

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	10
Vorwort	12
1. Einleitung und Begriffsbestimmungen	14
1.1 Probleme der Systematik	18
1.2 Heferassen und -stämme	19
1.3 Nicht- <i>Saccharomyces</i> -Hefen	24
1.4 Weitere Versuche mit Nicht- <i>Saccharomyces</i> -Hefen	25
2. Zur geschichtlichen Entwicklung der Züchtung von reinen Bierhefen	26
2.1 Die Entdeckung der Hefe als lebender Mikroorganismus	26
2.2 Die Entwicklung der verschiedenen Bierheferassen und ihre Reinzüchtung	39
2.2.1 Die Mikroflora des Bieres	40
2.2.2 Die Geschichte der Hefereinzucht	59
3. Die Notwendigkeit zur Regenerierung des Hefesatzes und die Anforderungen an die Anstellhefe in der Brauerei	73
3.1 Anzeichen für die Degeneration eines Hefesatzes	73
3.2 Mögliche Ursachen für eine Degeneration des Hefesatzes	74
3.3 Stressfaktoren	75
3.4 Zur Notwendigkeit des Hefewechsels	77
3.5 Vorteile eines in einer Propagationsanlage hergestellten Hefesatzes	79
3.6 Anforderungen an eine Anstellhefe	80
4. Wichtige mikrobiologische und biochemische Grundlagen der Bierhefemehrung und ihre Bedeutung für die Hefereinzucht und Hefepropagation	82
4.1 Die chemische Zusammensetzung der Hefe	82
4.1.1 Der Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Hefetrockensubstanzgehalt	82
4.1.2 Die chemische Zusammensetzung der Hefetrockensubstanz	84
4.1.2.1 Molformel und Makroelemente der Hefe	84
4.1.2.2 Rohproteingehalt	84
4.1.2.3 Gesamtkohlenhydrate	87
4.1.2.4 Nucleinsäuren und Nucleotide	91
4.1.2.5 Lipide (Rohfette)	91
4.1.2.6 Porphyrine	95
4.1.2.7 Vitamine und Wachstumsstoffe der Hefe	96
4.1.2.8 Aschebestandteile	96
4.2 Einige für die verfahrenstechnische Auslegung von Hefe- behandlungsanlagen und für technologische Berechnungen ermittelte physikalische Stoffkennwerte der Hefezellen und Hefesuspensionen	100
4.2.1 Größe einer Hefezelle, Zellzahl und Biomassekonzentration	100
4.2.2 Oberfläche der Hefezelle	106
4.2.3 Dichte der Hefezelle	107

4.2.4 Dichte und Trockensubstanzwerte von Hefesuspensionen und Hefeprodukten	107
4.2.5 Rheologische Parameter von Hefesuspensionen	111
4.2.6 Druckverlustberechnung für Hefesuspensionen in Rohrleitungen	121
4.2.7 Wärmephysikalische Kennwerte von Hefeprodukten	123
4.2.8 Oberflächenladung	124
4.2.9 Osmotischer Druck	124
4.2.10 Sedimentationsgeschwindigkeit der Hefe	125
4.2.11 Berechnungsbeispiel für den Einfluss des Feststoffvolumenanteils der Erntehefe auf die mögliche Hefebiergewinnung	139
4.3 Aufbau der Hefezelle und die Funktionen ihrer Organellen	142
4.3.1 Das Cytoplasma (Zellplasma)	143
4.3.2 Zellwand mit Plasmamembran	144
4.3.2.1 Die äußere Zellwand	144
4.3.2.2 Hefeflockung und Flockungstheorien	146
4.3.2.3 Flockungstest	148
4.3.2.4 Sprossnarben	148
4.3.2.5 Protoplasten	148
4.3.2.6 Plasmamembran (Plasmalemma)	149
4.3.3 Zellkern	150
4.3.4 Mitochondrien	150
4.3.5 Vakuolen	151
4.3.6 Endoplasmatische Membranen	152
4.3.7 Ribosomen	153
4.3.8 Speicherstoffe der Zelle	153
4.3.9 Die Mechanismen des Stofftransportes durch die Hefezellwand	153
4.4 Grundlagen der Hefevermehrung und ihre Kinetik	156
4.4.1 Vegetative und geschlechtliche Vermehrung	156
4.4.2 Desoxyribonucleinsäuren und Ribonucleinsäuren - die Träger des genetischen Codes der Hefezelle	159
4.4.3 Die Wachstumskurve von Hefepopulationen in einer Batchkultur und der Zellzyklus bei der vegetativen Vermehrung einer Einzelzelle	166
4.4.4 Vermehrungskinetik der Hefe	169
4.4.5 Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit der Hefevermehrung und Richtwerte für die Generationsdauer in der logarithmischen Wachstumsphase	172
4.4.5.1 Fermentationstemperatur	172
4.4.5.2 Einfluss der Substratkonzentration	173
4.4.5.3 Einfluss der Konzentration der extrazellulären Stoffwechselprodukte Ethanol und Kohlendioxid	176
4.4.5.4 Fermentationsverfahren	179
4.4.5.5 Die Vitalität der Satzhefe	180
4.4.5.6 Die Anstellkonzentration der Stellhefe	181

4.4.5.7	Beeinflussung des Hefestoffwechsels durch weitere physikalisch-chemische Faktoren	181
4.4.5.7.1	Verfügbares Wasser und osmotischer Druck	182
4.4.5.7.2	Statischer Druck und Druckimpuls	182
4.4.5.7.3	Die extra- und intrazelluläre Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert) und ihre Veränderungen	183
4.4.5.7.4	Redoxpotenzial	185
4.4.5.7.5	Oberflächenspannung	185
4.4.5.8	Schlussfolgerungen	185
4.4.6	Berechnungsbeispiele für die Auslegung von Hefepropagationsanlagen unter Verwendung der aufgeführten Richtwerte und Gleichungen	186
4.5	Stoffwechselwege der Hefe und Regulationsmechanismen	190
4.5.1	Energie- und Baustoffwechsel	190
4.5.2	Stoffwechselwege der Hefezelle	196
4.5.3	Regulationsmechanismen im Hefestoffwechsel	208
4.5.4	Die Gärungsnebenprodukte im Stoffwechsel der Bierhefe	213
4.5.4.1	Bukett- und Jungbukettstoffe des Bieres	214
4.5.4.2	Der Schwefelstoffwechsel der Hefe und sein Einfluss auf die Bierqualität	214
4.6	Der Nährstoffbedarf der Hefe <i>Saccharomyces cerevisiae</i> für die Vermehrung	219
4.6.1	Die erforderlichen Kohlenstoff- und Energiequellen	220
4.6.2	Reihenfolge der Zuckerverwertung	221
4.6.3	Die Hefeausbeute in Abhängigkeit vom <i>Crabtree</i> -Effekt und aerober Gärung	222
4.6.4	Der assimilierbare Stickstoffbedarf	222
4.6.5	Der freie α -Aminostickstoffgehalt (FAN) und seine Kontrolle	224
4.6.6	Die Vorteile der assimilierbaren N-Versorgung der Hefe durch Aminosäurengemische im Vergleich zur anorganischen Ammoniumionen-Dosage	226
4.6.7	Die Dosage der N-Quelle und der Rohproteingehalt (RP) der Erntehefe	226
4.6.8	Der Mineralstoffbedarf	227
4.6.9	Der Wuchsstoff- bzw. Vitaminbedarf	230
4.6.10	Kalkulation der mit normalen Brauereivollbierwürzen erreichbaren Hefevermehrung ohne Zufütterung von Nährstoffen	234
4.6.11	Anforderungen an die für die Hefevermehrung eingesetzte Bierwürze	239
4.6.11.1	Grundsätzliche Zielstellungen	239
4.6.11.2	Konkrete Anforderungen an die Würzen	240
4.6.11.3	Zur Problematik der Belüftung und Sauerstoffanreicherung der Anstellwürze	240
4.6.11.4	Zum erforderlichen mikrobiologischen Status der verwendeten Würzen	241
4.6.11.5	Einflussfaktoren auf den erforderliche Aufwand zur Erreichung der Sterilität	244
4.6.11.6	Über die Sterilisation der Würze	245

4.6.11.7 Vorschläge für die Auslegung der thermischen Behandlung einer Brauereireinzuchtwürze	247
4.6.11.8 Schlussfolgerungen	248
4.6.12 Der Einfluss der Hefevermehrung auf den Extraktschwand	248
4.6.13 Verbesserung des Nährstoffangebotes der Bierwürze durch Zusätze	251
4.7 Die technologischen Grundlagen der Sauerstoffversorgung der Hefe	252
4.7.1 Vorbemerkungen	252
4.7.2 Zu einigen biochemischen Zusammenhängen aus der Sicht des Sauerstoffbedarfes	252
4.7.3 Zum Stand des Wissens über die erforderliche O ₂ -Versorgung bei der Brauereihefepflicht	253
4.7.4 Sauerstoffbedarf und Sauerstoffaufnahme von <i>Saccharomyces cerevisiae</i> bei höheren Zuckerkonzentrationen	255
4.7.5 Berechnung des erforderlichen Sauerstoff- und Luftertrages bei der Hefepflicht (Hefepflicht, Hefereinzucht) in Bierwürze	258
4.7.5.1 Modell 1: Berechnung des Gesamtsauerstoff- und Luftbedarfes, bezogen auf den erreichbaren Gesamtheferzuwachs von 1,5 g HTS _{Z/L_{AW}}	259
4.7.5.2 Modell 2: Berechnung des Hefezuwachses für die Start- und Endphase und Ermittlung der in diesen Phasen maximalen Sauerstoffaufnahme der vorhandenen Hefe	259
4.7.5.3 Modell 3: Abschätzung der erforderlichen Belüftungszeit von Hefepflichtungen in Brauereiwürze	262
5. Maschinen, Apparate und Anlagen für die Hefereinzucht und Hefepflicht	264
5.1 Hefereinzucht und Hefepflicht als Verfahren	264
5.2 Ausrüstungen für die Hefereinzucht im Labor	267
5.3 Ausrüstungen für die Hefepflicht im Betriebsmaßstab	269
5.3.1 Allgemeiner Überblick	269
5.3.2 Beispiel für eine Hefepflichtanlage	269
5.3.3 Pflichtgefäße	270
5.3.4 Sensoren für Hefepflichtanlagen	272
5.3.5 Anlagen zur Sauerstoffzufuhr	274
5.3.6 Anlagen für die Würzeentkeimung	276
5.3.7 Zubehör	276
5.3.8 Ausgeführte Anlagen	277
5.4 Die verfahrenstechnischen Grundlagen der Sauerstoffversorgung der Hefe	280
5.4.1 Gesetzmäßigkeiten der Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten	280
5.4.2 Die Gaslösung beeinflussende Faktoren	283
5.4.3 Technische Lösungen für die Belüftung	284
5.4.3.1 Gemeinsame Voraussetzungen	284
5.4.3.2 Technische Möglichkeiten für die Verbesserung der Gaslösung	285
5.4.3.3 Begasungsvorrichtungen im Bereich der Backhefeindustrie und der Technischen Mikrobiologie	286

5.4.3.4	Möglichkeiten der Schaumverminderung bei der Begasung	287
5.4.3.5	Der Einsatz der unstetigen bzw. stetigen Querschnittserweiterung zur Gasverteilung	288
5.4.3.6	Beispiele ausgeführter Begasungssysteme bzw. Komponenten	291
5.4.3.7	Schlussfolgerungen	293
5.5	Anforderungen an die Ausrüstung	294
5.5.1	Werkstoffe und Oberflächen	294
5.5.2	Anforderungen an die Gestaltung von Rohrleitungen und Anlagen im Hinblick auf kontaminationsfreies Arbeiten	299
5.5.3	Hinweise zur Rohrleitungsverschaltung, zum Einsatz von Armaturen und zur Probeentnahme	301
5.5.3.1	Allgemeine Hinweise	301
5.5.3.2	Die manuelle Verbindungstechnik	302
5.5.3.3	Die Festverrohrung	304
5.5.3.4	Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	306
5.5.4	Probeentnahmearmaturen	307
5.5.4.1	Allgemeine Hinweise zu Armaturen für die Probeentnahme	307
5.5.4.2	Armaturen für die manuelle und automatische Probeentnahme	308
5.5.4.2.1	Anforderungen an die Probeentnahme	308
5.5.4.2.2	Armaturen für die manuelle Probeentnahme	310
5.5.4.2.3	Armaturen für die automatische Probeentnahme	310
5.5.4.2.4	Dekontamination der Probeentnahmearmaturen	311
5.5.4.3	Gestaltung von Probeentnahmearmaturen	312
5.5.4.3.1	Membranventile	313
5.5.4.3.2	Doppelsitzventile	320
5.5.4.3.3	Nadelventile	321
5.5.4.3.4	Einfache Ventile und sonstige Probeentnahmevorrichtungen	322
5.5.4.3.5	Probeentnahmehähnchen	324
5.5.4.4	Betätigungsvarianten	325
5.5.4.5	Einbau von Probeentnahmearmaturen	325
5.5.4.6	Automatische Probenahmesysteme	327
5.5.4.7	Wartung der Armaturen	331
5.5.5	Hinweise zum Einsatz von Pumpen	332
5.5.5.1	Allgemeine Hinweise	332
5.5.5.2	Verdrängerpumpen	332
5.5.5.3	Zentrifugalpumpen	334
5.6	Sterilisation der Würze	336
5.7	Anlagenplanung	338
5.8	Reinigung und Desinfektion, Sterilisation	338
5.8.1	CIP-Verfahren	338
5.8.2	Sterilisation, das Dämpfen der Anlage	340
5.9	Mess- und Steuerungstechnik für Hefepropagationsanlagen	341
5.9.1	Messtechnik	341
5.9.2	Steuerungstechnik	341

6. Hefemanagement in der Brauerei	342
6.1 Allgemeines und Begriffsbestimmung	342
6.2 Die Reinzucht und Propagation der Brauereibetriebshefen	342
6.2.1 Die Isolierung von Brauereihfestämmen	343
6.2.2 Zur Stammauswahl eines neuen Hefestammes	344
6.2.3 Die Herführung der Reinzuchthefen im Brauereilabor	346
6.2.4 Die Pflege, Aufbewahrung und Konservierung der Hefestammkulturen im Labor	348
6.2.5 Die Vermehrung der Reinzuchthefen im Brauereibetrieb	351
6.2.5.1 Offene Systeme zur Hefeherführung im Brauereibetrieb	351
6.2.5.2 Geschlossene Hefevermehrung im Brauereibetrieb	356
6.2.5.3 Zusammenfassende Schlussfolgerungen über die bei der Hefepropagation anwendbaren Einflussfaktoren	366
6.3 Kontrollverfahren bei der Dosierung der Anstellhefe und Methoden zur Bestimmung der Hefekonzentration	371
6.3.1 Bestimmung der Hefezellkonzentration mit Labormethoden	371
6.3.1.1 Die Zellzahlbestimmung mit der Zählkammer nach <i>Thoma</i>	371
6.3.1.2 Die Zellzahlbestimmung mit Teilchenzählgeräten	375
6.3.1.3 Probleme der Zellzahlbestimmung aus ZKT	377
6.3.2 Die Dosierung der Anstellhefe und ihre Kontrollverfahren	379
6.3.2.1 Dosierung nach Volumen	379
6.3.2.2 Dosierung nach Masse	381
6.3.2.3 Onlinebestimmung der Zellmenge	381
6.3.2.3.1 Dosierung durch Differenz-Trübungsmessung	381
6.3.2.3.2 Dosierung durch Erfassung der Teilchenzahl in der angestellten Würze	383
6.4 Das Anstellen	384
6.4.1 Die Höhe der Hefegabe	384
6.4.2 Der Zeitpunkt und die Form der Hefegabe	386
6.4.3 Technologie der Hefedosage	387
6.4.4 Die Anstelltemperatur	388
6.4.5 Die Zeitdauer des Anstellens und die Würzebelüftung	389
6.4.6 Anstellen mit Reinzucht- oder Propagationshefe	390
6.5 Die Gärführung	391
6.5.1 Temperaturführung	391
6.5.2 Einfluss des Druckes	392
6.5.3 Beeinflussung des Verhältnisses des vergärbaren Restextraktes zur in Schwebe befindlichen Hefekonzentration	393
6.5.4 Einfluss der Bewegung des Gärsubstrates	394
6.5.5 Beschleunigung der Hefeklämung	395
6.6 Die Hefeerte	395
6.6.1 Die klassische Hefeerte	395
6.6.2 Hefeerte aus einem zylindrokonischen Gärtank	396

6.6.3 Die Hefeernte mittels Jungbierseparation	400
6.7 Die Hefebehandlung	401
6.7.1 Kühlung der Hefe	401
6.7.2 Das Sieben der Hefe	401
6.7.3 Das Aufziehen der Hefe	402
6.7.4 Das moderne Aufziehen oder „Vitalisieren“	402
6.7.5 Die Hefewäsche	403
6.8 Die Hefelagerung	403
6.9 Presshefe	404
6.10 Trockenhefe	405
6.11 Einige Empfehlungen für das Hefemanagement beim High-gravity-brewing	411
7. Hefebiergewinnung und Verwertungsmöglichkeiten von Hefebier und Überschusshefe	413
7.1 Die Hefebiergewinnung	413
7.2 Sedimentation	413
7.3 Separation	414
7.3.1 Einsatz von Tellerseparatoren für die Hefebiergewinnung	414
7.3.2 Einsatz eines Dekanters zur Hefebiergewinnung	415
7.3.3 Einsatz von Klärseparatoren vor der Filtration	416
7.3.4 Förderung der mittels Separators/Dekanters abgetrennten Hefe	416
7.3.5 Der Einsatz von Jungbier-Separatoren	417
7.4 Hefepresse	418
7.5 Membran-Trennverfahren	419
7.5.1 Crossflow-Mikrofiltration	419
7.5.2 Restbiergewinnung nach Alfa Laval	425
7.6 Einschätzung der Varianten	427
7.7 Qualitätseigenschaften und Aufarbeitung von Hefebieren	428
7.8 Verwertung der Überschusshefe	431
7.8.1 Bierhefe als Futtermittel	432
7.8.2 Bierhefe zur Maische	433
7.8.3 Bierhefefraktionen als pharmazeutische Produkte und Nahrungszusatzstoffe	433
7.8.4 Hefeextrakte	433
7.8.5 Lagerung der Überschusshefe	434
7.9 Überschusshefe und Abwasserbelastung	435
Anhang	437
Index	441
Literatur- und Quellenverzeichnis	459