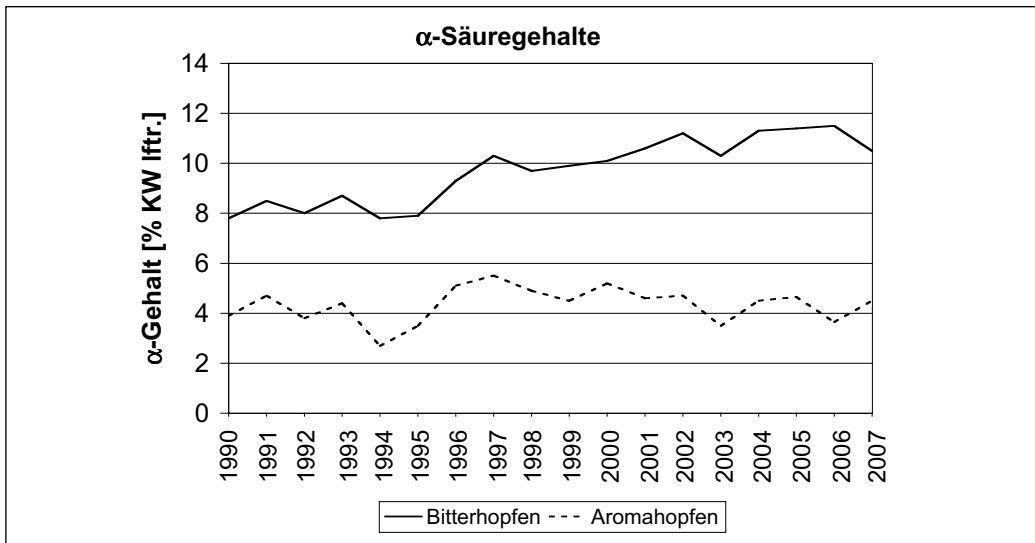


Abbildung 2: Entwicklung der durchschnittlichen Alphasäuregehalte weltweit von Bitter- und Aromahopfen [2, 3].

Hopfen wird in mehr als 50 Ländern auf etwa 52.000 ha kultiviert. Allein ca. 17.700 ha entfallen auf Deutschland. Der Züchtungsfortschritt lässt sich an den steigenden α -Säurewerten der Bitterhopfensorten erkennen. Trotz steigender Weltbierproduktion hat sich die Anbaufläche verringert, was einerseits auf den vermehrten Anbau von Hoch- α -Hopfensorten zurückzuführen ist. Andererseits hat sich die durchschnittliche α -Dosage pro hl Bier stetig reduziert. Weltweit betrachtet, nehmen die Bittereinheiten im Bier ab [4]. Derzeit werden durchschnittlich etwas mehr als 4 g α -Säuren pro hl Bier gegeben [3].

Detaillierte Informationen zu den deutschen Hopfensorten, wie Bitterstoffgehalt, Ölzusammensetzung, sensorische Eigenschaften, Polyphenolgehalt, Resistenzen sowie weitere Informationen zu Agronomie und Brauqualität [5, 6] können der CMA-Sortenmappe [7] entnommen werden. Daten und Beschreibungen von deutschen und internationalen Hopfensorten sind auch über das Internet einsehbar [8, 9, 10, 11].

1.1 Wertgebende Substanzen des Hopfens

Von der Hopfendolde sind die auf der Innenseite der Vor- und Deckblätter lokalisierten gelblich grünen – im frischen Zustand klebrigen – Becherdrüsen (Lupulindrüsen) für den Brauer von größtem Interesse, denn diese beinhalten die technologisch relevanten Bitter- und Aromastoffe. Die Zusammensetzung des Hopfens ist abhängig von der Sorte, dem Jahrgang, der Provenienz, dem Erntezeitpunkt, der Trocknung und der Lagerung [12, 13].

1.1.1 Bittersäuren

Die Gesamtharze stellen die Summe aller Bitterstoffe dar und lassen sich auf Grund ihrer Hexanlöslichkeit in die unlöslichen Hartharze und die löslichen Weichharze unterteilen. In den Weichharzen sind als Hauptkomponenten die Bittersäuren enthalten, welche sich in α - (3–17 %) und β -Säuren (2–10 %) gliedern lassen. Die fünf Homologe der α -Säure sind Humulon und co-, ad-, prä-, post-Humulon. Die Gruppe der Lupulone besteht ebenfalls aus fünf Homologen, welche sich von den Humulonen lediglich durch die Seitenkette am C₃-Atom (Dimethylallyl-Gruppe anstelle einer OH-Gruppe) unterscheiden (Abbildung 3).

Die Bitterstoffe verleihen dem Bier die feine, angenehme Hopfenbittere, fördern die Bekömmlichkeit, stabilisieren den Bierschaum und erhöhen durch ihre antibakteriellen Eigenschaften die biologische Haltbarkeit des Bieres [14]. Studien belegen einen positiven Einfluss auf Diabetes Typ 2 [15].

Das Bitterungspotential und damit der Brauwert der einzelnen Substanzen ist unterschiedlich [16]. Neben der Löslichkeit [17] in Würze und Bier kommt der Bitterqualität eine große Bedeutung zu. Die unisomeren α -Säuren liefern, auf Grund ihrer geringen Löslichkeit in Würze und Bier, keinen sensorischen Beitrag zur Bitterkraft [18].

Bei der thermischen Isomerisierung entstehen aus den optisch aktiven hexacyclischen Verbindungen Strukturen mit einem Fünfering. Durch Degradationsprozesse entstehen auch *Isohumulonderivate* (*abeo-iso- α -Säuren*, *allo-iso- α -Säuren* und *anti-iso- α -Säuren*). Diese schwerflüchtigen, gut wasserlöslichen, meist komplexen Verbindungen lösen sich in der Würze und können bis in das Bier gelangen

Hopfen

[19]. Durch oxidative Prozesse können sich β -Säurederivate, z. B. Hulupone, bilden, denen ein Beitrag zur Bittere zugesprochen wird [20, 21, 22, 23].

Beim Würzekochen vollzieht sich die Umwandlung der beim Würze-pH nur begrenzt löslichen α -Säuren in die besser löslichen *cis*- und *trans*-*iso*- α -Säuren, wie Abbildung 3 zeigt. Die Bezeichnung „*cis*“ und „*trans*“ bezieht sich bei den *iso*- α -Säuren auf die räumliche Anordnung der Hydroxylgruppe am C₄-Atom in Bezug auf die Isoprenyl-Seitenkette am C₅-Atom [24]. Auf Grund der stereochemischen Eigenschaften ist die *trans*-Form instabiler als die *cis*-Form [25, 26]. Die Bitterintensität der Isomere wird als gleich [20, 26, 27] mit einer Tendenz zu etwas stärker bitteren *cis*-Formen beschrieben [28, 29, 30].

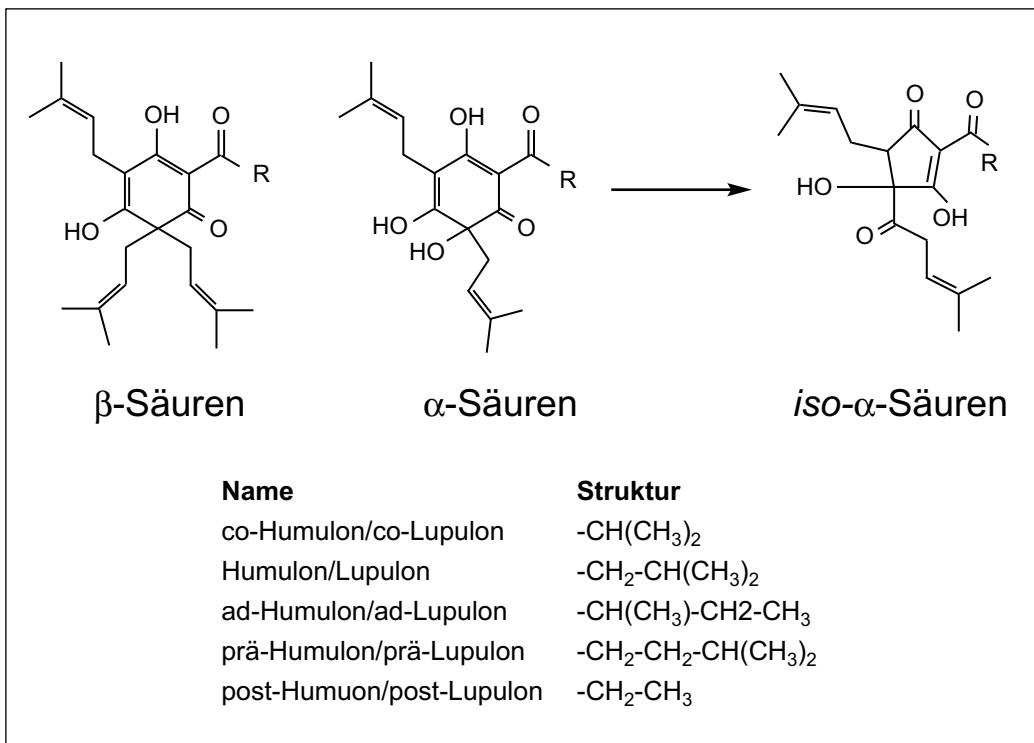


Abbildung 3: Isomerisierung von α - zu *iso*- α -Säuren beim Würzekochen.

1.1.2 Aromastoffe

Mehrere hundert flüchtige Komponenten konnten bisher in Hopfen identifiziert werden. Diese werden unterteilt in eine Kohlenwasserstoff-Fraktion, bestehend aus Terpenkohlenwasserstoffen (70–75 %), sauerstoffhaltigen Verbindungen (25–30 %, Sauerstoff-Fraktion) sowie weiteren Aromastoffen. Erstere untergliedert sich in Monoterpene und Sesquiterpene. Monoterpene sind u. a.

α - und β -Pinen, Limonen sowie Myrcen, welches mit 15 bis 60 % Massenanteil an den Gesamtölen die quantitativ bedeutendste Substanz darstellt. Sesquiterpene sind beispielsweise β -Caryophyllen, α -Humulen und Farnesen [31]. Farnesen ist typisch bei den Sorten des Saazer Formenkreises (Spalter, Tettmanger) und mit einem Anteil von bis zu 30 % am Gesamtöl zu finden.

Sauerstoffhaltige Verbindungen sind Alkohole, Aldehyde, Ketone, Säuren, Ester und Sauerstoffheterocyclen. Die oxidierten Terpene Linalool (Abbildung 4) und Geraniol weisen einen blumigen bzw. rosenartigen Geruch auf. Linalool ist eine chirale Verbindung und liegt überwiegend in der deutlich geruchsaktiveren (R)-Form vor (92–94 %) [32, 33, 34].

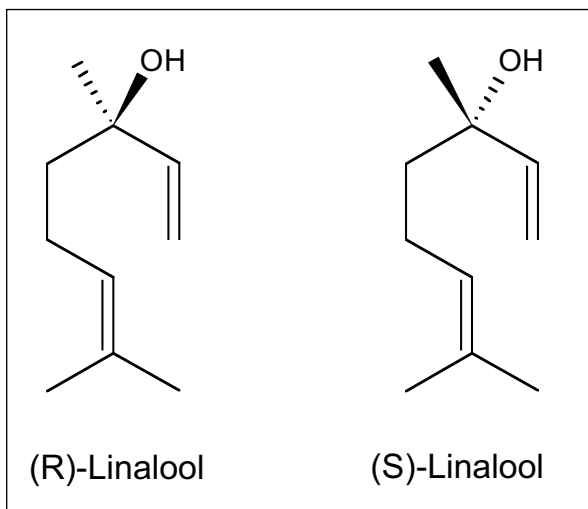


Abbildung 4: Chemische Form der chiralen Verbindung Linalool.

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 [35].

Ester können zu einem fruchtigen Aromaeindruck beitragen. Fettsäuren sind meist für das käsige Aroma verantwortlich, vor allem bei ungünstig (warm) gelagertem Hopfen. Sauerstoffheterocyclen (Epoxide) entstehen durch Autoxidation von Sesquiterpenkohlenwasserstoffen. Hopfen enthält außerdem schwefelhaltige Aromakomponenten wie Thioester, Sulfide und Schwefelheterocyclen [36, 37, 38].

Die Zusammensetzung der Hopfenöle ist abhängig von der Sorte und kann durch die Trocknungsbedingungen sowie die Verarbeitungsverfahren stark beeinflusst werden. Durch die Realisierung einer Kühlkette von der Annahme des Rohhopfens über die Veredelung bis zum Hopfenprodukt werden Oxidationseinflüsse weitgehend unterbunden. Abbildung 5 zeigt verschiedene Aromahopfensorten und deren Intensität an den sensorisch wahrnehmbaren Noten „fruchtig“ und „blumig“ [39].

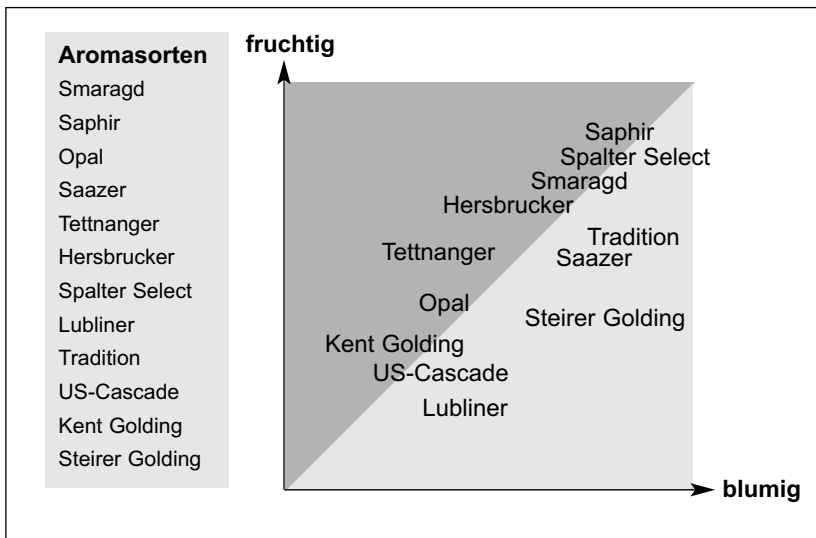


Abbildung 5: Aromaintensitäten „fruchtig“ und „blumig“ von verschiedenen Aromahopfensorten.

1.1.3 Polyphenole

In Abhängigkeit des verwendeten Hopfens bzw. des verwendeten Hopfenproduktes stammen bis zu 30 % der Polyphenole in einer Würze vom Hopfen, der Rest wird durch das Malz eingebracht. Ca. 100 verschiedene phenolische Einzelkomponenten können analytisch bestimmt werden. Die Polyphenole bestehen zu ca. 80 % aus kondensierbaren und zu ca. 20 % aus hydrolysierbaren Verbindungen. Erstere sind monomere Polyphenole und deren Glycoside. Die niedermolekularen Verbindungen können zu höhermolekularen Produkten polymerisieren.

Polyphenole umfassen die Gruppe der Phenolcarbonsäuren, wie z. B. Hydroxybenzoesäuren und Hydroxizimtsäuren. Der Hauptvertreter der Prenylflavonoide ist Xanthohumol [1].

Aromahopfen enthalten höhere Mengen an niedermolekularen Polyphenolen als Bitterhopfen [40, 41, 42, 43]. Unterschiede ergeben sich abhängig von Anbauort, Sorte und Vegetationsverlauf [44].

Besonders eiweißfällend bzw. trübungsverursachend sind die Proanthocyanidine, welche sich aus Catechin- oder Leucoanthocyanidin-Einheiten zusammensetzen [31, 45]. Die Bezeichnung Proanthocyanidine leitet sich von deren Eigenschaften ab, bei Erhitzung mit Säuren und in Anwesenheit von Sauerstoff in die entsprechenden Anthocyanidine überzugehen. Im Braugewerbe werden sie auch als Anthocyanogene bezeichnet [46].

Niedermolekulare Polyphenole sind natürliche Antioxidantien. Sie erhöhen die Reduktionskraft des Bieres und haben somit Einfluss auf die Geschmacksstabilität [44]. Durch die adstringierenden Eigenschaften können Polyphenole die Bittere, das Mundgefühl und den Körper des Bieres beeinflussen [22].

Darüber hinaus wird vermutet, dass sie als Radikalfänger im menschlichen Körper fungieren und so eine krebshemmende Wirkung ausüben können (vgl. Kapitel Bier und Gesundheit). Xanthohumol zeigt sowohl in vitro als auch im Tierversuch eine anticancerogene Wirkung [47, 48, 49, 42, 50, 51]. Das Prenylflavonoid Xanthohumol ist in den Lupulindrüsen lokalisiert.

Hochmolekulare Polyphenole können, besonders bei langen Kochzeiten, die Bierfarbe erhöhen und eine adstringierende Bittere verursachen. Sie verringern die kolloidale Stabilität und führen zu Trübungen im Bier (vgl. Kapitel Filtrierbarkeit – Trübungsproblematik). Um eine hohe physikalische Stabilität des Bieres zu erzielen, wird der Eintrag von Polyphenolen verringert, oder sie werden partiell entfernt. Es können polyphenolfreie Hopfenextrakte sowie proanthocyanidinfreie Gerstensorten verwendet werden. Alternativ können trübungsrelevante Polyphenole durch Adsorption an Polyvinylpolypyrrolidon (PVPP) im Zuge der Bierfiltration entfernt werden [42]. Polyphenole werden durch Abtrennung von Heiß- und Kühltrub, Geläger und bei der Filtration teilweise entfernt.

1.2 Hopfenprodukte

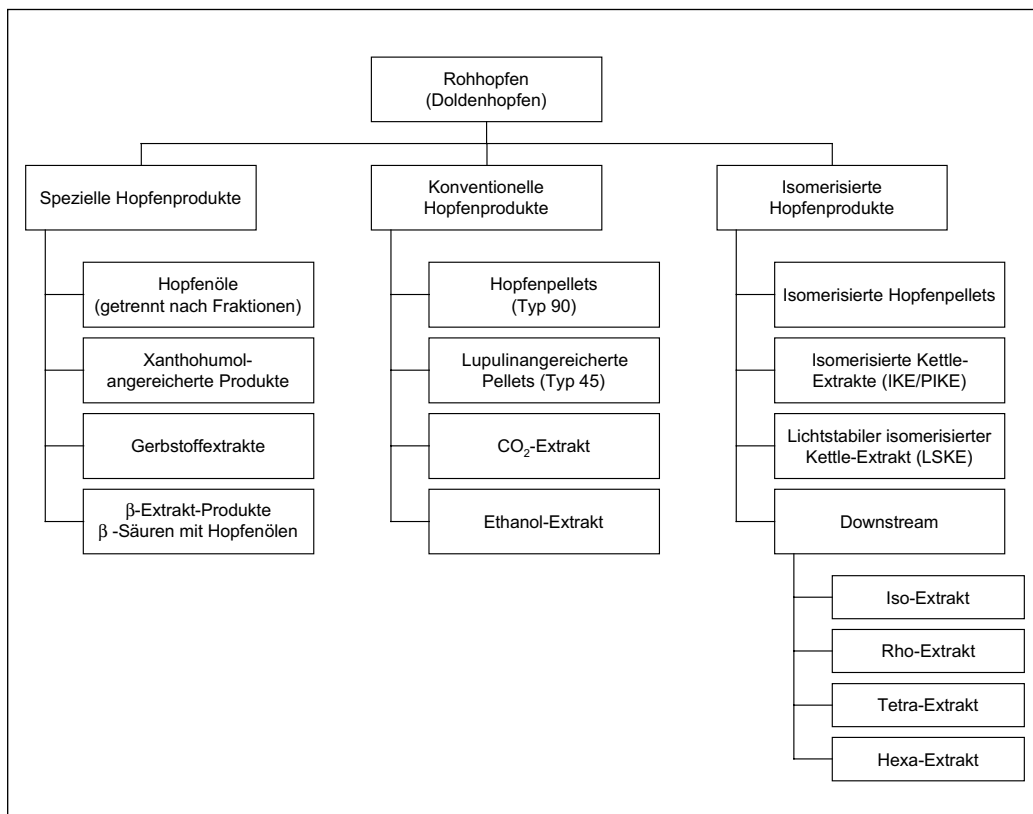


Abbildung 6: Einteilung von Hopfenprodukten.

Hopfen

In Abbildung 6 ist dargestellt, wie Hopfenprodukte klassifiziert werden. Ein Hauptmerkmal von Hopfenprodukten ist das reduzierte Volumen im Vergleich zu Rohhopfen. Speziell die angereicherten Hopfenprodukte (Pellets Typ 45 oder Extrakte) vereinen viele Vorteile in sich. Sie ermöglichen eine gute Lagerfähigkeit in den Kühlräumen, eine vereinfachte Logistik und eine Verringerung des anfallenden Verpackungsmaterials. Durch die homogene α -Säurenverteilung in einer Produktcharge ist eine exakte Dosage des Hopfens in der Brauerei möglich. Des Weiteren sind Hopfenprodukte durch spezielle Verpackungen vor Oxidationen besser geschützt und bieten somit eine längere Erhaltung der Rohstoffqualität. Pflanzenschutzmittel-Rückstände liegen in Rohhopfen unter den gesetzlich zugelassenen Grenzwerten und werden in Hopfenprodukten unterschiedlich stark reduziert [52, 53, 54]. Die Produkte können anhand ihres Einsatzzweckes und ihres Dosagezeitpunktes differenziert werden (Bitterung, Aromatisierung, Schaumverbesserung, Lichtstabilität etc.). Erfolgt die Dosage nach der Würzekochung, also in das Bier, spricht man von Downstream-Produkten [55].

Für welche Hopfenprodukte sich ein Brauer aus der Angebotspalette entscheidet, hängt neben den Kosten und den spezifischen Gegebenheiten seines Produktionsbetriebes u. a. von der gesetzlichen Zulassung der Hopfenprodukte im Rahmen der EU oder von nationalen Bestimmungen, wie beispielsweise dem Vorläufigen Biergesetz, ab [56]. Im Rahmen des Geltungsbereiches des Vorläufigen Biergesetzes dürfen nur konventionelle Hopfenprodukte im Heißbereich eingesetzt werden.

1.3 Analytik

Die konventionelle Hopfengabe in der Brauerei wird meist durch den Konduktometerwert oder den α -Säuregehalt nach HPLC der Hopfenprodukte (Pellets, CO_2 -Extrakt) eingestellt. Es hat sich gezeigt, dass so ein konstantes Bitterniveau im Bier erreicht werden kann. Bei Ethanolextrakt wird der Konduktometerbitterwert verwendet, da dieser eine hohe Korrelation zur sensorisch wahrgenommenen Bittere des Bieres zeigt [61].

Klassische Standard-Analysenmethoden zeichnen sich oft durch eine summarische Erfassung von Stoffgruppen aus. Der Trend in der Analytik geht hin zur quantitativen Bestimmung von Einzelkomponenten. Die Bestimmung der α -Säuren kann zum einen unspezifisch über den Konduktometerwert und zum anderen spezifisch mittels HPLC erfolgen [57, 62]. Abbildung 7 (S. 32) zeigt beispielhaft ein HPLC-Chromatogramm mit einer vollständigen Auftrennung der drei Haupt-homologen.

Methoden	EBC [57]	ASBC [58]	MEBAK [59]	MEBAK [60]
Probenahme	7.1	Hops-1	Vol I 5.1.1,5.2.1,5.3.1	4.1.1,4.2.1,4.3.1
Handbonitierung	–	Hops-2	Vol I 5.1.2	4.1.2
Wassergehalt	7.2	Hops-4	Vol I 5.1.4,5.2.3	4.1.4,4.2.3
Samengehalt	7.3	Hops-2	–	–
KW	7.4	Hops-6B	–	–
KW modif. Wöllmer	7.5	–	Vol I 5.1.5.1	4.1.5.1
KW modif. Wöllmer für Extrakte	7.6	Hops-8B(II)	Vol I 5.2.4.1	4.2.4.1
α -Säuren (spektralphotometrisch)	–	Hops-6A, -8B(I)	–	–
α -Säuren (HPLC)	7.7	Hops-14	Vol III 3.1.1	4.1.5.2
α - und <i>iso</i> - α -Säuren (HPLC)	7.8	Hops-9C, -9D, -15	Vol III 3.1.2	4.3.3.1
KBW (bei Ethanolextrakt)	KBW = KW (EBC 7.6) + 50 % der <i>iso</i> - α -Säuren (HPLC EBC 7.8)	–	–	4.2.4.1 4.3.3.1
<i>iso</i> - α -Säuren und reduzierte <i>iso</i> - α -Säuren in Hopfenprodukten (HPLC)	7.9	–	–	–
Hopfenöl (Gesamtöl)	7.10	Hops-13	Vol III 1.4	–
Hop Storage Index (HSI)	–	Hops-12	–	–
<i>iso</i> - α -, α - und β -Säuren in Iso-Pellets HPLC	7.11	–	–	–
Hopfenölszusammensetzung mittels GC	7.12	–	–	–

KW = Konduktometerwert

KBW = Konduktometerbitterwert

Tabelle 1: Analysenmethoden für Hopfen und Hopfenprodukte.

Hopfen

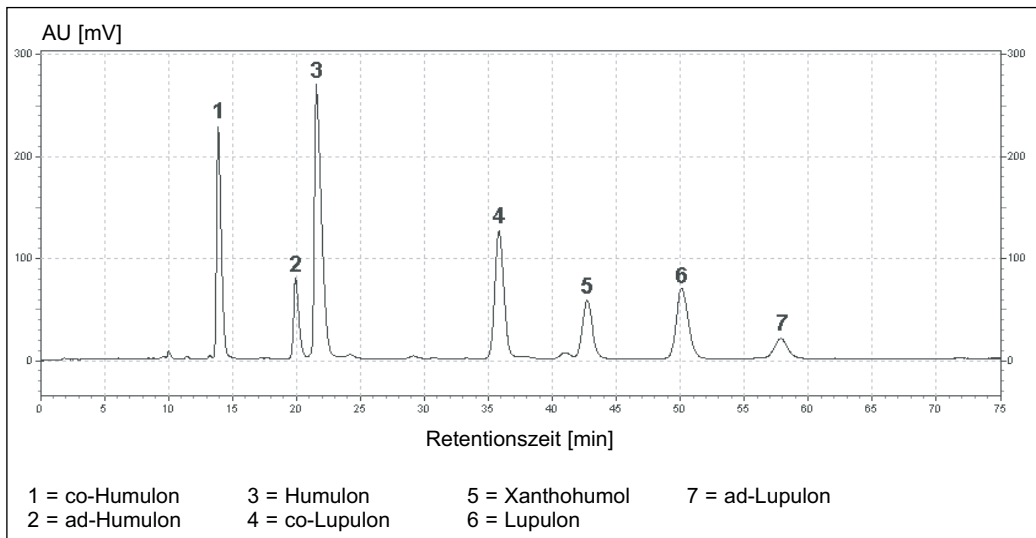


Abbildung 7: HPLC-Chromatogramm von Bittersäuren [63].

Wird der Konduktometerwert mit der Summe der α -Säuren aus der HPLC-Analyse verglichen, so ergeben sich zum Teil deutliche Differenzen. Abbildung 8 zeigt die relative Differenz der EBC-Methoden 7.5 (KW) zu 7.7 (HPLC). Mit der summarischen Bestimmung des Konduktometerwertes werden neben den α -Säuren auch andere bleiacetatfällbare Substanzen erfasst, weshalb der KW höher als die Summe der α -Säuren nach HPLC ist. Die Höhe der Differenz ist u. a. sorten- und jahrgangsabhängig.

Der Gesamtölgehalt wird destillativ bestimmt. Einzelkomponenten des Hopfenöls können mittels Kapillar-Gaschromatographie (GC), teilweise gekoppelt mit Massenspektroskopie (GC-MS) oder multidimensionaler GC-MS [37] ermittelt werden.

Polyphenole können summarisch über eine nasschemische Methode erfasst werden. Die Bestimmung der Einzelkomponenten erfolgt über HPLC [41].

2 Spezielle Aspekte der Hopfung

2.1 Hopfengabe

Ziel der Hopfengabe ist die Beeinflussung des Bieraromas und des Biergeschmacks. Das Bieraroma wird durch die ätherischen Öle des Hopfens beeinflusst. Es handelt sich dabei um leichtflüchtige Substanzen, die zum charakteristischen Hopfenaroma des Bieres beitragen. Der Biergeschmack wird durch nicht-flüchtige Substanzen bestimmt. Den größten Beitrag zur Bierbittere haben die *iso*- α -Säuren, diese werden für über 75 % der wahrgenommenen Bittere verantwortlich gemacht [64, 65]. Über die Bitterqualität des co-Humulones gibt es unterschiedliche Aussagen. Die vielfach angeführte Meinung, dass die co-Form zu einer harschen und unangenehmen Bittere führt [66, 67], konnte an anderer Stelle nicht bestätigt werden [29, 65, 68, 69, 70, 71]. Die Bitterintensität aller drei

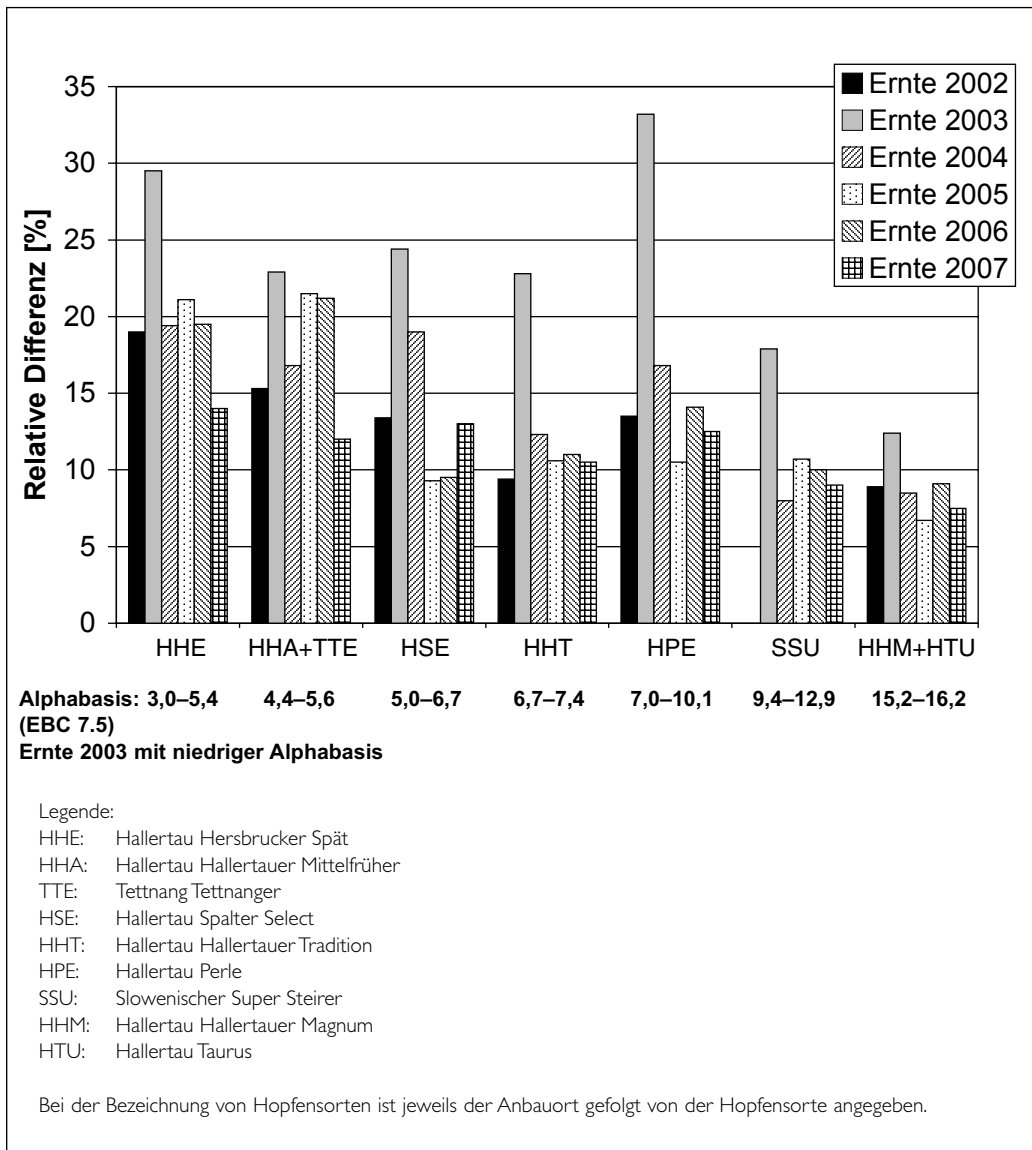


Abbildung 8: Analysendifferenz Methode EBC 7.5 zu EBC 7.7.

Hopfen

Homologen ist ungefähr gleich [29, 65] mit einer Tendenz zu einem etwas schwächeren *co-iso-Humulon* [28, 30, 68].

Die Hopfendosage muss auf das Geschmacksprofil des jeweiligen Bieres abgestimmt werden. Geschmack und Aroma des Hopfens müssen sich harmonisch in die Biermatrix einfügen.

Folgende Parameter sind zu beachten:

- Rohstoffzusammensetzung (Wasser, Malz, Malzersatzstoffe, Zusatzstoffe)
- Hopfensorte
- Hopfenprodukt
- Menge der Hopfengabe
- Zeitpunkt der Hopfengabe (Hopfenkochzeit)
- Würzekochsystem
- Whirlpoolstandzeit und -temperatur
- Qualität der Trubabtrennung (Heißtrub, Kühltrub)
- Wiederverwendung von Heißtrub
- Gärung (Bieraromastoffspektrum)
- Würzezusammensetzung (z. B. Stammwürze, pH-Wert)
- Endvergärungsgrad
- Filtration und Stabilisierung (Polyphenole)
- Gebinde (Weißglas z. B. Lichtgeschmack)
- Verbrauchererwartung (regional und kulturell unterschiedlich)
- Deklarationspflicht (gesetzliche Vorschriften)

Ein harmonisches Geschmacksprofil wirkt sich direkt auf den Genusswert aus. Unabhängig davon können durch gezielten Einsatz der Hopfung verschiedene Biertypen entwickelt werden, welche sich auf dem Biermarkt eindeutig platzieren lassen. Der Hopfen ist somit ein gutes Mittel, um sich von Wettbewerbern zu differenzieren [4].

Nach dem Vorläufigen Biergesetz dürfen nur konventionelle Hopfenprodukte (Abbildung 6, S. 29) der Würze zugesetzt werden, d. h. Rohhopfen, Pellets und Extrakt [72]. Der Rohhopfen erfordert einen Hopfenseiher zur Abtrennung der unlöslichen Bestandteile des Hopfens aus der Würze. Unlösliche Hopfenbestandteile aus den Pellets werden mit dem Heißtrub (z. B. Whirlpool) ausgeschieden. Durch Überdosage kann dabei die Whirlpoolfunktion negativ beeinflusst werden. Sollten größere Mengen des Heißtrubes mit zur Gärung gelangen, so kann dies zu einer kratzigen Bittere führen. Der Trubkegel im Whirlpool sollte nach Ablauf der Würze die Zarge nicht berühren.

Der Hopfen bringt Nitrat in die Würze und somit in das Bier ein. Durch die Verwendung von Extrakten und angereicherten Pellets wird der Nitratreintrag erheblich reduziert. Bei einer Nitratbelastung von 1000 mg/100 g Rohhopfen (9 % α -Säure lfr.) und einer Hopfendosage von 8 g α -Säuren pro hl Würze würde dies eine Nitratdosage von ca. 9 mg/l bedeuten. Bei Verwendung eines Extraktes aus obigem Rohhopfen resultiert eine Nitratdosage von 0,05 bis 1 mg/l [73]. Mittels CO₂- oder Ethanol-Extraktion wird der Nitratgehalt im Hopfenextrakt um mindestens 98 % reduziert [74].

Für *internationale Biere*, die außerhalb des Deutschen Reinheitsgebotes hergestellt werden, gibt es viele unterschiedliche Hopfenprodukte, welche weitere Verarbeitungsschritte erfahren haben (Abbildung 6, S. 29). Isomernisierte Hopfenprodukte können einerseits in die heiße Würze („Kettle“) dosiert werden. Hierzu zählen Iso-Pellets und isomernisierte „Kettle-Extrakte“. Andererseits kann die Dosage von so genannten Downstream-Produkten vor der Bierfiltration und unter Umständen bereits im Sudhaus erfolgen. Zur Korrektur der Bierbittere werden Iso-Extrakte eingesetzt. Manche reduzierte Iso-Extrakte erhöhen die Schaumstabilität und schützen vor der Entstehung des Lichtgeschmacks im Bier. Da die Isomernisierung der α -Säuren bei der Herstellung nicht konventioneller Hopfenprodukte bei höheren Temperaturen stattfindet, kann ein Einfluss auf das Aroma- und Geschmacksprofil des Bieres nicht ausgeschlossen werden [75]. Besonders bei Iso-Pellets ist auf eine schonende Prozessführung während der Isomernisierung in der Wärmekammer zu achten.

Um speziellen Anforderungen gerecht zu werden, gibt es Hopfenprodukte, in welchen unterschiedliche Fraktionen des Hopfens angereichert sind.

Speziell die reduzierten Iso-Extrakte wirken sich unterschiedlich auf die sensorisch wahrgenommene Intensität der Bittere aus. Bei Ermittlung der sensorischen Bitterintensität von gleichen Mengen an *tetra-hydro-iso- α -Säuren* und *iso- α -Säuren* im Bier, zeigen die *tetra-hydro-iso- α -Säuren* das 1,0–1,4-fache Bitterpotential. *Rho-iso- α -Säuren* haben im Vergleich zu *iso- α -Säuren* ein 0,6–0,8-faches Bitterpotential [76, 77, 78].

Es gibt mehrere Gründe, Hopfenprodukte zu unterschiedlichen Stufen des Brauprozesses zu dosieren. Neben den gesetzlichen Besonderheiten (z. B. Vorläufiges Biergesetz) ist die Zusammensetzung des Hopfenproduktes dafür verantwortlich. Bei einer Dosage in das fertige Bier geht das Hopfenprodukt direkt in das Getränk über. Die sensorischen Eigenschaften des Hopfenproduktes, die Löslichkeit in Bier und vieles mehr müssen hier lebensmittelrechtlichen Anforderungen genügen. Bei einer Dosage im Sudhaus ist sichergestellt, dass noch mehrere Prozessstufen durchlaufen werden. Dies garantiert die Ausscheidung z. B. schlecht bierlöslicher Hopfeninhaltsstoffe und unerwünschter Aromastoffe. Ein Einsatz isomernisierter Produkte wird primär aus wirtschaftlichen Gründen vorgenommen.

Bitterhopfen sollte bei Kochbeginn gegeben werden, um eine möglichst optimale Isomernisierung und eine Ausdampfung unerwünschter Aromastoffe zu erzielen. Je später die Hopfendosage erfolgt, desto weniger Aroma wird ausgedampft und desto mehr Hopfenöle gehen in das Bier über. Aromahopfungaben für hopfenaromatische Biere sollten erst gegen Ende der Kochung bzw. als Vorlage in den Whirlpool erfolgen, um einen möglichst optimalen Aromatransfer bis in das Bier zu erzielen [32].

Hopfen

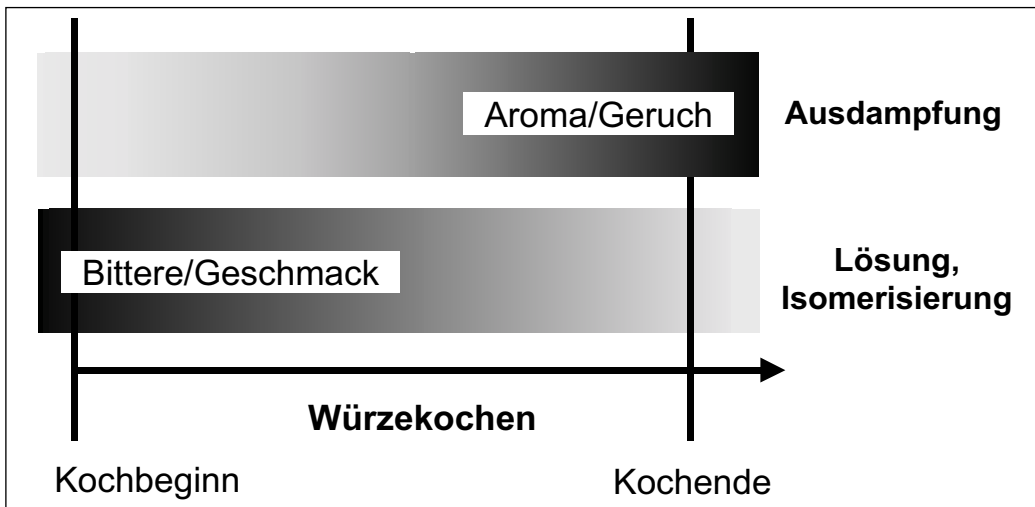


Abbildung 9: Einfluss der Hopfengabe auf den Biercharakter.

Aus Abbildung 9 ist erkennbar, dass durch frühe Gaben vorzugsweise die Bittere bzw. der Geschmack beeinflusst wird. Für die Aromatisierung eignet sich eine Gabe gegen Kochende.

2.1.1 Schwach gehopftes Bier

Als „schwach gehopftes Bier“ soll beispielsweise ein Bier mit ca. 15–20 Bittereinheiten ohne nasal wahrnehmbares Hopfenaroma beschrieben werden. Die Stammwürze des untergärigen/obergärigen Bieres beträgt ca. 11 %. Dem Bier soll eine Grundbittere vermittelt werden, welche sensorisch nicht in den Vordergrund treten soll. Folgende Anwendungsbeispiele könnten empfohlen werden.

Vorläufiges Biergesetz

- Ca. 20 Bittereinheiten, da die Geschmacksmatrix durch die Verwendung von 100 % Malz sehr intensiv ist
- Eine Hopfengabe zu Kochbeginn, um die Bitterstoffausbeute zu erhöhen
- Verwendung einer Hopfensorte, die sich für die eigene Biersorte in Brauversuchen bewährt hat. Mischungen von Aroma- und Bitterhopfen sowie ein reiner Einsatz von Aromahopfen sind denkbar.

Internationale Biere

- Ca. 15 Bittereinheiten, da bei der Verwendung von Rohfrucht die Geschmacksmatrix des Bieres nicht so ausgeprägt ist und die Bittere dadurch sensorisch stärker wahrgenommen wird
- Konventionelle Hopfengabe wie bereits beschrieben möglich

- Iso-Pellets zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute
- Isomerisierter Kettle-Extrakt beim Würzekochen zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute und mikrobiologischen Stabilität
- Iso-Extrakt vor der Filtration zur Korrektur der Bittere
- Reduzierter Iso-Extrakt zur Schaumstabilisierung (*tetra-hydro-* oder *hexa-hydro-iso- α -Säure-Produkte*)
- Kombination der genannten Produkte

2.1.2 Stark gehopftes Bier

Als „stark gehopftes Bier“ soll beispielsweise ein Bier mit ca. 20–40 Bittereinheiten ohne nasal wahrnehmbares Hopfenaroma beschrieben werden. Die Stammwürze des untergärigen Bieres beträgt ca. 12 %. Dem Bier soll eine deutlich wahrnehmbare Bittere vermittelt werden. Folgende Anwendungsbeispiele können empfohlen werden.

Vorläufiges Biergesetz

- Ca. 30–40 Bittereinheiten, da die Geschmacksmatrix durch die Verwendung von 100 % Malz sehr intensiv ist
- Starkbiere sollten stärker gehopft werden, um den süßen bzw. mastigen Nachgeschmack zu neutralisieren. Es muss eine Balance zwischen Alkohol, Restzucker und Bittere gefunden werden, um den Genusswert zu erhöhen.
- Bitterhopfengabe als Extrakt zu Kochbeginn, um die Bitterstoffausbeute zu erhöhen und den Whirlpool zu entlasten.
- Verwendung einer Hopfensorte, die sich für die eigene Biersorte in Brauversuchen bewährt hat. Mischungen von Aroma- und Bitterhopfen sowie ein reiner Einsatz von Aromahopfen sind denkbar.

Internationale Biere

- Ca. 20–27 Bittereinheiten, da bei der Verwendung von Rohfrucht die Geschmacksmatrix des Bieres nicht so ausgeprägt ist und die Bittere dadurch sensorisch stärker wahrgenommen wird.
- Konventionelle Hopfengabe wie bereits beschrieben möglich
- Iso-Pellets zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute
- Isomerisierter Kettle-Extrakt beim Würzekochen zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute und mikrobiologischen Stabilität
- Iso-Extrakt vor der Filtration zur Korrektur der Bittere. Ein hoher Anteil an Iso-Extrakten kann zu einer unharmonischen, harten und untypischen Bittere führen.

Hopfen

- Reduzierter Iso-Extrakt zur Schaumstabilisierung (*tetra-hydro-* oder *hexa-hydro- α -Säure-Produkte*)
- Kombination der genannten Produkte

2.1.3 Hopfenaromatisches Bier

Als „hopfenaromatisches Bier“ soll beispielsweise ein Bier mit ca. 20–40 Bittereinheiten mit nasal wahrnehmbarem Hopfenaroma beschrieben werden. Die Stammwürze des untergärigen Bieres beträgt ca. 11–12 %. Dem Bier soll ein deutliches Hopfenaroma vermittelt werden. Dieses soll geruchlich und geschmacklich als Hopfenblume angenehm in Erscheinung treten [79]. Folgende Anwendungsbeispiele können empfohlen werden.

Vorläufiges Biergesetz

- Ca. 30–40 Bittereinheiten, da die Geschmacksmatrix durch die Verwendung von 100 % Malz sehr intensiv ist
- Die erste Hopfengabe zu Kochbeginn, um die Bitterstoffausbeute zu erhöhen
- Verwendung einer Hopfensorte zu Kochbeginn, die sich für die eigene Biersorte in Brauversuchen bewährt hat. Mischungen von Aroma- und Bitterhopfen sowie ein reiner Einsatz von Aromahopfen sind denkbar.
- Aromatisierung durch eine zweite Hopfengabe, welche zu Kochende in die Würzepfanne oder als Vorlage in den Whirlpool erfolgen kann. Dadurch werden Ausdampfverluste minimiert. Dies garantiert einen maximalen Aromatransfer vom Rohstoff Hopfen bis in das Bier.
- Der Aromatransfer wird begünstigt durch eine Vorkühlung der Würze vor dem Whirlpool (pre-cooling) [32, 80, 81]
- Die Entscheidung für die am besten geeignete Aromahopfensorte muss über Brauveruche getroffen werden. Je nach Sorte unterscheidet sich der Einfluss auf den Geschmack und das Aroma des Bieres. Einen Überblick über die verschiedenen Aromausprägungen deutscher Hopfensorten gibt die CMA-Hopfenmappe [7].
- Die Intensität und Güte des Hopfenaromas kann durch den Gabezeitpunkt individuell optimiert werden. Das Zeitfenster für die letzte Hopfengabe beginnt ca. 10 min vor Kochende und erstreckt sich bis zu einer Vorlage im Whirlpool.
- Der Beitrag zum Geschmack des Bieres steigt, je mehr Hopfenmatrix (z. B. Pellets Typ 90) dosiert wird. Dies gilt für Aroma- wie auch für Bitterhopfen.

Internationale Biere

- Ca. 20–30 Bittereinheiten, da bei der Verwendung von Rohfrucht die Geschmacksmatrix des Bieres nicht so ausgeprägt ist und die Bittere dadurch sensorisch stärker wahrgenommen wird
- Konventionelle Hopfengabe wie bereits beschrieben möglich

- Isomerisierter Kettle-Extrakt beim Würzekochen zur Erhöhung der Bitterstoffausbeute und mikrobiologischen Stabilität
- Iso-Pellets aus Aromahopfen zur Verbesserung der Aroma- und Bitterstoffausbeute [82]
- Iso-Extrakt vor oder nach der Filtration zur Korrektur der Bittere
- Hopfenöle oder „Hopfenölfractionen“ vor der Filtration zur Aromatisierung
- Reduzierter Iso-Extrakt zur Schaumstabilisierung (*tetra-hydro-* oder *hexa-hydro-iso- α -Säure-Produkte*)
- Kombination der genannten Produkte

Die Dosagemenge von Aromahopfen wird in Brauereien meist über den α -Säuregehalt bestimmt. Logischer ist die Dosage nach dem Hopfenölgehalt oder besser nach dem Linaloolgehalt [83, 84, 124, 125] bzw. nach Leitkomponenten des Hopfenaromas [37, 85]. Dadurch ist sichergestellt, dass immer gleiche Mengen an Aromastoffen dosiert werden. Jahrgangsbedingte Schwankungen im Ölgehalt können ausgeglichen werden. Besonders bei später Aromadosage ist die α -Säuredosage uninteressant, da nur ein sehr geringer Teil isomerisiert. Ziel dieser späten Hopfengaben ist ein maximaler Aromatransfer. Als Leitkomponente (character impact compound) für hopfenaromatische Biere wurde Linalool gefunden [35, 86, 87]. Der Schwellenwert in Bier wird mit 5 $\mu\text{g/l}$ [32, 88, 89] angegeben. Teilweise sind sogar Angaben bis 80 $\mu\text{g/l}$ [90] als Schwellenwert zu finden. Ein sensorisch wahrnehmbares Hopfenaroma in Bier kann je nach Biermatrix ab einer Linaloolkonzentration von ca. 20 $\mu\text{g/l}$ festgestellt werden. Ab ca. 50 $\mu\text{g/l}$ wird das Hopfenaroma als blumig-parfümiert beschrieben. Neben Linalool sind auch andere Aromastoffe des Hopfens am Hopfenaroma des Bieres beteiligt. Diese liegen teilweise unter deren Geschmacksschwellenwert in Bier, können aber durch synergistische und additive Effekte zum Geschmacksprofil des Bieres beitragen.

Die Geschmacksstabilität des Bieres kann durch späte Aromagaben positiv beeinflusst werden. Weiterhin wird durch ein dezent wahrnehmbares Hopfenaroma der Alterungsgeschmack des Bieres maskiert [42, 91, 92].

2.1.4 Xanthohumolangereichertes Bier

Das Prenylflavonoid Xanthohumol erfährt zunehmend mehr Interesse von medizinischer, physiologischer und brautechnologischer Seite (vgl. Kapitel Bier und Gesundheit). Eine Xanthohumolanreicherung in Bier kann durch den Einsatz von bestimmten Hopfenprodukten und einer angepassten Technologie erreicht werden [48, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100].

Xanthohumol ist in Rohhopfen, Pellets, Ethanolextrakt sowie in xanthohumolangereicherten Hopfenprodukten zu finden. In CO_2 -Extrakt ist Xanthohumol auf Grund seiner Löslichkeitseigenschaften nicht vorhanden [101]. Über spezielle Brauverfahren kann im Rahmen des Vorläufigen Biergesetzes Xanthohumol in höheren Konzentrationen unisomerisiert bis in das Bier erhalten werden [100].

Hopfen

Außerhalb des Geltungsbereiches des Vorläufigen Biergesetzes sowie in Biermisch- und alkoholfreien Getränken kann durch spezielle Hopfenprodukte Xanthohumol in gewünschter Konzentration dosiert werden. Eine Bierstabilisierung mittels PVPP sollte bei hellen xanthohumolangereicherten Bieren vermieden werden, da PVPP das Polyphenol weitgehend aus dem Bier entfernt. Bei dunklen Bieren, die mit einem Anteil an dunklen Spezialmalzen gebraut wurden, ist eine PVPP-Stabilisierung mit geringeren Xanthohumolverlusten möglich (vgl. Kapitel Bier und Gesundheit).

2.1.5 Lichtgeschmack

Der so genannte Lichtgeschmack ist eine sensorische Veränderung von Getränken, die durch nicht-enzymatische, photochemische Reaktionen entsteht. Dieser Fehlgeschmack tritt u. a. in Milch, Wein und Bier auf und wird durch schwefelhaltige Verbindungen verursacht [102, 103]. Als Leitaromakomponente des Lichtgeschmacks wurde die Substanz 3-Methyl-2-buten-1-thiol (MBT) identifiziert [104, 105]. Die Abspaltung der Isoprenseitenkette der Isohumulone und die Reaktion dieser mit einer Schwefelquelle verursachen diesen Fehlgeschmack. Riboflavin (RF) ist als Photokatalysator an der Reaktion beteiligt und wird durch UV-Licht (350–500 nm) angeregt und in den energiereichen Triplettzustand ($^3\text{RF}^*$) überführt. Dieses angeregte Riboflavin ist ein sehr starker Elektronenakzeptor. Der Elektronenübergang vom Isohumulon auf das $^3\text{RF}^*$ ist eine Schlüsselreaktion bei der Bildung von MBT [105, 106, 107, 108, 109, 110]. Durch intra- oder intermolekulare H^+ -Abspaltung wird das freie Elektron am C_4 -Atom des Moleküls lokalisiert und es kommt zur Abspaltung des 4-Methylpent-3-enoyl-Radikals, welches in einer Folgereaktion durch Decarbonylierung zum 3-Methyl-2-butenyl-Radikal stabilisiert wird [106].

Der Entstehungsweg dieses Radikals ist in Abbildung 10 graphisch gezeigt. Bei Vorhandensein einer geeigneten Schwefelquelle reagiert das 3-Methyl-2-butenyl-Radikal mit einer Sulfhydryl-Gruppe zum MBT [109, 110, 111, 112]. Als geeignete Schwefelquelle wird v. a. Cystein angesehen [113]. Der Lichtgeschmack ist bereits erkennbar, wenn noch kein Bitterstoffabbau detektiert ist [114]. Es bedarf nur des photochemischen Abbaus eines Isohumulonmoleküls von einer Million Molekülen, um einen Lichtgeschmack zu bemerken [115]. Das MBT gehört zu den aromaaktivsten Verbindungen, die bekannt sind. Diese Verbindung hat eine Geruchsschwelle in Wasser von 0,2 bis 0,4 ng/l [116] und in Bier von 4,4 bis 35 ng/l [109].

Durch die ausschließliche Verwendung lichtstabiler bzw. reduzierter Hopfenprodukte kann die Bildung von Lichtgeschmack großteils verhindert werden. Jeglicher Eintrag von *iso*- α -Säuren muss dabei vermieden werden. Weitere Kontaminationsquellen sind Reste vorheriger konventioneller Hopfendosagen z. B. in den Rohrleitungen, die Wiederverwendung des Heißtrubes oder die Hefe eines vorausgegangenen konventionell gehopften Sudes.

Bei Verwendung reduzierter Produkte, muss auf die sensorische Bittere, d. h. auf die vom Verkoster wahrgenommene Bittere der Biere geachtet werden. Bei Dosage gleicher Mengen reduzierter *iso*- α -Säuren im Vergleich zu *iso*- α -Säuren, unterscheiden sich die Biere in ihrem Bittereindruck bei der Verkostung. Deshalb sind Probesude in der Brauerei anzuraten, um die genaue Dosagemenge zu ermitteln. Zur Orientierung ist das Bitterpotential einiger Produkte in Tabelle 2 aufgeführt.