

Grußwort	6
Einleitung	13
1 Hopfenbau	14
1.1 Biologie des Hopfens	14
1.2 Gerüstformen	16
1.3 Anbauggebiete	17
1.3.1 Mitteleuropa	17
1.3.2 USA	18
1.3.3 China	18
1.4 Flächenentwicklung	19
1.5 Umweltgerechte Hopfenproduktion	19
1.5.1 Bodenpflege und Bodenschutz	20
1.5.2 Nährstoffversorgung nach Bodenanalysen	20
1.5.3 Pflanzenschutz nach Warndienst und Bekämpfungsschwellen	21
1.5.4 Weitere Optimierung des Pflanzenschutzmittelaufwands	27
1.5.5 Biologisch erzeugter Hopfen für Bio-Biere	28
1.6 Vermeidung von unerwünschten Rückständen in den Hopfendolden	29
1.6.1 Nitratgehalt	29
1.6.2 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln	30
1.7 Ernte	32
1.7.1 Erntetermin	32
1.7.2 Erntetechnik	34
1.8 Nacherntebehandlung	36
1.8.1 Trocknung	36
1.8.2 Konditionierung	37
2 Hopfenmarkt	39
2.1 Einführung	39
2.2 Historie	40
2.3 Preisbestimmende Parameter	40
2.4 Hopfenvorverträge	42
2.5 Die internationale Hopfenvermarktung	43
2.6 Hopfen als globales Gut	44
2.7 Flächenentwicklung im Hopfenanbau der letzten Jahre	45
2.8 Umgang mit der Preisvolatilität	45
3 Hopfeninhaltsstoffe	47
3.1 Sekundärmetaboliten des Hopfens	47
3.2 Ätherisches Hopfenöl	49
3.2.1 Monoterpene	51
3.2.2 Sesquiterpene	52
3.2.3 Monoterpenoxide	53
3.2.4 Sesquiterpenoxide	55
3.2.5 Aliphatische Aldehyde und Ketone	55
3.2.6 Geruchsaktive Thiole (Mercaptane)	56
3.2.7 Carbonsäure-Ester und freie Carbonsäuren	56
3.2.8 Pharmakologische Bedeutung von 2-Methyl-3-buten-2-ol	58
3.3 Hopfenbitterstoffe	58
3.3.1 Alpha- und Beta-Säuren	59
3.3.2 Iso-Alpha-Säuren	60
3.3.3 Abbauprodukte von Iso-Alpha-Säuren im Bier	61

3.3.4	Weitere Bitterstoffe in Hopfen und Bier	63
3.3.5	Vorisomerisierungen und Hydrierungen außerhalb der Brauerei	65
3.3.6	Hopfenbitterstoffe und ihr Einfluss auf den Bierschaum	66
3.3.7	Antibakterielle Wirksamkeit von Hopfenbitterstoffen	68
3.3.8	Ernährungsphysiologische Bedeutung von Hopfenbitterstoffen	72
3.4	Hopfenpolyphenole	72
3.4.1	Xanthohumol	74
3.4.2	Isoxanthohumol	79
3.4.3	8-Prenylnaringenin	80
3.4.4	Multifidole	82
3.4.5	Flavonolglykoside	83
3.4.6	Flavan-3-ole	85
3.4.7	Sonstige Polyphenole im Hopfen	88
3.5	Beitrag der Hopfeninhaltsstoffe zur ernährungsphysiologischen Einstufung von Bier	89
4	Qualitätssicherung	93
4.1	Rückverfolgbarkeit	93
4.1.1	Zertifizierung des Hopfens	93
4.1.2	Zweitertifizierung	93
4.2	Qualitätsfeststellung	93
4.3	Bonitierung	95
4.4	Beschreibung qualitätsrelevanter Inhaltsstoffe	96
4.4.1	Unspezifische Analysemethoden	98
4.4.2	Spezifische Analysemethoden	100
4.5	Altersbeschreibungen	105
4.5.1	Bitterstoffe	105
4.5.2	Aromastoffe	106
4.6	Sortenbeschreibung und Sortenbestimmung	107
4.6.1	Analytische Kennzahlen	107
4.6.2	PCR-Methode	108
4.7	Herkunftsbestimmung	108
4.8	Problemstoffe im Hopfen	109
4.8.1	Pflanzenschutzmittelrückstände	110
4.8.2	Schwermetalle	112
4.8.3	Nitrat	113
4.8.4	Mycotoxine	114
4.8.5	Radionuklide	114
4.9	Analyse von Wertstoffen des Hopfens in Würze und Bier	114
4.9.1	Bitterstoffe	114
4.9.2	Aromastoffe	116
4.9.3	Polyphenole	116
5	Hopfensorten	118
5.1	Definition von Aroma- und Bitterhopfen	118
5.2	Züchtungsmethoden	118
5.2.1	Allgemeines	118
5.2.2	Auslesezüchtung (Klonselektion)	119
5.2.3	Kreuzungszüchtung	120
5.3	Das Kommen und Gehen von Hopfensorten	128
5.3.1	Sorten ohne Anbaubedeutung	128
5.3.2	„Eintagsfliegen“	128
5.3.3	Zeitweise erfolgreiche Hopfensorten	128

5.3.4	Dauerläufer	130
5.3.5	Aufsteiger	134
5.4	Schematische Darstellung wichtiger Hopfensorten	134
6	Hopfenprodukte	140
6.1	Lagerung von Doldenhopfen vor der Verarbeitung	140
6.1.1	Allgemeines	140
6.1.2	Frischegrad und Lagerung	141
6.2	Gründe für Hopfenprodukte	143
6.2.1	Allgemeine Probleme des Doldenhopfens	143
6.2.2	Spezielle Anforderungen	144
6.3	Klasifizierung von Hopfenprodukten	145
6.3.1	Konventionelle Hopfenprodukte	145
6.3.2	Isomerisierte Hopfenprodukte	145
6.3.3	Aromaprodukte	145
6.3.4	Sonstige Hopfenprodukte	145
6.3.5	Übersicht zu Hopfenprodukten	145
6.4	Zertifizierung von Hopfenprodukten	146
6.5	Konventionelle Hopfenprodukte	147
6.5.1	Abgepackter Doldenhopfen	147
6.5.2	Hopfenpellets	147
6.5.3	Hopfenextrakte	153
6.6	Stabilität konventioneller Hopfenprodukte	161
6.6.1	Unterschiede zwischen oxidativer und nicht-oxidativer Lagerung von Hopfen	161
6.6.2	Spezielle Probleme bei Hopfenpellets	162
6.6.3	Einfluss von Stoffgemischen bei Extrakten	162
6.6.4	Transport- und Lagerempfehlungen	163
6.6.5	Vorratshaltung von Hopfenprodukten	163
6.7	Die Qualitätskette vom Hopfen bis zum Hopfenprodukt	165
6.8	Dosage konventioneller Hopfenprodukte	165
6.8.1	Allgemeines	165
6.8.2	Automatische Dosage von Hopfenextrakt	167
6.8.3	Automatische Dosage von Hopfenpellets	168
6.8.4	Automatische Dosage und Produktqualität	170
6.9	Vorisomerisierte Hopfenprodukte (Iso-Produkte)	170
6.9.1	Isomerisierte Pellets	171
6.9.2	Stabilisierte Pellets	173
6.9.3	Isomerisierter Kettle-Extrakt (IKE)	173
6.9.4	Iso-Extrakt	176
6.9.5	Hydrierte Iso-Extrakte	176
6.10	Hopfenaromaprodukte	181
6.10.1	Doldenpellets (Whole Hop Pellets)	182
6.10.2	Öreicher Extrakt aus CO ₂ -Extraktion	182
6.10.3	Hopfenöle und Hopfenölfractionen	183
6.10.4	Hopfenölprodukte angereichert mit natürlichen Aromastoffen aus anderen Quellen	187
6.10.5	Hopfenöl-Emulsionen	187
6.10.6	Hopfenaromatabletten (Hop Aroma Tabs)	187
6.10.7	Kombinationen von Hopfenölen mit anderen Hopfenfraktionen	187
6.11	Sonstige Hopfenprodukte	189
6.11.1	Beta-Säuren-Extrakte	189
6.11.2	Lipide und Wachse (Lipidextrakt)	189
6.11.3	Wasserextrakt	189
6.11.4	Xanthohumolreiche Extrakte	190

6.12	Spezifikation von Hopfenprodukten	191
6.12.1	Allgemeines	191
6.12.2	Spezifikationen für verschiedene Produkte	193
6.12.3	Umgang mit Analysenschwankungen	193
6.13	Kennzeichnung von Hopfen und Hopfenprodukten im Bier	194
7	Hopfen im Bier	197
7.1	Einleitung	197
7.1.1	Allgemeines	197
7.1.2	Stoffgruppen des Hopfens im Bier	197
7.1.3	Variabilität der Hopfung und ihr Einfluss auf das Bier	198
7.2	Hopfenrelevante Sensorik	199
7.2.1	Geschmacksempfindung	199
7.2.2	Sensorische Methoden und deren Anwendung	201
7.2.3	Statistische Auswertung sensorischer Daten	208
7.3	Bitterstoffe im Bier	210
7.3.1	Globale Entwicklung der Bierbittere	210
7.3.2	Wesentliches zur Bierbittere	212
7.3.3	Einfluss verschiedener Parameter auf die Isomerisierung bei der Würzekochung	219
7.3.4	Hopfenrelevante Einflussfaktoren auf die Bierbittere	226
7.3.5	Aufteilung von Hopfengaben	230
7.3.6	Einsatz von Downstream-Produkten	234
7.3.7	Verluste an Hopfenbitterstoffen von der Würze bis ins fertige Bier	240
7.3.8	Ausbeute- und Kostenvergleiche	244
7.3.9	Sonstige Aspekte von Hopfenbitterstoffen	247
7.3.10	Nicht hopfenbedingte Einflüsse auf die Bierbittere	260
7.4	Hopfenaromastoffe im Bier	264
7.4.1	Einleitung	264
7.4.2	Beispiele zur Dosage von Hopfen für einen Aromaeintrag	265
7.4.3	Aromadosage mit Hopfenaromaprodukten	267
7.4.4	Aromadosage und Hopfenaromaprodukte nach Bierkultur	268
7.4.5	Einfluss der Hopfensorte auf das Hopfenaroma im Bier	268
7.4.6	Einflussfaktoren auf das Hopfenaroma im Verlauf des Brauprozesses	271
7.4.7	Schlüsselaromastoffe des Hopfens im Bier	273
7.4.8	Einfluss verschiedener Würzekochsysteme auf die Ausbeute von Hopfeninhaltsstoffen	276
7.5	Hopfenpolyphenole im Bier	282
7.5.1	Allgemeines	282
7.5.2	Analyse von Hopfenpolyphenolen	282
7.5.3	Zusammensetzung von HPLC-Polyphenolen in Hopfen	283
7.5.4	Ausbeute an Hopfenpolyphenolen im Bier	285
7.5.5	Vergleich von Malz- und Hopfenpolyphenolen	288
7.5.6	Die Wirkung von Polyphenolen im Bier	289
7.5.7	Dosage von Hopfenpolyphenolen	291
7.6	Spezielle Hopfungsverfahren	295
7.6.1	Hopfenstopfen („dry hopping“)	295
7.6.2	Grünhopfen	302
7.6.3	Lichtstabile Biere	304
7.6.4	Dosage von Downstream-Produkten	305
7.6.5	Hopfenlipide und -wachse	308
7.7	Hopfen und Gushing	311
7.8	Zusammenfassung	313
8	Ausblick	315