

Ludwig Narziß, Werner Back, Martina Gastl
und Martin Zarnkow

Abriss der Bierbrauerei

Achte, vollständig überarbeitete
und erweiterte Auflage



*Ludwig Narziß, Werner Back, Martina Gastl und
Martin Zarnkow*

Abriss der Bierbrauerei

Weitere interessante Titel zum Thema

Narziß, Ludwig/Back, Werner

Die Bierbrauerei

Band 1: Die Technologie der Malzbereitung

2012

ISBN 978-3-527-32532-0

Narziß, Ludwig/Back, Werner

Die Bierbrauerei

Band 2: Die Technologie der Würzebereitung

2009

ISBN 978-3-527-32533-7

Barth, R.

The Chemistry of Beer

The Science in the Suds

2013

Print ISBN: 978-1-118-67497-0

Boulton, C.M.

Encyclopedia of Brewing

2013

Print ISBN: 978-1-405-16744-4

Eßlinger, H.M. (Hrsg.)

Handbook of Brewing

Processes, Technology, Markets

2009

Print ISBN: 978-3-527-31674-8

Boulton, C.M., Quain, D.

Brewing Yeast and Fermentation

2006

Print ISBN: 978-1-405-15268-6

Ludwig Narziß, Werner Back, Martina Gastl und Martin Zarnkow

Abriss der Bierbrauerei

8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Autoren

Prof. (em.) Dr. agr. Ludwig Narziß
Liebigstr. 28a
85354 Freising

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Back
An der Mühle 9a
85354 Freising

Dr. Martina Gastl
TU München Freising
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20
85354 Freising

Dr. Martin Zarnkow
Forschungszentrum Weihenstephan
Brau- und Lebensmittelqualität
Alte Akademie 3
85354 Freising

1. Auflage 1937
2. Auflage 1949
3. Auflage 1972
4. Auflage 1980
5. Auflage 1986
6. Auflage 1995
7. Auflage 2005

Titelbild:
© Fotolia

8. Auflage 2017

■ Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

© 2017 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Umschlaggestaltung Formgeber, Mannheim
Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Print ISBN 978-3-527-34036-1
ePDF ISBN 978-3-527-69672-7
ePub ISBN 978-3-527-69673-4
Mobi ISBN 978-3-527-69671-0

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Inhalt

Vorwort zur achten Auflage	<i>IX</i>	1.6.5	Maßnahmen zur Energieeinsparung	83
		1.6.6	Die Nebenarbeiten beim Darren	84
Vorwort zur siebenten Auflage	<i>XI</i>	1.6.7	Die Behandlung des Malzes nach dem Darren	85
Vorwort zur sechsten Auflage	<i>XIII</i>	1.6.8	Die Lagerung und Aufbewahrung des Malzes	85
1 Die Technologie der Malzbereitung	<i>1</i>	1.7	Der Malzschwand	87
1.1 Die Braugerste	<i>1</i>	1.7.1	Der Weichschwand	88
1.1.1 Die Morphologie der Gerste	<i>1</i>	1.7.2	Atmungs- und Keimschwand	88
1.1.2 Chemische Zusammensetzung der Gerste	<i>2</i>	1.7.3	Die Ermittlung des Malzschwandes	89
1.1.3 Die Eigenschaften der Gerste und ihre Beurteilung	<i>6</i>	1.8	Die Eigenschaften des Malzes	89
1.2 Die Vorbereitung der Gerste zur Vermälzung	<i>9</i>	1.8.1	Äußere Merkmale	89
1.2.1 Die Anlieferung der Gerste	<i>9</i>	1.8.2	Die mechanische Analyse	89
1.2.2 Transportanlagen	<i>9</i>	1.8.3	Die chemisch-technische Analyse	90
1.2.3 Das Putzen und Sortieren der Gerste	<i>9</i>	1.9	Malze aus anderen Getreidearten	92
1.2.4 Die Lagerung und Aufbewahrung der Gerste	<i>13</i>	1.9.1	Weizenmalz	92
1.2.5 Die künstliche Trocknung der Gerste	<i>16</i>	1.9.2	Malze aus anderen Getreidearten	94
1.2.6 Pflanzliche und tierische Schädlinge der Gerste	<i>17</i>	1.9.3	Pseudogetreide	96
1.2.7 Gewichtsveränderungen der Gerste während der Lagerung	<i>18</i>	1.9.4	Spezialmalze	97
1.3 Das Weichen der Gerste	<i>18</i>	1.9.5	Die Kleinmälzung	99
1.3.1 Die Wasseraufnahme des Gerstenkorns	<i>18</i>	2 Die Technologie der Würzebereitung		<i>101</i>
1.3.2 Die Sauerstoffversorgung des Weichgutes	<i>19</i>	2.1	Die Rohmaterialien des Brauprozesses	<i>101</i>
1.3.3 Die Reinigung der Gerste	<i>20</i>	2.1.1	Malz	<i>101</i>
1.3.4 Wasserverbrauch	<i>21</i>	2.1.2	Ersatzstoffe des Malzes	<i>101</i>
1.3.5 Die Weicheinrichtungen	<i>21</i>	2.1.3	Das Brauwasser	<i>103</i>
1.3.6 Die Technik des Weichens	<i>24</i>	2.1.4	Der Hopfen	<i>115</i>
1.4 Die Keimung	<i>26</i>	2.2	Das Schrotten des Malzes	<i>126</i>
1.4.1 Die Theorie der Keimung	<i>26</i>	2.2.1	Die Kontrolle des Schrotes	<i>128</i>
1.4.2 Die Praxis der Keimung	<i>35</i>	2.2.2	Die Schrotmühlen	<i>128</i>
1.5 Die verschiedenen Mälzungssysteme	<i>39</i>	2.2.3	Beschaffenheit und Zusammensetzung des Schrotes	<i>135</i>
1.5.1 Die Tennenmälzerei	<i>39</i>	2.2.4	Die Anordnung der Schroterei	<i>136</i>
1.5.2 Die pneumatische Mälzerei	<i>43</i>	2.3	Die Herstellung der Würze	<i>136</i>
1.5.3 Die Keimanlagen der pneumatischen Mälzerei	<i>46</i>	2.3.1	Die Theorie des Maischens	<i>137</i>
1.5.4 Das fertige Grünmalz	<i>62</i>	2.3.2	Die Praxis des Maischens	<i>145</i>
1.6 Das Darren des Grünmalzes	<i>62</i>	2.3.3	Die Maischverfahren	<i>150</i>
1.6.1 Die Vorgänge beim Darren	<i>62</i>	2.3.4	Spezielle Probleme beim Maischen	<i>160</i>
1.6.2 Die Darren	<i>68</i>	2.3.5	Die Kontrolle des Maischprozesses	<i>161</i>
1.6.3 Praxis des Darrens	<i>75</i>	2.4	Die Gewinnung der Würze (Das Abläutern)	<i>163</i>
1.6.4 Kontrolle und Automatisierung der Darrarbeit – Pflege der Darren	<i>83</i>	2.4.1	Das Abläutern mit dem Läuterbottich	<i>163</i>
		2.4.2	Der Läuterbottich	<i>163</i>
		2.4.3	Der Läutervorgang im Läuterbottich	<i>166</i>
		2.4.4	Abläutern mit dem konventionellen Maischefilter	<i>175</i>

2.4.5	Dünnschicht-Maischefilter mit Membranen	176	3	Die Technologie der Gärung	231
2.4.6	Der Dünnschicht-Kammerfilter	178	3.1	Die Bierhefen	231
2.4.7	Schlussfolgerungen zu den beiden Systemen der Dünnschicht-Maischefilter im Vergleich zu modernen Läuterbottichen	180	3.1.1	Morphologie der Hefe	231
2.4.8	Der Strainmaster	180	3.1.2	Die chemische Zusammensetzung der Hefe	232
2.4.9	Kontinuierliche Läutermethoden	181	3.1.3	Die Enzyme der Hefe	232
2.4.10	Das Vorlaufgefäß	182	3.1.4	Die Vermehrung der Hefe	233
2.5	Das Kochen und Hopfen der Würze	182	3.1.5	Die Genetik der Hefe	234
2.5.1	Die Würzepfannen	182	3.1.6	Gen-Manipulation der Hefe	234
2.5.2	Physikalische Vorgänge bei der Würzekochung	187	3.1.7	Autolyse der Hefe	236
2.5.3	Die Koagulation des Eiweißes	188	3.2	Der Stoffwechsel der Hefe	236
2.5.4	Die Hopfung der Würze	190	3.2.1	Der Kohlenhydratstoffwechsel	237
2.5.5	Das Verhalten von Aromastoffen der Würze	197	3.2.2	Der Eiweißstoffwechsel	239
2.5.6	Technologische und energiewirtschaftliche Beurteilung moderner Würzekochsysteme	200	3.2.3	Der Fettstoffwechsel	240
2.5.7	Das Ausschlagen der Würze	206	3.2.4	Der Mineralstoffwechsel	241
2.5.8	Die Ausschlagwürze	207	3.2.5	Wuchsstoffe (Vitamine)	242
2.5.9	Die Reinigung der Sudwerksanlage	208	3.2.6	Die Stoffwechselprodukte und ihre Bedeutung für die Beschaffenheit des Bieres	242
2.5.10	Die Automatisierung des Würzekochprozesses	209	3.3	Die untergärige Hefe in der Praxis der Brauerei	246
2.5.11	Möglichkeiten des Einsatzes von Extraktresten	209	3.3.1	Die Wahl der Hefe	246
2.5.12	Die Treber	211	3.3.2	Die Reinzucht der Bierhefen	247
2.5.13	Sicherheit und Gleichmäßigkeit des Sudablaufes	211	3.3.3	Entartung und Degeneration der Hefe	249
2.6	Die Sudhausausbeute	212	3.3.4	Gewinnung der Hefe	249
2.6.1	Die Berechnung der Sudhausausbeute	212	3.3.5	Reinigen der Hefe	250
2.6.2	Die Beurteilung der Sudhausausbeute	213	3.3.6	Lagerung der Hefe	251
2.6.3	Schlussfolgerungen zum Thema Ausbeute	216	3.3.7	Versand der Hefe – Trockenhefen	252
2.7	Würzekühlung und Trubausscheidung	216	3.3.8	Der Zustand der Hefe	252
2.7.1	Die Abkühlung der Würze	216	3.4	Die Gärung in der untergärigen Brauerei	253
2.7.2	Die Sauerstoffaufnahme der Würze	216	3.4.1	Die Gärräume	253
2.7.3	Die Ausscheidung des Trubs	217	3.4.2	Die Gärgefäße	255
2.7.4	Sonstige Vorgänge	218	3.4.3	Das Anstellen der Würze mit Hefe	260
2.7.5	Kühlhauseinrichtung	218	3.4.4	Die Gärführung	264
2.7.6	Der Betrieb mit Kühlschiff, Berieselungskühler oder geschlossenem Kühler	218	3.4.5	Der Verlauf der Hauptgärung	264
2.7.7	Geschlossene Würzekühlsysteme	220	3.4.6	Der Vergärungsgrad	267
2.8	Die Bestimmung der Kaltwürze-Ausbeute	228	3.4.7	Die Schlauchreife des Bieres	269
2.8.1	Messwerte	228	3.4.8	Die Veränderung der Würze während der Gärung	269
2.8.2	Errechnung der Kaltwürze-Ausbeute	229	3.4.9	Die Gewinnung der Gärungskohlensäure	272
2.8.3	Die Gesamtausbeute bei der Würzebereitung (Overall Brewhouse Yield – OBY)	229	3.5	Die Nachgärung und Lagerung des Bieres	274
			3.5.1	Die Lagerkeller	274
			3.5.2	Die Lagergefäße	276
			3.5.3	Der Verlauf der Nachgärung	277
			3.6	Moderne Methoden zur Vergärung und Lagerung des Bieres	285
			3.6.1	Die konventionelle Arbeitsweise bei Gärtanks und Großgefäßen	285
			3.6.2	Die Anwendung von Zwischenlagertanks, der Einsatz einer Jungbierzentrifuge	289

3.6.3	Verfahren zur beschleunigten Gärung und Reifung des Bieres	290	5.3.5	Verschließen der Flaschen	342
3.6.4	Kontinuierliche Gärverfahren	297	5.3.6	Aufnahme von Sauerstoff beim Abfüllen	342
3.6.5	Anlage mit klassischen ZKGs für ein Durchflussverfahren	298	5.4	„Sterilabfüllung“ und Pasteurisation des Bieres	346
3.6.6	Die Kalthopfung des Bieres	298	5.4.1	„Sterilabfüllung“	346
			5.4.2	Pasteurisation des Bieres	349
			5.5	Gliederung der Flaschenfüllerei	352
4	Die Filtration des Bieres	301	6	Bierschwand	353
4.1	Die Theorie der Filtration	301	6.1	Faktoren des Bierschwandes	353
4.2	Die Technik der Filtration	302	6.1.1	Würzeschwand	353
4.2.1	Die Massefiltration	303	6.1.2	Eigentlicher Bierschwand	355
4.2.2	Die Kieselgurfiltration	304	6.2	Ermittlung des Bierschwandes	357
4.2.3	Die Schichtenfilter	310	6.2.1	Berechnung des Volumenschwandes	357
4.2.4	Die Membranfiltration	311	6.2.2	Ermittlung der Mehr- bzw. Fehlmengen	358
4.2.5	Die Zentrifugen	312	6.2.3	Berechnung der aus 100 kg Malz erzielten Würze- und Biermenge	358
4.3	Die Kombination der Klärverfahren	313	6.2.4	Berechnung des Extraktschwandes ab Ausschlagwürze bzw. ab Malzschüttung	358
4.4	Wege zum Ersatz der Kieselgurfiltration	314	6.2.5	Die Restbierwirtschaft	359
4.4.1	Kombination von Zentrifuge und Massefilter	314			
4.4.2	Kombination von Feinklärzentrifuge und Horizontalfilter	314	7	Das fertige Bier	361
4.4.3	Multi-Mikrofiltration	314	7.1	Zusammensetzung des Bieres	361
4.4.4	Filterschichten	315	7.1.1	Bierextrakt	361
4.4.5	Anwendung synthetischer Extrudate	315	7.1.2	Flüchtige Bestandteile	362
4.4.6	Kreuzstrom-Mikrofiltration	316	7.2	Einteilung der Biere	362
4.4.7	Folgerung zu modernen Filtersystemen	320	7.3	Eigenschaften der Biere	363
4.5	Die Hilfs- und Kontrollapparate der Filtration	320	7.3.1	Allgemeine Eigenschaften	363
4.5.1	Hilfsapparate	320	7.3.2	Redoxpotenzial des Bieres	363
4.5.2	Kontrollgeräte	321	7.3.3	Farbe des Bieres	364
4.6	Einleitung und Beendigung der Filtration	322	7.4	Aroma des Bieres	364
4.7	Das Geläger	322	7.4.1	Aromamerkmale	364
4.8	Die Druckluft	323	7.4.2	Beeinflussung der Geschmacksfaktoren	365
5	Das Abfüllen des Bieres	325	7.4.3	Geschmacksfehler des Bieres	367
5.1	Die Aufbewahrung des filtrierten Bieres	325	7.5	Schaum des Bieres	369
5.2	Die Fassfüllerei	325	7.5.1	Theorie des Schaumes	369
5.2.1	Die Fässer	325	7.5.2	Technologische Einflüsse auf den Bierschaum	370
5.2.2	Die Fassreinigung	326	7.6	Chemisch-physikalische Haltbarkeit und ihre Stabilisierung	373
5.2.3	Die Fassabfüllung	327	7.6.1	Zusammensetzung der kolloiden Trübungen	373
5.2.4	Verbesserungen in der herkömmlichen Fassfüllerei	328	7.6.2	Ausbildung der kolloiden Trübungen	374
5.2.5	Die Reinigung und Abfüllung zylindrischer Metallfässer (Kegs)	328	7.6.3	Technologische Maßnahmen zur Verbesserung der kolloiden Stabilität	374
5.2.6	Der Fassfüll- und Stapelkeller	331	7.6.4	Stabilisierung des Bieres	374
5.3	Die Flaschen- und Dosenfüllerei	331	7.6.5	Geschmacksstabilität des Bieres	381
5.3.1	Die Gefäße	331	7.6.6	Methoden zur Kontrolle und Vorhersage der Geschmacksstabilität	387
5.3.2	Die Flaschenreinigung	334	7.6.7	Chemische Biertrübungen	388
5.3.3	Die Flaschenfüllung	336			
5.3.4	Reinigen und „Sterilisieren“ der Füllmaschinen	341			

7.6.8	Wildwerden des Bieres (Gushing)	389	8.3.5	Die Veränderung der Würze während der Obergärung	422
7.7	Die Filtrierbarkeit des Bieres	391	8.3.6	Die Nachgärung	423
7.7.1	Ursachen einer schlechten Filtrierbarkeit des Bieres	391	8.3.7	Filtration und Abfüllung	425
7.7.2	Abhilfemaßnahmen	393	8.4	Verschiedene obergärige Biere und ihre Herstellung	426
7.8	Biologische Stabilität des Bieres	394	8.4.1	Das Altbier (Düsseldorf, Niederrhein)	426
7.8.1	Kontaminationsursachen	394	8.4.2	Das Kölsch	428
7.8.2	Sicherung der biologischen Haltbarkeit	396	8.4.3	Weizenbier – hefefrei	429
7.9	Physiologische Wirkung des Bieres	397	8.4.4	Hefeweizenbier	432
7.9.1	Nährwert des Bieres	397	8.4.5	Obergärige Biere aus Malzen anderer Getreidearten als Gerste und Weizen	436
7.9.2	Diätetische Wirkung des Bieres	398	8.4.6	Das Berliner Weißbier	438
7.10	Deutsche Biertypen	399	8.4.7	Traditionelle obergärige Biere	439
7.10.1	Helles Lagerbier	399	8.4.8	Malzbier (auch Süßbier genannt)	440
7.10.2	Hell Export (12,5 GG%+)	399	8.4.9	Obergärige Nährbiere bayerischer Brauart	441
7.10.3	Pilsener Biere	400	8.4.10	Obergärige, alkoholfreie Biere	441
7.10.4	Heller Bock	400	8.4.11	Obergärige Leichtbiere	441
7.10.5	Märzenbier	401	8.5	Glutenfreie Biere	441
7.10.6	Dunkle und Schwarzbier	401	8.5.1	Herstellung aus konventionellen Rohstoffen – züchterische Modifikation der Rohstoffe	442
7.10.7	Deutscher Porter	402	8.5.2	Enzymatische Modifikation der Rohstoffe	442
7.10.8	Rauchbier	402	8.5.3	Bierherstellung aus glutenfreien Zucker- bzw. Stärkequellen	442
7.11	Besondere Biere	402	8.5.4	Kohlenhydratreiche Körnerfrüchte	442
7.11.1	Frühere Diätbiere	403	9	Das Brauen mit hoher Stammwürze	445
7.11.2	Nährbiere	405	9.1	Die Herstellung der stärkeren Würze	445
7.11.3	Alkoholfreie Biere	405	9.1.1	Das Abläutern	445
7.11.4	Verfahren zur Begrenzung des Alkoholgehaltes	406	9.1.2	Das Maischen	445
7.11.5	Alkoholentzug mit physikalischen Verfahren	408	9.1.3	Das Würzekochen	445
7.11.6	Die Kombination der verschiedenen Verfahren zur Herstellung von alkoholfreiem Bier	411	9.1.4	Whirlpoolbetrieb	446
7.11.7	Leichtbiere	412	9.1.5	Die Verdünnung der starken Würze bei der Würzekühlung	446
8	Die Obergärung	415	9.2	Die Vergärung der stärkeren Würzen	446
8.1	Allgemeines	415	9.3	Die Verdünnung des ausgereiften Bieres	447
8.2	Die obergärige Hefe	415	9.4	Die Eigenschaften der Biere	448
8.2.1	Morphologische Merkmale	415		Weiterführende Literatur	449
8.2.2	Physiologische Unterschiede	416		Sachregister	453
8.2.3	Gärungstechnologische Merkmale	416			
8.2.4	Hefebehandlung	417			
8.3	Die Führung der Obergärung	418			
8.3.1	Gärraum und Gärbehälter	418			
8.3.2	Die Würzebeschaffenheit	419			
8.3.3	Das Anstellen	419			
8.3.4	Der Ablauf der Hauptgärung	420			

Vorwort zur achten Auflage

Nach der 7. Auflage, die lediglich einen Anhang über „Neue Erkenntnisse und Entwicklungen“ über die 10 Jahre zwischen der 6. Auflage enthielt, wurde nunmehr eine Überarbeitung aller Kapitel vorgenommen. Neu ist das Kapitel über die Vermälzung anderer Getreidearten als Gerste und Weizen, aber auch deren Verarbeitung als Rohfrucht. Schwerpunkte bei der Sudhaustechnologie sind das Sauerstoff-optimierte Maischen und Abläutern (auch mit Maischefiltern), die Würzekochung und Würzebehandlung auch unter energetischen Gesichtspunkten. Bei der Gärung sind Hefetechnologie und optimale SO_2 -Bildung im Vordergrund sowie die Vorstellung einer neuen Anlage zur kontinuierlichen Gärung und Reifung. Die Kapitel „Filtration“ und „Abfüllen“ weisen eine Fortschreibung moderner Systeme auf. Im Kapitel „Das fertige Bier“ werden deutsche Biertypen beschrieben, ebenso bei der „Obergärung“. Die Kalthopfung, die auch manchen konventionellen Biertypen gut ansteht, wurde mit aufgenommen. Neu ist die Einfügung benutzter und weiterführender Literatur, die ab Kapitel 3 aufgeführt ist, nachdem für die Kapitel 1 und 2 die Literaturverzeichnisse der Standard-Werke „Technologie der Malzbereitung“ und „Technologie der Würzebereitung“ zur Verfügung stehen.

Das Autorenteam hat sich erweitert: Neben meinem Kollegen und Nachfolger Prof. Dr. Werner Back, der sich in bewährter Weise einbrachte, wurden Frau Dr. Martina Gastl (Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) und Herr Dr. Martin Zarnkow (Forschungszentrum Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität) aufgenommen. Beide waren auch schon bei den zwei Standardwerken dabei. Sie bringen ihre Kenntnisse und Erfahrungen über den neusten Stand der Forschung und Technologie mit ein. Beide sind Schüler von Prof. Back und arbeiten mit mir auch schon weit über 10 Jahre zusammen. Sie werden als Wissenschaftler und Dozenten mit einer Vielzahl an Veröffentlichungen und Vorträgen, wie auch reichlicher Betriebs- und Beratungserfahrung das Buch sicher in seiner gewohnten Form weiter führen. Bei diesem Team darf ich mich herzlich für die tolle Zusammenarbeit bedanken.

Dank sagen darf ich auch Herrn Prof. Dr. Thomas Becker, dem Nachfolger von Prof. Back auf dem Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie für den Zugang zu den Arbeiten des Lehrstuhls, sei es bei Klausurtagungen, Seminaren oder bei dem freundlichen Miteinander, auch mit seinen Mitarbeitern. Hier danke ich auch Frau Adriana Brunner, Sekretärin am Lehrstuhl für ihre stete Hilfsbereitschaft.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Fritz Jacob, Direktor des Forschungszentrums Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität und seinen Mitarbeitern für die Einsicht in Dissertationen, Diplomarbeiten (Master, Bachelor und Braumeister) sowie den Austausch betrieblicher Themen aus der Brauereipraxis.

Der Maschinenindustrie und den befreundeten Brauereien danke ich für viele wichtige Informationen und Hinweise sowie für die seit Jahrzehnten währende, vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Dem Verlag Wiley danke ich für die Geduld und Gewissenhaftigkeit bei der Zusammenstellung der Texte und bei dem doch gewaltigen Aufwand der hier geleistet wurde.

So wünsche ich dem Buch eine ähnlich gute Aufnahme wie „meinen“ sieben Auflagen zuvor.

Weihenstephan, Oktober 2016

Ludwig Narziß

Vorwort zur siebenten Auflage

Die vorausgehende 6. Auflage gab in sämtlichen Kapiteln den jeweils neuesten Stand der Brauwissenschaft und der Brauereitechnologie wieder. Hierbei wurden zum Teil damals noch nicht veröffentlichte wissenschaftliche Arbeiten ausgewertet und die Ergebnisse eingebracht. Es erschien daher vertretbar, in der vorliegenden siebenten Auflage einen Anhang von ca. 40 Seiten über „Neue Erkenntnisse und Entwicklungen“ zu verfassen. Es werden hier die neuesten Ergebnisse der Forschung und der technisch – technologischen Entwicklungen dargestellt, wobei die Gebiete: Maischen, Abläutern, Würzekochen, Würzebehandlung, Hefe-Technologie und Gärung/Reifung besondere Berücksichtigung erfahren. Moderne Filtrationsmethoden werden als Fortschreibung ebenso erwähnt wie neue Flaschenfüllertypen sowie die Schilderung der Problematik von Kunststoffflaschen. Die Themen über die Eigenschaften des Bieres, wie chemisch-physikalische Stabilität, Geschmacksstabilität, biologische Stabilität, Schaum, Filtrierbarkeit, „Gushing“ und physiologische Momente zeigen die zwischenzeitlich erzielten Fortschritte auf.

Auch nach meiner Emeritierung konnte ich an den technologischen Entwicklungen teilhaben, wenn auch der eigene Anteil an der wissenschaftlichen Forschung naturgemäß auslaufen mußte.

So bin ich meinem Kollegen und Nachfolger, Prof. Dr. Werner Back für seine Mitarbeit sehr dankbar, vor allem auch dafür, daß ich stets Zugang zu allen Dissertationen, Diplom- und Semesterarbeiten sowie zu allen Institutsaktivitäten durch Informationen und fruchtbare Diskussionen hatte. Hierfür sei auch seinem Team an Assistenten, Doktoranden und allen wissenschaftlichen Mitarbeitern sehr herzlich gedankt. Mein Dank gilt ferner der Brauereimaschinen-Industrie sowie den befreundeten Brauereien für den regen Gedankenaustausch. Ohne all' das hätte diese Ergänzung wohl schwerlich in dieser Form angefertigt werden können.

Ich danke dem mir „neuen“ Verlag Wiley-VCH für die gute und aufgeschlossene Zusammenarbeit.

Weihenstephan, Sommer 2004

Ludwig Narziß

Vorwort zur sechsten Auflage

Das von Professor Dr. Hans Leberle 1937 begründete und 1949 überarbeitete Werk wurde von mir 1972 neu geschrieben, 1980 überarbeitet und durch einige wesentliche Kapitel ergänzt, so daß es vertretbar war, die 5. Auflage 1986 durch einen ausführlichen Anhang auf dem neuesten Stand zu halten. Mit dieser 6. Auflage wurde 1994 eine völlige Überarbeitung fällig, die wiederum einige neue Abschnitte aufweist.

Das Buch setzt sich zum Ziel – wie schon von Prof. Leberle vorgesehen –, einen gedrängten Überblick über den gesamten Komplex der Mälzerei- und Brauerei-Technologie zu geben. Dabei sind die theoretischen Grundlagen der einzelnen Verfahrensschritte knapp und übersichtlich soweit dargestellt, als es für das Verständnis der verschiedenen technologischen Gegebenheiten sowie der Beschaffenheit von Malz, Würze und Bier erforderlich scheint. Besonderer Wert wird einer praxisnahen Schilderung der einzelnen Abschnitte der Malz- und Bierbereitung nebst den hierfür dienenden Einrichtungen und Apparate beigemessen. Das aufgeführte Zahlenmaterial soll diese Darstellungen belegen, ergänzen und anschaulicher gestalten.

Das Buch ist in erster Linie als Leitfaden für die Studierenden des Brauwesens gedacht, wobei das Volumen der Vorlesung, vor allem hinsichtlich der knapp gehaltenen Tabellen und des Fehlens von Illustrationen, bewußt nicht angestrebt wird.

Darüber hinaus ist es eine wesentliche Aufgabe des Buches, den im Betrieb Stehenden einen Überblick über den neuesten Stand der Mälzerei- und Brauereitechnologie zu geben, ohne dabei grundlegende und bewährte Verfahren zu übergehen. So will es auch verstanden sein, daß z. B. die Tennenmälzerei, das Dreimaischverfahren oder eine „sehr“ konventionelle Verfahrensweise von Gärung und Lagerung neben modernen Technologien Beschreibung finden. Der Rahmen des Buches erfordert eine gewisse Beschränkung des Stoffes; aus diesem Grunde wird hauptsächlich die Malz- und Bierbereitung nach Maßgabe des Reinheitsgebotes berücksichtigt.

Entsprechende Beachtung wird der Beschreibung der Eigenschaften des Bieres gewidmet und der sie beeinflussenden Faktoren. Neu sind die Kapitel „Alkoholfreie Biere“, „Leichtbiere“ und „Brauen mit hoher Stammwürze“. Neuentwicklungen sind nur soweit aufgenommen, wenn sie sich bereits bewähren konnten oder eine Einführung absehbar ist.

Einem tieferen Studium der Materie dienen die Standardwerke „Die Bierbrauerei“ des gleichen Verlages.

Ich danke meinem Kollegen und Nachfolger Prof. Dr. Werner Back, daß er das Kapitel „Biologische Stabilität des Bieres“ neu bearbeitete, wie er mir auch in vielen Diskussionen hilfreich zur Seite stand. Ich danke meinen langjährigen Mitarbeitern Frau Akad. Direktorin Dr. Elisabeth Reicheneder und Herrn Prof. Dr. Heinz Miedaner sowie den vielen Assistenten und Helfern aus rund 30 Jahren Lehre und Forschung in Weißenstephan, denn: Es sind die Ergebnisse von 44 Dissertationen und einem Mehrfachen an Diplom- und Studienarbeiten wie auch aus vielen Praxisversuchen eingeflossen.

Dank sei den Förder-Gremien: der Gesellschaft zur Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft, der Wissenschaftlichen Station für Brauerei in München, der Arbeitsgemeinschaft der Industriellen Fördervereinigungen u. a.

Dem Verlag danke ich für die stets angenehme Zusammenarbeit. Möge der im Laufe der Jahre etwas umfangreich gewordene Band in der Fachwelt eine ähnlich gute Aufnahme finden wie die früheren Auflagen oder die erwähnten Standard-Werke.

Weißenstephan, Winter 1994/95

Ludwig Narziß

1 Die Technologie der Malzbereitung

Unter Mälzen ist das Keimenlassen von Getreidearten unter künstlich geschaffenen bzw. gesteuerten Umweltbedingungen zu verstehen.

Das Endprodukt der Keimung heißt Grünmalz; durch Trocknen und Darren wird es zum Darrmalz.

Der Zweck des Mälzens ist hauptsächlich die Gewinnung von Enzymen, die bei der Keimung bestimmte Umwandlungen der im Getreidekorn aufgespeicherten Reservestoffe herbeiführen. Jede zu geringe oder übermäßige Enzymbildung oder -wirkung während der Keimung ist unerwünscht und setzt die Qualität des Keimproduktes herab.

1.1 Die Braugerste

Zur Malzbereitung können eine Reihe von Getreidearten Verwendung finden (s. Abschn. 1.9), doch ist die Gerste in ihrer zweizeiligen Form, bei der alle Körner symmetrisch und gleichmäßig entwickelt sind, am besten geeignet. Die mehrzeiligen Gersten, die eigentliche Urform, werden infolge der unsymmetrischen und schwachen Ausbildung der Seitenkörner (Krummschnäbel) in Europa nur zu einem geringen Anteil zur Vermälzung herangezogen. In Übersee dienen derartige Gersten aufgrund ihres höheren Eiweißgehaltes und höherer Enzymkräfte der Verarbeitung von größeren Rohfruchtschüttungen.

Die zweizeilige Gerste wird in zwei Hauptgruppen unterteilt:

1. Die aufrechtstehende Gerste. Die Ähre ist dicht, breit und steht während der Reifezeit in der Regel aufrecht; die einzelnen Körner liegen dicht aneinander (*Hordeum distichum erectum*).
2. Die nickende Gerste: Die Ähre ist lang, schmal und hängt während der Reife. Die Körner liegen locker aneinander (*Hordeum distichum nutans*).

Als Braugerste kommen die verschiedenen Sorten der nickenden Gerste in Betracht, die überwiegend als Sommergerste angebaut wird. Durch Züchtung leistungsfähiger Sorten, die den Aufwuchs- und Erntebedingungen entweder des kontinentalen europäischen oder des maritimen Klimas angepasst sind, ist eine hohe Stabilität der Gersteneigenschaften gegeben. Darüber hinaus werden die Sorten auf eine verbesserte Resistenz gegen Pflanzenkrankheiten

(Mehltau, Zwergrost, Netzflecken u. a.) gezüchtet, um die Zahl der Schutzbehandlungen zu verringern.

Von den zweizeiligen Wintergersten sind einige Sorten durch jüngste Züchtungsergebnisse auf einem qualitativ hohen Stand, wenn auch über ihre Verbreitung erst die Braugerstenpolitik der nächsten Jahre entscheiden wird. Nacktgersten konnten sich noch nicht nachhaltig einführen, ebenso wenig die Züchtung procyanidinfreier Gersten (s. Abschn. 1.1.2.6), von Gersten mit niedriger Lipoxygenasenaktivität oder von Gersten mit dünnen Zellwänden, d. h. niedrigerem β -Glucangehalt (s. Abschn. 1.1.2.2). Derartige Sorten zeigen bei ungünstigeren Witterungsverhältnissen wesentlich stärkere Einbußen an Ertrag und Qualität als normale Braugersten.

Die Zugehörigkeit einer Gerste zu den beiden Hauptgruppen ist noch am einzelnen reifen Gerstenkorn an der Form der Kornbasis sowie an der Behaarung und Form der Basalborste erkennbar. Außer diesen Merkmalen kann auch die Form der Schüppchen und die Bezeichnung der Seitenrückennerven zur Sortenidentifizierung herangezogen werden.

Eine gute Sicherheit bieten elektrophoretische Methoden zur Auftrennung der Prolaminfraktion (s. Abschn. 1.1.2.8), auch immunologische Analysen sind möglich. Neuerdings kommt auch die Polymerase Chain Reaction (PCR) in zwei Stufen zur Anwendung. Der Vorteil dieser DNA-Bestimmung ist, dass sich ihre Aussage auch durch den Mälzungsprozess nicht abschwächt. Dies ist bei der elektrophoretischen Methode bei überlöstem Malzkörnern der Fall.

Die Braugersten werden nach Provenienz und Sorte gehandelt. Je nach den klimatischen Bedingungen und den Eigenschaften der Sorten können sich beträchtliche Unterschiede in der Vermälzungsfähigkeit und im Brauwert der Gersten ergeben. Eine Vermischung ist deshalb zu vermeiden.

1.1.1 Die Morphologie der Gerste

Am *Gerstenkorn*, das die Frucht der Gerste darstellt, sind zu unterscheiden:

1.1.1.1 Der *Keimling*: Er stellt den lebenden Teil des Kornes dar, liegt am unteren Ende des Kornes

auf der Rückenseite und besteht aus den Anlagen der künftigen Achsenorgane, des Blattkeimes und des Wurzelkeimes. Mit ihm verwachsen ist das Schildchen, welches an den Mehlkörper grenzt und dem wachsenden Keimling von dort die Nährstoffe zuleitet. Diesem Zweck dient besonders das dem Mehlkörper zugewandte Aufsaugeepithel mit seinen schlauchartigen Zellen.

1.1.1.2 Der Mehlkörper (Endosperm): Er besteht im Wesentlichen aus zwei Gewebelagen, den stärkeführenden und den fettführenden Zellen.

Den Kern des Mehlkörpers bilden die stärkehaltigen Zellen, die in ein Gerüst von eiweiß- und gummiartigen Stoffen eingebettet sind.

Die stärkeführenden Zellen sind von einer dreifachen Schicht rechteckiger, dickwandiger Zellen umgeben, die man Aleuron- oder Kleberschicht nennt. Ihr Inhalt besteht aus Eiweißstoffen und Fett. In der Nähe des Keimlings besteht diese Schicht nur mehr aus einer Zelllage. Zwischen dem stärkeführenden Gewebe des Endosperms und dem Keimling liegt eine dünne Schicht leerer zusammengedrückter Zellen, die aufgelöste Endosperm-schicht, deren Inhalt vom Keimling bereits verbraucht wurde.

Im Mehlkörper spielen sich alle biologischen und chemischen Veränderungen des Gerstenkorns ab. Mit fortschreitender Entwicklung des Keimlings wird er allmählich abgebaut und verwertet. Beim Mälzen soll der Mehlkörper aus wirtschaftlichen Gründen so wenig wie möglich verbraucht werden; hierbei kommt der Bildung von Enzymen und dem Abbau von Stütz- und Gerüstsubstanzen die größte Bedeutung zu.

1.1.1.3 Die Umhüllung: Sie schützt den wachsenden Keimling und besteht aus der inneren, auf der Bauchseite und der äußeren, auf der Rückenseite des Kornes liegenden Spelze. Darunter liegt das äußere Hüllblatt, die Fruchtschale (Perikarp) und das innere Hüllblatt, die Samenschale (Testa). Beide haben mehrere Zelllagen und sind scheinbar miteinander verwachsen. Die Testa ist halbdurchlässig (semipermeabel), d. h. es kann zwar Wasser durch die Membrane eindringen, während höhermolekulare Stoffe zurückgehalten werden. Verschiedene Ionen gelangen jedoch mit dem Wasser in das Korninnere.

1.1.2 Chemische Zusammensetzung der Gerste

Die Gerste besteht aus Trockensubstanz (80–88 %) und Wasser (12–20 %). Die Trockensubstanz ent-

hält organische Verbindungen ohne und mit Stickstoff sowie anorganische Bestandteile (Asche).

1.1.2.1 Die Stärke: Den Hauptanteil der stickstofffreien organischen Verbindungen stellen die Kohlenhydrate, vor allem die Stärke. Sie ist in einer Menge von 60–65 % (auf Trockensubstanz berechnet) gegeben. Ihre Bildung erfolgt durch Assimilation von CO_2 und H_2O unter Einwirkung des Sonnenlichtes, mithilfe des Chlorophylls, unter Abgabe von Sauerstoff.

Der Zweck dieser Stärkeanhäufung ist die Anlage eines Nährstofflagers für den Keimling während der Zeit seiner ersten Entwicklung. Die Ablagerung erfolgt in Form von Stärkekörnern, die in zwei Formen, als linsenförmige Großkörner und mehr kugelförmige Kleinkörner, zu erkennen sind. Die Letzteren nehmen mit dem Eiweißgehalt der Gerste zu, sie sind reicher an Mineralstoffen als die Großkörner.

Das Stärkekorn besteht aus zwei strukturell verschiedenen Kohlenhydraten, der Amylose und dem Amylopectin. Die Amylose (Normal- oder n -Amylose) beträgt 17–24 % der Stärke; sie befindet sich in der Regel im Innern der Körner und besteht aus langen, unverzweigten, spiralig gewundenen Ketten von 60–2000 Glucoseresiden in α -1 $\rightarrow$ 4-Bindung (Maltosebindung). Das Molekulargewicht der verschiedenen langen Moleküle beträgt zwischen 10 000 und 500 000 Da. Amylose färbt sich mit Jod rein blau; sie löst sich im Wasser kolloidal und bildet keinen Kleister. Beim enzymatischen Abbau, z. B. durch α - und β -Amylase, wird das Disaccharid Maltose gebildet.

Das Amylopectin (Iso- oder i -Amylose) macht etwa 76–83 % der Stärke aus. Im Gegensatz zur Amylose besteht es aus verzweigten Molekülketten, die neben der vorherrschenden α -1 $\rightarrow$ 4-Bindung auch α -1 $\rightarrow$ 6-Bindungen (etwa 1/15) aufzuweisen haben. Im Durchschnitt verzweigt sich die Amylopectinkette nach etwa 15 Glucoseeinheiten. Diese räumlich verzweigte Struktur bedingt die Verkleisterungsfähigkeit des Amylopectins; bei 6000–40 000 Glucoseresiden liegt das Molekulargewicht zwischen 1 und 6 Mio. Da. Das Amylopectin enthält etwa 0,23 % Phosphorsäure in esterartiger Bindung. Die wässrige Lösung färbt sich mit Jod violett bis reinrot.

Die Stärke ist geschmack- und geruchlos, hat ein spezifisches Gewicht von $1,63 \text{ g/cm}^3$ in wasserfreiem Zustand, ihre Verbrennungswärme beträgt $17\,130 \text{ kJ/kg}$ (4140 kcal/kg). Das optische Drehvermögen liegt bei 201–204.

1.1.2.2 *Nichtstärkeartige Polysaccharide* sind in einer Menge von 10–14 % vorhanden. Die *Cellulose* befindet sich als Gerüstsubstanz in den Spelzen, nicht dagegen im Mehlkörper des Gerstenkorns. Die Cellulose baut sich ebenfalls aus Glucoseresten, aber in β -1 $\rightarrow$ 4-glukosidischer Bindung, auf. Cellulose ist geschmack- und geruchlos, unlöslich in Wasser sowie chemisch und enzymatisch schwer angreifbar. Sie tritt nicht in den Stoffwechsel des Kornes ein und verbleibt an der Stelle des Pflanzenkörpers, an der sie gebildet wurde. Die Cellulose verlässt die Mälzerei unverändert und spielt erst als Filterschicht beim Abläutern eine Rolle. Analytisch wird sie als Rohfaser in einer Menge von 3,5–7 % der Gerstentrockensubstanz bestimmt.

Die *Hemicellulosen* sind am Aufbau der Zellwände beteiligt und unterstützen deren Festigkeit. Der in den Spelzen vorkommende Hemicelluloseentyp baut sich auf aus reichlich Pentosan, wenig β -Glucan und geringen Mengen von Uronsäuren. In Lösung vermittelt er eine niedrige Viskosität. Während der Keimung wird der Typ „Spelz“ praktisch nicht verändert. Dagegen vermittelt der Typ „Endosperm“ als eigentliche Gerüstsubstanz im Mehlkörper eine hohe spezifische Viskosität. Er hat einen hohen Gehalt an β -Glucan, wenig Pentosan und keine Uronsäuren. Es setzt sich zusammen aus Glucoseresten, die in β -1 $\rightarrow$ 4- (70 %) und β -1 $\rightarrow$ 3- (30 %)-Bindungen miteinander verknüpft sind. Beim unvollkommenen Abbau liegen die Disaccharide Cellobiose und Laminaribiose vor. Die Pentosane bestehen aus Xyloseeinheiten in β -1 $\rightarrow$ 4-Bindung, an denen sich beim Spelzenpentosan Xylose-, Arabinose und Uronsäureseitenketten in β -1 $\rightarrow$ 3- und β -1 $\rightarrow$ 2-Bindung befinden, beim Endospermpentosan nur Arabinosemoleküle in β -1 $\rightarrow$ 3- oder β -1 $\rightarrow$ 2-Bindung. Die Pentosanketten der Zellwände des Mehlkörpers enthalten Ferulasäure, die über eine Esterbindung an Arabinose gebunden ist. Durch jeweils zwei Ferulasäuremoleküle an Arabinoseseitenketten sind Quervernetzungen gegeben, aber auch über die Aminosäure Tyrosin zwischen Pentosanen und Proteinen. Hemicellulosen sind nämlich mit Proteinen über Esterbindungen verknüpft, was die Wasserunlöslichkeit dieser Komplexe bedingt. Ihr Molekulargewicht kann bis zu 40×10^6 betragen. Durch verdünnte Natronlauge oder durch die Wirkung von Enzymen werden sie in lösliche Form übergeführt.

Der Gehalt an Hemicellulosen und Gummistoffen ist abhängig von Sorte und Anbauort (Klima).

Gummistoffe sind wasserlösliche Hemicellulosen von hoher Viskosität. Sie bestehen aus β -Glucan und Pentosan und geben in Wasser kolloide Lösungen. Ihr Molekulargewicht liegt bei ca. 400 000. Der Gehalt an wasserlöslichen Gummistoffen einer Gerste kann in erheblichen Grenzen schwanken, er liegt normal bei etwa 2 %.

Lignin ist eine inkrustierende Substanz, die in die Zellwände der Spelze eingelagert ist.

1.1.2.3 An *niederen Kohlenhydraten* enthält die Gerste 1–2 % Saccharose, 0,3–0,5 % Raffinose und je 0,1 % Maltose, Glucose und Fructose.

1.1.2.4 *Lipide* (Fette) finden sich in der Gerste in einer Menge von 2,2–2,5 % der Trockensubstanz. Sie kommen in geringer Menge in den Spelzen und im Mehlkörper vor, dagegen zu 60 % in der Aleuronschicht und zu ca. 30 % im Keimling. Die Lipide der Gerste setzen sich hauptsächlich zusammen aus ca. 70 % Neutrallipiden, die wiederum überwiegend aus Triacylglyceriden bestehen, ca. 10 % Glycolipiden und ca. 20 % Phospholipiden. In Triglyceriden können bis zu drei verschiedene Fettsäuren mit dem Glycerin verestert sein. Damit ist die Zahl der möglichen Triglycerid-Varianten sehr groß. Sie werden beim Wachstum des Keimlings teilweise verbraucht und dienen dabei dem Atmungsstoffwechsel sowie dem Aufbau der Zellen der Blatt- und Wurzelkeime.

1.1.2.5 *Phosphorsäurehaltige organische Verbindungen* wie z. B. das Phytin, welches als Ester der Phosphorsäure mit dem Ringzucker Inosit als Calcium-Magnesiumsalz in den Spelzen vorkommt, liefert während der Keimung den Hauptanteil der sauren Bestandteile (primäre Phosphate) und Puffersubstanzen und sie spielen für die Erhaltung des Säurespiegels bei der Keimung eine Rolle.

1.1.2.6 *Polyphenole* oder Gerbstoffe finden sich in den Spelzen und im Mehlkörper. Ihre Menge macht nur 0,1–0,3 % der Trockensubstanz aus, doch beeinflussen sie Farbe und Geschmack der Biere sowie durch ihre gerbende, eiweißfällende Wirkung auch deren Haltbarkeit. Zu den phenolischen Substanzen gehören sowohl einfache Phenolsäuren, die in freier oder gebundener Form, als Glycoside vorhanden sind, als auch höher organisierte Polyphenole. Die Letzteren umfassen Anthocyanogene, Catechine und Flavone, die durch Oxidation und Polymerisation zur Verbindungen höheren Molekulargewichts führen. Sie haben zufärbende und

fallende Eigenschaften auf andere Inhaltsstoffe von Malz, Würze und Bier. Aufgrund ihrer Oxidierbarkeit sind die Polyphenole reduzierende Substanzen. In der Gruppe der Polyphenole lassen sich analytisch die sog. „Tannine“ bestimmen, die ein Molekulargewicht von 600–3000 (2–10 Flavanringe) aufweisen und die nicht nur eiweißfällend wirken, sondern auch ausgeprägte reduzierende Eigenschaften haben. Die Menge der phenolischen Substanzen ist abhängig von der Sorte, aber auch von den Vegetationsbedingungen der Gerste bestimmt. Maritime Gersten enthalten mehr Polyphenole, besonders mehr Tannine als kontinentale. Eine spezielle Züchtung der Carlsberg-Laboratorien mithilfe von Genmutanten ergab eine Blockierung der Biosynthese von Catechin und Procyandin (Anthocyanogen) während der Vegetation der Gersten. Diese vermitteln nur ca. 12 % des Anthocyanogehalts in Würzen und Bier und damit eine wesentlich bessere chemisch-physikalische Stabilität als Biere aus normalen Malzen.

1.1.2.7 *Gerstenbitterstoffe* gehören zur Klasse der Lipide, besitzen eine antiseptische Wirkung und zeichnen sich durch einen kratzig bitteren Geschmack aus. Diese, vornehmlich in den Spelzen sitzenden Substanzen, sind in Hydrogencarbonatwässern leicht löslich.

1.1.2.8 Die *Eiweißstoffe* sind allgemein als wichtige Träger des biologischen Geschehens von großer Bedeutung. Trotz ihrer geringen Menge üben sie einen erheblichen Einfluss auf alle Arbeitsvorgänge bei der Bierbereitung aus. Die Elementaranalyse der wichtigsten Proteine ergibt folgende Grenzwerte: C = 50–52 %, H = 6,8–7,7 %, N = 15–18 % (im Mittel 16 %), S = 0,5–2,0 % und P = 0–1 %. Nachdem der mittlere Stickstoffgehalt der Proteinsubstanzen etwa 16 % beträgt, wird der nach Kjeldahl erhaltene Stickstoffwert mit 6,25 multipliziert, um den Rohproteingehalt einer Gerste zu erhalten.

Der Eiweißgehalt (auf wasserfreie Substanz berechnet) liegt zwischen 8 und 13,5 % (1,30–2,15 % Stickstoff), normal zwischen 9,0 und 11,5 % (1,45–1,85 % N). Eiweißärmere Gersten gelten allgemein als die feinere Brauware, die für helle Malze und Biere unentbehrlich ist. Zu eiweißarme Gersten können zu einer Verarmung der Würzen an schaumgebenden, vollmundigkeitsfördernden Eiweißkörpern führen, aber auch zu einem Mangel an Aminosäuren, die für die Hefeernährung wichtig sind. Eiweißreiche Gersten (über 11,5 % Eiweiß) verarbeiten sich schlechter als eiweißärmere, verringern den Stärkegehalt der Gerste und ergeben Biere, die eine dunklere Farbe und einen

volleren, mitunter breiteren Geschmack aufweisen. Dunkle Biere verlangen dagegen eiweißreichere Gersten.

Der Eiweißgehalt des Kornes ist hauptsächlich abhängig von der Bodenzusammensetzung, der Fruchtfolge, der Düngung und den Witterungsverhältnissen. Von besonderer Bedeutung ist die Länge der Vegetationszeit zwischen Aussaat und Ernte. Eiweiß befindet sich in der Kornumhüllung, im Mehlkörper und im Keimling.

Die Ablagerung der Eiweißstoffe im Mehlkörper erfolgt an drei, örtlich begrenzten Stellen:

1. In der Aleuronschicht als Klebereiweiß,
2. unter der Kleberschicht am äußeren Rande des Mehlkörpers als Reserveeiweiß,
3. im Mehlkörper selbst als histologisches oder Gewebe-Eiweiß.

Das *Klebereiweiß* zieht sich unter der Frucht- und Samenschale hin. Es wird beim Keimprozess zum Teil angegriffen, der Rest findet sich in den Trebern.

Das *Reserveeiweiß* bedingt den verschiedenen hohen Eiweißgehalt der Gersten. Es wird beim Keimen zuerst von den Enzymen angegriffen und liefert die Hauptmenge der wasserlöslichen Eiweißstoffe.

Das *histologische Eiweiß* ist in die Membranen der Endospermzellen eingelagert und neben anderen Stoffen am Zusammenhalt der Zellen beteiligt. Es erschwert mit zunehmender Menge die Auflösung der Zellwände.

Eiweiße (Proteine) bauen sich aus Aminosäureresten auf. Diese sind jeweils durch eine Peptidbindung miteinander verknüpft. Unter Peptidbindung ist eine Bindung zwischen der Carboxylgruppe einer Aminosäure und der Aminogruppe einer weiteren Aminosäure zu verstehen. Von 130 bisher nachgewiesenen Aminosäuren sind hauptsächlich 18–20 am Aufbau der pflanzlichen Proteine beteiligt. Durch Verbindung von zwei oder drei Aminosäuren entstehen Di- und Tripeptide; Oligopeptide sind aus 3–10, Polypeptide aus 10–100 und Makropeptide aus über 100 Aminosäuren zusammengesetzt. Die Sequenz (Reihenfolge) der Aminosäuren im Polypeptidfaden nennt man Primärstruktur, die spiralförmig gedrehte oder in Faltblattstruktur formierte und durch Wasserstoffbrücken stabilisierte Kette Sekundärstruktur, die Anordnung derselben in Schleifen oder Knäueln Tertiärstruktur. Die Grenze zwischen sekundären und tertiären Strukturen ist oftmals schwer zu ziehen. Bei diesen letzteren Formationen sind neben der Peptidbindung auch Wasserstoffbrücken sowie die starke Disulfidbindung, aber auch elektrostatische Wechselwirkungen und hydrophobe Bindun-

gen beteiligt, die den charakteristischen Aufbau der Proteine bedingen. Die Quartärstruktur wird durch das Zusammensetzen mehrerer tertiärer Gruppen gebildet, wobei hier keine kovalenten Bindungen (z. B. Disulfidbrücken) gegeben sind.

Im Gerstenkorn sind folgende Proteinfractionen vorhanden: Albumine (in destilliertem Wasser löslich), Globuline (in verdünnten Salzlösungen löslich), Prolamine (in 50–90 %igem Alkohol löslich), Gluteline (alkalilöslich). Jede dieser Eiweißgruppen ist elektrophoretisch in jeweils 7–15 und mehr verschiedene Fraktionen zu unterteilen. Ihre Molekulargewichte betragen zwischen 10 000 und mehreren Millionen. Während Albumine und Globuline im stärkehaltigen Endosperm enthalten sind, stellen Prolamine und Gluteline vornehmlich Reserve-Eiweißstoffe dar.

Zu den Albuminen zählt auch das Protein Z, welches auch β -Amylase binden kann. Es ist sowohl für kolloidale Trübungen verantwortlich als auch für den Bierschaum. Sein Molekulargewicht liegt bei 40 000 Da. Ebenfalls zu den Albuminen gehören die Lipidtransferproteine LTP 1 und LTP 2. Sie werden wie Protein Z beim Mälzen und Brauen nur wenig verändert. Sie tragen zum Bierschaum, aber auch zu kolloidalen Trübungen bei. Weiterhin kommt ihnen auch eine mögliche Rolle beim spontanen Übersäumen („Gushing“) des Bieres zu.

Neben diesen Proteinen finden sich im Gerstenkorn noch Proteide (zusammengesetzte Eiweißkörper) und in geringen Mengen auch noch Stickstoffverbindungen von mittlerem oder niederem Molekulargewicht. Sie wurden entweder während der Reife nicht vollständig zu genuinem Eiweiß, sondern nur zu Zwischenstufen aufgebaut oder sind bei den physiologischen Abbauprozessen des lebenden Kornes bereits als Abbauprodukte höhermolekularer Eiweißstoffe entstanden.

Eine *Einteilung* der Proteine und ihrer Abbauprodukte erfolgt nach ihren verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften, ihrem Vorkommen, ihrer verschiedenen Angreifbarkeit durch Enzyme und ihren physiologischen Funktionen.

Die Eiweißkörper sind Kolloide; sie diffundieren aufgrund ihrer Größe nicht durch Membranen. Sie sind hydratisiert und erweisen sich wie die sie aufbauenden Aminosäuren als amphoter. Je nach dem herrschenden pH sind negative oder positive Überschussladungen vorhanden; am isoelektrischen Punkt ist das Protein elektroneutral. Durch Änderung der Milieubedingungen z. B. durch Erhitzen, durch Zusatz entquellender Reagenzien und durch Annäherung an den isoelektrischen Punkt denaturiert das Protein. Unter Denaturierung ist ei-

ne Strukturveränderung des Proteins zu verstehen, bei der die biologischen Eigenschaften (z. B. Enzymwirkung) verloren gehen. Sie kann je nach der sich ausbildenden Konformation reversibel oder irreversibel sein. Durch Auffalten von Peptidketten von kovalenten Bindungen (z. B. Disulfidbrücken) kann diese Denaturierung irreversibel sein. Durch Bewegung oder Anreicherung der denaturierten Teilchen an Grenzflächen (z. B. Gas/Flüssigkeit) lagern sie sich zu makroskopischen Flocken zusammen („Bruch“). Dieser Vorgang wird als Koagulation bezeichnet.

Bei der Keimung werden die hochmolekularen Eiweißstoffe durch proteolytische Enzyme zu einfacheren Verbindungen, z. B. bis zu den Aminosäuren, gespalten. Dieser Eiweißabbau beim Mälzen wird beim Maischen weitergeführt.

1.1.2.9 Die *Enzyme* sind komplexe organische Stoffe, die für alle Lebensprozesse und damit auch für die Keimung der Gerste von größter Wichtigkeit sind. Sie haben die Fähigkeit, hochmolekulare organische Substanzen abzubauen, ohne dass sie selbst hierbei verbraucht werden. Die meisten Enzyme bestehen aus einem Proteinanteil (Apoenzym) und einer nicht eiweißartigen Komponente (prothetische Gruppe bzw. Coenzym). Das Apoenzym bestimmt die Substratspezifität, während die prothetische Gruppe oder das Co-Enzym den reaktiven Bereich darstellt. Einfach gebaute Enzyme wie die Hydrolasen bestehen lediglich aus Protein. Bei ihnen wird der reaktive Bereich von funktionellen Gruppen verschiedener Aminosäuren gebildet, die noch durch eine bestimmte sterische Anordnung im gesamten Enzymkomplex ausgezeichnet sein muss, wenn das Enzym seine spezifische Wirkung auf ein ganz bestimmtes Substrat entfalten soll. Das Enzym vereinigt sich mit dem abzubauenen Komplex; durch Elektronenaustausch zerfällt die Verbindung in das Spaltprodukt und in das unveränderte Enzym, das wieder in den Prozess eingreift und seine Reaktion fortsetzt. Die Wirkung der Enzyme ist weitgehend von Umwelteinflüssen abhängig, am wichtigsten sind hierbei Temperatur und Reaktion des Substrates. Sie werden durch Aktivatoren gefördert und durch Inhibitoren gehemmt.

Die Enzyme üben nur innerhalb bestimmter *Temperaturbereiche* ihre Wirksamkeit aus. Für jedes Enzym gibt es eine bestimmte, charakteristische Temperatur, bei der es die günstigsten Bedingungen für die Umsetzungen hat (Optimaltemperatur). Bei höheren Temperaturen verliert das Enzym zunehmend an Wirksamkeit. Die meisten Enzyme ertragen nur Temperaturen von 60–80 °C.

Die *Reaktion des Substrates*, sein pH, beeinflusst die Dissoziation der Fermente sowie deren Hydratation. Jedes Enzym hat eine bestimmte günstige Acidität, einen optimalen pH, bei dem seine Tätigkeit einen Höchstwert erreicht. Der optimale pH verschiebt sich mit Änderung der Temperatur, hier sind die Enzyme meist auch am hitzebeständigsten.

Der Reaktionsablauf wird durch die Konzentration der Enzyme und durch die Konzentration des Substrates beeinflusst.

Eine *hemmende Wirkung* üben Schwermetalle wie Kupfer, Zinn, Oxidationsmittel, kolloidändernde Stoffe u. a. auf die Enzymwirkung aus. Alkohol, Ether, Formaldehyd wirken in höherer Konzentration schädigend, besonders bei hohen Temperaturen. *Aktivatoren* können Säuren, Neutralsalze, Kolloide und andere Stoffe sein, die sich entweder mit dem Ferment verbinden und es so aktivieren, oder die es von anhaftenden Hemmkörpern (Inhibitoren), z. B. Eiweiß, befreien.

Eine Reihe von Enzymen treten in löslicher Form auf (Lyo-Enzyme), andere werden erst im Laufe eines Abbauprozesses aus ihrer protoplasmatischen Bindung befreit und dann wirksam (Desmo-Enzyme).

Die Menge der ursprünglich im Gerstenkorn vorhandenen, aktiven Enzyme ist gering. Ursache ihrer Bildung und Vermehrung während der Keimung ist das Nahrungsbedürfnis des Keimlings nach dem Verbrauch der ihm zur Verfügung stehenden präexistierend löslichen Nährstoffe des Mehlkörpers. Vorhandene, noch unwirksame Enzyme werden aktiviert (z. B. die β -Amylase und einige Proteinasen durch SH-Gruppen); die Hauptmenge der Enzyme entsteht jedoch durch Sekretion einer gibberellinähnlichen Substanz, eines Wuchsstoffes, die in der Aleuronschicht die Entwicklung der zellstofflösenden Glucanasen, der α -Amylase, der Endo-Peptidase und der Säurephosphatase induziert.

Neben diesen hydrolytisch wirkenden Enzymen spielen auch Oxidasen wie Katalase, Peroxidasen, Polyphenoloxidasen und die Lipoxygenasen I und II sowie die Superoxidmutase eine Rolle. Sie liegen ebenfalls zum Teil im ruhenden Korn in einer aktiven Form vor oder werden bei der Keimung gebildet oder aktiviert.

Die Enzyme des Atmungskomplexes sind für den Ablauf der Stoffwechselvorgänge von Bedeutung.

Die Verteilung der Enzyme ist ungleich. Die größte Menge befindet sich im ruhenden Korn in der Nähe des Keimlings. Nachweis und Einteilung der Enzyme erfolgt nach ihrer Wirkung auf spezifische Substrate.

1.1.2.10 Zu den *anorganischen Bestandteilen* der Gerste rechnet man die Stoffe, die unverbrennbar sind und die Asche bilden. Ihre Gesamtmenge beträgt auf Trockensubstanz berechnet 2,4–3 %; sie setzt sich überwiegend aus Kaliumphosphaten (56 %) und Kieselsäure (als SiO_2 ca. 26 %) zusammen. Sie spielen als chemische Puffer während der Keimung und des Maischens, bei der Vergärung und im fertigen Bier eine wichtige Rolle für die Erhaltung der Acidität, die zum großen Teil auf die Wirkung der primären, sauren Phosphate zurückzuführen ist. Die anorganischen Bestandteile sind zur Ernährung des Keimlings und der Hefe nötig.

1.1.2.11 Der *Wassergehalt* der Gerste kann zwischen 12 und 20 % schwanken. Gersten aus warmen Gegenden mit geringen Niederschlagsmengen verzeichnen Wassergehalte von 12–14 %, während die Wassergehalte von Gersten aus Gegenden mit feuchtem Klima bei 16–18 %, ja selbst über 20 % liegen können. Der Wassergehalt hängt ab von der Witterung der einzelnen Jahrgänge, von der Erntemethode und der Behandlung der Gerste nach der Ernte. Ein hoher Wassergehalt ist wirtschaftlich nachteilig, da die Gerste dann weniger Trockensubstanz enthält. Feuchte Gerste ist nicht lagerfest, sie hat eine geringe Keimenergie, eine hohe Wasserempfindlichkeit und überwindet die Keimruhe nur langsam. Die Lagerung ungetrockneter Gersten ist schwierig. Diese neigen leicht zur Erwärmung, sind anfällig gegen Schimmelwachstum und leiden als Folge davon unter einer Verschlechterung des Geruchs, aber auch der Keimfähigkeit. Feuchte Gerste verlangt eine ständige Beobachtung ihrer Temperatur und ein häufiges Umlagern. Sie vermälzt sich schwerer und ungleichmäßiger und unter höheren Verlusten als trockene Gerste.

1.1.3 Die Eigenschaften der Gerste und ihre Beurteilung

Voraussetzung für eine einwandfreie Beurteilung der Braugerste ist die Ziehung einer wirklichen Durchschnittsprobe. Der Barthsche Probestecher erlaubt die Probenahme an verschiedenen Stellen eines Sackes oder Gerstenhaufens. Bei Anlieferung größerer Mengen lose verladener Gerste oder beim Umlagern von Getreide aus Silos finden mit Vorteil automatische Probenehmer Anwendung. Die Probe ist in dicht schließenden Gefäßen aufzubewahren (Wassergehalt!), jedoch für langfristige Lagerung nicht unter Luftabschluss.

1.1.3.1 Äußere Merkmale

- a) *Aussehen*: glänzend, lässt auf trockene Witterung während der Reife und Ernte schließen. Der Wassergehalt ist dann meist niedrig.
- b) *Farbe*: rein, hellgelb. Nicht ganz reife Körner sind grünlich, beregnete bzw. ausgewachsene Körner zeigen bräunliche oder braune Spitzen, Körner mit Organismenbefall sind grau oder sie zeigen rote bzw. schwarze Flecken. Häufig ist der Mehlkörper von Pilzmycelen durchwachsen. Sehr helle („weiße“) Gersten sind oft hart und glasis.
- c) *Geruch*: rein und strohartig. Beregnete, wasserreiche und schlecht gelagerte Gersten haben einen dumpfen oder schimmeligen Geruch.
- d) *Beschaffenheit der Spelze*: möglichst dünn und gekräuselt. Je spelzenärmer die Gerste (Spelzenanteil 7–9%), desto feiner und milder die Qualität. Feine Querkräuselung deutet auf hohen Extraktgehalt, wenig Eiweiß und geringen Wassergehalt hin. Ein hoher Spelzengehalt (11–13%) ist für helle Qualitätsbiere ungünstig. Wintergersten haben meist um 0,5–1% mehr Spelzen als vergleichbare Sommergersten. Mehrzeilige Gersten enthalten oft noch höhere Spelzenanteile.
- e) *Reinheit*: Die Gerste soll frei sein von fremden Getreidearten, Unkrautsamen, pflanzlichen und tierischen Schädlingen, verletzten Körnern und Auswuchs. *Auswuchs* (Körner die bereits auf dem Feld zu keimen begannen) ist an den eingetrockneten Resten der Wurzelkeime zu erkennen („offener Auswuchs“). Nachdem diese aber oft beim Transport des Gutes abgerieben werden, ist die Gerste auf „verdeckten Auswuchs“, d. h. ein Wachstum des Blattkeims zu prüfen. Dieser lässt sich visuell, evtl. durch Weichen in kochendem Wasser, durch Kupfersulfat oder durch Bestimmung z. B. der Lipaseaktivität nachweisen. Diese Körner haben meist ihre Keimfähigkeit verloren, oder es kommt zu einem übermäßigen Wachstum des Blattkeims. Verschiedentlich sind die Körner auch schon zerreiblich. Bei der Weiche kann das Wasser ungehindert ins Korn eindringen; es kommt bei der Keimung zu einem abnormalen Stoffwechsel (Geruch!) und verstärkter Schimmelbildung (Neigung zum Übersäuern des Bieres). Gersten mit über 4% Auswuchs sind abzulehnen.

Aufgeplatzte Körner können bei Niederschlägen im Reife-Stadium auftreten. Sie sind in der Längsrichtung des Kornes aufgerissen, der Mehlkörper liegt frei und ist Mikroorganismenwachstum bei der Lagerung wie auch bei

Weiche und Keimung verstärkt ausgesetzt. Außerdem besteht die Gefahr einer übermäßigen Wasseraufnahme. Aus diesem Grund sind Gersten mit mehr als 3% dieser Körner abzulehnen.

Zu den „Kornanomalien“ zählt ferner seitlich ein unvollständiger Spelzenschluss, wenn die Deckspelze die Bauchspelze nicht mehr vollständig überlappt, der Mehlkörper selbst unverletzt ist. Weiterhin können Spelzenverletzungen, die nicht ursprünglich vom Entgrannen herrühren, gegeben sein. Zwiewuchs tritt ein, wenn infolge der Witterung die Bildung von „Nachschossern“ gegeben ist. Diese Körner sind nicht mehr vollständig entwickelt; sie reifen häufig nicht mehr vollständig und weisen deshalb eine mangelhafte Kornausbildung (Sortierung) auf. Infolge der kurzen „Vegetationszeit“ sind die Körner enzymarm.

Treten mehrere Beeinträchtigungen gleichzeitig auf, dann darf eine Qualitäts-Braugerste insgesamt nicht mehr als 5% „anormale“ Körner enthalten.

Schimmelpilzwachstum durch Fusarienarten ergibt eine Verfärbung der Kornoberfläche, doch können diese „Feldschimmel“ auch schon im Mehlkörper ein Mycel ausgebildet haben. Die Lagerschimmel wie Mucor-, Rhizopus- und Alternaria-Arten rufen einen schwarzen „Besatz“ hervor. Derart befallene Gersten riechen muffig. Sie können durch schlechte Lagerung (Wassergehalt, Temperatur) schon in ihrer Keimfähigkeit gelitten haben. Diese Befunde geben Anlass zu weiterführenden Untersuchungen, z. B. Ermittlung der „relevanten“ roten Körner (aus den Fusarien-Arten, maximal 5 Körner pro 200 g bzw. 1%) und letztlich den „Gushingtest“ (s. Abschn. 1.9.1.4 und 7.6.8).

Weiterhin ist bei einem Befall mit tierischen Schädlingen, wie z. B. Kornkäfern, die Gerste unbedingt zurückzuweisen.

- f) *Einheitlichkeit*: Das Mischen von Gersten verschiedener Sorten, Provenienzen und Jahrgänge ist einer gleichmäßigen Vermälzung abträglich. Ebenso ist das Mischen von Gersten unterschiedlichen Eiweißgehaltes sowie von getrockneter und ungetrockneter Ware unzulässig. Die Reinheit der Sorte lässt sich anhand morphologischer Merkmale (Kornbasis, Basalborste, Schüppchen, Bezeichnung der Rückennerven) erkennen, die letzteren Faktoren sind zu einem gewissen Maße nachweisbar durch Feststellung des Quellvermögens, der Härte und der Wasserempfindlichkeit. Eine elektrophoretische Auftrennung der Prola-

minfraktion gibt eine gute Aussage über die Sorte.

1.1.3.2 Mechanische Untersuchung

- a) *Größe und Gleichmäßigkeit der Körner:* Je vollbauchiger eine Gerste, umso höher ist ihr Stärke- und Extraktgehalt und damit ihr Brauwert. Ein hoher Wassergehalt der Gerste kann oft eine gewisse Vollbauchigkeit vortäuschen. Die Größe und Gleichmäßigkeit einer Gerste wird durch einen Sortierversuch mit drei Sieben von 2,8, 2,5 und 2,2 mm Schlitzweite bestimmt. Dabei zeigen gleichmäßige Gersten auf den ersten beiden Sieben einen Anteil von mindestens 85 %. Je höher der Gehalt an Körnern über 2,8 mm, umso extraktreicher ist das aus dieser Gerste hergestellte Malz.
- b) *Beschaffenheit des Mehlkörpers:* Der Mehlkörper kann mehlig sowie mehr oder weniger glasig sein. Durch kurzes Weichen der Gerste in Wasser und darauffolgendes vorsichtiges Trocknen derselben kann festgestellt werden, ob die Glasigkeit eine dauernde oder nur eine vorübergehende ist. Die Beschaffenheit des Mehlkörpers wird durch Kornprüfer oder Getreideschneider (Farinatome) ermittelt. Auch das Mürbimeter nach Chapon kann zur Ermittlung der Mehligkeit einer Gerste herangezogen werden. Die Einteilung in Härtekategorien erlaubt eine Darstellung der Homogenität einer Gerstenprobe. Das Diaphanoskop ermöglicht es mittels Durchleuchten der Körner einen direkten Einblick in die Beschaffenheit des Mehlkörpers zu gewinnen. Glasige Körner sind für Lichtstrahlen durchlässig, mehligke Körner erscheinen dunkel. Ein weißer, mehligke Mehlkörper wird einem glasigen, speckigen vorgezogen. Sehr trockene, heiße Witterung bei der Reife und Ernte der Gerste sowie mangelhafte Bodenbeschaffenheit sind oft die Ursachen der Glasigkeit.
- c) Das *Hektolitergewicht* einer Gerste kann zwischen 66–75 kg schwanken. Es beträgt bei Braugerste 68–72 kg, selten mehr. Schwere Gersten werden bevorzugt.
- d) Das *Tausendkorngewicht* lufttrockener Gersten liegt zwischen 35 und 48 g, jenes der wasserfreien Gersten zwischen 30 und 42 g. Lufttrockene Gersten mit 37–40 g gelten als leicht, solche mit 40–44 g als mittelschwer, von 45 g ab als schwer. Die schweren werden bevorzugt.
- e) *Keimfähigkeit:* Ihre Bestimmung mithilfe chemischer Methoden (z. B. unter Verwendung

von Wasserstoffsuperoxid, Dinitrobenzol oder Tetrazolium) ergibt die Anzahl der lebensfähigen Körner überhaupt. Diese darf nicht unter 96 % liegen. Die Keimfähigkeit ist die wichtigste Eigenschaft der Braugerste. Nicht keimende Körner, sog. „Ausbleiber“, werden niemals Malz. Sie bleiben Rohfrucht.

- f) *Keimenergie:* Sie gibt an, wie viele Körner innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes, z. B. nach 3 oder 5 Tagen, wirklich keimen. Als Maßstab der Keimreife einer Gerste sollte sie der Keimfähigkeit möglichst nahekommen.
- g) *Keimindex:* Er gibt einen Überblick über die Gleichmäßigkeit der Keimung. Er wird üblicherweise für die Zeit der Keimfähigkeitsbestimmung (5 Tage) in Petrischalen mit 100 Körnern und 4 ml Wasser durchgeführt. Die keimenden Körner werden jeweils nach 24, 48, 72 h usw. ausgezählt und entfernt. Bei einer gleichmäßigen Keimung ergibt sich ein Keimungsindex von etwa 8, eine schlecht und ungleichmäßig keimende Gerste kommt auf ca. 5.
- h) *Wasserempfindlichkeit:* Anhand des Pollock-Tests (Weichversuch von je 100 Körnern mit 4 und 8 ml Wasser) ermittelt, gibt sie Aufschluss über die Empfindlichkeit einer Gerste gegenüber einer zu reichlichen Wasserzufuhr bei der Weiche. Sie hängt im Wesentlichen vom jeweiligen Stadium der Keimreife und damit auch von den Witterungsbedingungen während der Reife und Ernte der Gerste ab. Die Differenz zwischen den in der 4-ml-Probe und in der 8-ml-Probe nach 120 h keimenden Körnern erfährt folgende Bewertung: bis 10 % sehr wenig, 10–25 % wenig, 26–45 % befriedigend, über 45 % sehr wasserempfindlich. Es hat dieses Ergebnis aber nur dann Aussagekraft, wenn die maximale Keimenergie erreicht ist.
- i) *Quellvermögen* nach Hartong-Kretschmer: Diese Methode hat die Wasseraufnahmefähigkeit einer Gerste zum Gegenstand, die nach einem bestimmten Weichschema nach 72 h ermittelt wird. Das Quellvermögen wird hauptsächlich beeinflusst vom Nachreifegrad, von Sorte und Anbauort einer Gerste. Es ist über 50 % sehr gut, bei 47,5–50 % gut, 45–47,5 % befriedigend und unter 45 % unzulänglich.

1.1.3.3 Chemische Untersuchung der Gerste

- a) *Wassergehalt:* Er liegt normal bei 15–16 %, in trockenen Jahrgängen bei 13–14 %, in nassen bei 16–20 %. Die Bestimmung des Wassergehaltes bildet bei allen chemischen Untersuchungen

die Grundlage für die Errechnung der Trockensubstanz.

- b) Der *Eiweißgehalt* der Gerstentrockensubstanz beträgt zwischen 8 und 13,5%, normal zwischen 9 und 11,5%. Hoher Eiweißgehalt verringert die Extraktausbeute des Malzes und erschwert die Verarbeitung und Auflösung. Für helle Biere sind eiweißarme Gersten zur Malzherstellung erwünscht, dunkle Biere dagegen verlangen eiweißreichere Gersten.
- c) Der *Stärkegehalt* schwankt zwischen 58 und 66% der Trockensubstanz.
- d) Der *Extraktgehalt* stellt die Summe aller mithilfe eines Enzymzusatzes wasserlöslichen Bestandteile dar. Er liegt bei 72–80% in der Trockensubstanz und somit im Durchschnitt um 14,75% höher als der Stärkegehalt. Er gibt einen ungefähren Hinweis auf die Höhe des späteren Malzextraktes, erreicht jedoch dessen Niveau nicht. Aus diesem Grunde wird die Kleinmälzung einer Gerste mehr und mehr zur Ermittlung des Malzextraktes herangezogen. Einen gewissen Anhaltspunkt vermag auch die Bishop-Formel zu liefern:

$$E = A - 0,85P + 0,15G$$

(A = Konstante, P = Eiweißgehalt a. Tr. S., G = Tausendkorngewicht a. Tr. S.)

Die Möglichkeit einer Abschätzung des Extraktgehaltes bietet die Nah-Infrarot-Transmissions-Spektroskopie (NIT), speziell für die Untersuchung noch kleiner Probemengen in frühen Zuchtungsstadien. Für den Einsatz in der Routine-Analytik ist eine Kalibrierung an nasschemischen Methoden erforderlich. Zuverlässige Werte liefert die Kleinmälzung (s. Abschn. 1.9.5).

1.2 Die Vorbereitung der Gerste zur Vermälzung

(Anlieferung, Transport, Reinigung, Sortieren und Lagern der Gerste)

1.2.1 Die Anlieferung der Gerste

Sie soll an einer gedeckten, zugfreien Rampe stattfinden. Der Transport erfolgt überwiegend in loser Form. Um ein rasches Entladen der Fahrzeuge zu ermöglichen, ist die Anordnung von geräumigen Gerstenbunkern notwendig, die mindestens den Inhalt einer Transporteinheit aufnehmen können (1–8 Bunker zu je 10–25 t Gerste).

Die Kontrolle des Gewichts der angelieferten Gerste ist unerlässlich. Sie erfolgt entweder durch eine Brückenwaage oder durch eine in den Transportweg eingebaute automatische Waage.

Das Ziehen einer zuverlässigen Durchschnittsprobe mithilfe eines Probenheimers zur Prüfung auf Mustertreue ist empfehlenswert. Die sofortige Bestimmung des Wassergehaltes, der Keimfähigkeit und eventuell des Eiweißgehaltes mithilfe von Schnellmethoden (NIT) kann entscheiden, ob eine Partie abgeladen wird oder nicht.

1.2.2 Transportanlagen

Sie dienen in der Mälzerei der Förderung von Gerste, Grünmalz und Darrmalz. Bei dem heute ausschließlich gegebenen losen Transport der Gerste ist zwischen mechanischen und pneumatischen Förderanlagen zu unterscheiden.

Bei den *mechanischen* Anlagen wird der horizontale und vertikale Transport von jeweils verschiedenen Einrichtungen getätigt.

Dem *horizontalen Transport* dienen: Förderschnecken, Trogkettenförderer, Förderbänder, seltener Förderrohre, Kratzer und Förderrinnen.

Die *vertikale Beförderung* der losen Gerste erfolgt fast ausschließlich durch Becherwerke.

Eine Kombination der verschiedenen Förderanlagen ermöglicht eine beliebige Bewegung der Gerste innerhalb des Betriebes ohne menschliche Arbeitskraft. Die Leistung der mechanischen Einrichtungen ist hoch (bis 100 t/h), der Kraftverbrauch ist im Allgemeinen niedrig, vor allem bei einer Kombination von Trogkettenförderern und Becherwerken. Das Fördergut wird geschont.

Beim *pneumatischen Transport* wird das Fördergut durch Saug- und Druckluft in engen Röhren fortbewegt; der dazu notwendige Luftstrom wird entweder durch Radialventilatoren, durch Kapselgebläse oder durch Kolbenpumpen erzeugt.

Saugluft dient der Förderung des Gutes von verschiedenen Punkten nach einer Zentralstelle. Druckluft findet im umgekehrten Falle Anwendung. Eine Kombination beider Systeme eröffnet sämtliche Möglichkeiten. Der Kraftaufwand der pneumatischen Förderung beträgt das 10–12-fache der mechanischen Anlagen. Bei hohen Luftgeschwindigkeiten und der Anordnung von scharfen Krümmern besteht die Gefahr einer Beschädigung der Gerste.

1.2.3 Das Putzen und Sortieren der Gerste

Die angelieferte Gerste ist „Rohgerste“, aber noch keine „Malzgerste“. Sie muss von den unvermälz-

baren Beimengungen befreit und nach ihrer Korngröße sortiert werden. Die kurzzeitige Anlieferung großer Gerstenmengen in der Mälzerei macht eine Aufteilung in eine grobe Vorreinigung und in die eigentliche Hauptreinigung und Sortierung erforderlich. Bei Silolagerung ist eine Vorreinigung der Gerste bei der Anlieferung unerlässlich.

Diese *Gerstenputzerei* soll wegen des durch die Putzbewegung entstehenden Gerstenstaubes in abgeschlossenen Räumen aufgestellt werden. Die Leistung der Vorreinigung muss – ebenso wie die des Annahmetransportes – auf die täglich angelieferten Gerstenmengen abgestimmt sein, während als Grundlage der Leistung der Hauptreinigung die Quantität der an einem Tag bzw. über das Wochenende einzuweichenden Gerste dient.

Der *Reinigungsapparat* besteht aus mehreren Teilen, von denen jeder nur eine bestimmte Art von Verunreinigung herausnimmt. In kleineren Betrieben werden alle Arbeitsvorgänge in eine Maschine gelegt, in größeren jeder Einzelapparat gesondert aufgestellt. Die Putzerei erstreckt sich dann über mehrere Stockwerke.

Gewöhnlich findet man folgende Apparate:

1.2.3.1 Eine *Vorreinigungsmaschine* zur groben Vorreinigung und Vorsortierung (Aspirateur). Sie besteht aus einem ein- oder zweifachen Siebwerk mit Schlitzweiten von $5,0 \times 25$ und $1,5 \times 25$ mm, das durch einen Exzenter ständig in Bewegung gehalten wird, und aus einem Exhaustor mit Saugkammern. Moderne Anlagen sind Schwingsieb-Vorreiniger, die durch eine Vibration hoher Frequenz eine große Siebleistung erzielen. Die Entfernung des Besatzes wird im Luftstrom eines Steigsichters bewirkt. Dieser beträgt bei einem Steigsichter von 10 t/h rund $45 \text{ m}^3/\text{min}$.

Die gleiche Aufgabe erfüllen auch *Strömungsreiniger*. Die in einem Schacht nach unten fallende Gerste wird von einem starken Luftstrom quer beaufschlagt, der über Leitbleche eine bestimmte Strömungsrichtung erhält. Je nach ihrem Gewicht werden schwere Verunreinigungen, Gerstenkörner sowie Spelzen und Stroh in unterschiedlichem Maße abgelenkt und so getrennt. Ein sich ausbildendes Grenzgemenge wird wieder in den Reiniger zurückgeführt. Die gereinigte Luft wird wieder zum Sichten verwendet, die Anlage arbeitet so mit 95 % Umluft.

1.2.3.2 Einen *Entgranner*, eine Trommel mit Schlägern oder stumpfen Messern, welche die Grannen abschlagen und außerdem anhaftenden Schmutz lösen. Bei sehr trockenen und leicht zu beschädigenden Gersten soll der Entgranner aus-

schaltbar sein; von Vorteil ist eine regulierbare Tourenzahl.

1.2.3.3 Einen leistungsfähigen Magnetapparat, meist ein als drehbare Trommel ausgebildeter Elektromagnet, der alle Eisenteile herauszunehmen hat.

1.2.3.4 Ein *Steinausleser*, der Steine von der Größe der Gerstenkörner entfernt: Das Gut gelangt schleierartig auf die gesamte Breite eines schräg angeordneten Siebes. Dieses wird mit Luft durchströmt, die den Gerstenstrom in einem Schwebestand hält. Spezifisch schwerere Teile wie Steine, aber auch Metalle legen sich auf das Sieb und wandern, bedingt durch die Siebbewegung nach oben und werden aus der Maschine abgeführt. Der Luftbedarf einer Maschine von 10 t/h beträgt $150 \text{ m}^3/\text{min}$.

1.2.3.5 Einen *Trieur* zur Herausnahme aller Verunreinigungen von kugelförmiger Gestalt, namentlich Samen und Halbkörnern. In den aus einer speziell ausgewalzten Stahlblechlegierung bestehenden Trieurmantel sind Zellen von 6,5 mm Durchmesser eingepresst, in die sich während der Drehung des Zylinders die kugelförmigen Gebilde einlagern und dort solange festgehalten werden, bis die Zelle nahe dem Scheitelpunkt steht. Dort fallen sie aus den Zellen heraus, werden in einer Mulde im Innern des Trieurzylinders aufgefangen und von dort mittels einer Transportschnecke abgeleitet. Die Umfangsgeschwindigkeit von 0,55 m/s ist so bemessen, dass die Schwerkraft die Zentrifugalkraft noch so weit überwiegt, dass die von den Zellen aufgenommenen Sämereien und Halbkörner noch mit Sicherheit in die Auffangmulde fallen.

Der modernere „Ultra-Trieur“ liegt waagrecht. Der gleichmäßige Transport des Gutes erfolgt durch eine Schlagwalze, der auch die Aufgabe zukommt, den Getreidestrom besser auf die Zylinderoberfläche zu verteilen, um so die Ausleseleistung zu verbessern. Hierdurch wird auch die Ausbildung einer, in sich kreisenden „Getreideniere“ verhindert.

Eine gleichmäßig gute Auslesearbeit des Trieurs wird gewährleistet durch eine *scharfkantige Ausbildung der geprägten Taschen*, die sich aber durch den Kieselsäuregehalt der Spelzen abnützen. Der *Antrieb des Trieurs* soll ruhig und gleichmäßig, nicht ruckartig sein. Er erfolgt am besten durch Stirn- und Kegelräder. Die *Größe der wirksamen Auslesefläche* ist verhältnismäßig gering; sie wird durch die hohe Umfangsgeschwindigkeit und die oben erwähnten Schlagwalzen gesteigert. Die *richtige Einstellung der Auffangmulde* ist für eine ein-

wandfreie Arbeit des Trieurs Voraussetzung. Bei leichter Gerste muss sie höher gestellt werden, da die intakten Körner lange in den Zellen verbleiben. Umgekehrt ist bei schweren Gersten eine tiefere Einstellung der Mulde erforderlich. Auch der *Zustand des Auslesegutes* hat Bedeutung: Je geringer der Reinheitsgrad der Gerste ist, umso niedriger liegt die stündliche Leistung des Trieurs. In trockenen Jahren sind mehr Halbkörner in der Rohgerste enthalten, da wasserarme Körner beim Drusch leicht beschädigt werden. Auch Partien aus dickbauchigen, gedrungenen Gerstenkörnern sind schwer auszulesen. Die *Leistung* eines Trieurs ist nicht nur durch seine Konstruktion und seine Maße bestimmt, sondern auch durch den gleichmäßigen und ständigen Zulauf des Gutes. Am günstigsten ist die Beschickung über eine regulierbare Zuteil- oder Dosierungsvorrichtung. Leerlauf oder Überlastung der Anlage sind zu vermeiden.

Ein Hochleistungstrieur wird in seiner Arbeit durch einen ähnlich konstruierten, jedoch kleineren *Nachtrieur* ergänzt. Dieser hat die Aufgabe, den Abputz des Haupttrieurs nochmals auszulesen. Er gewinnt dadurch einwandfreie Gerste zurück. Der Durchmesser der Auslesezellen beträgt hier in der Regel 5,75 mm.

Die Leistung des Hochleistungstrieurs ist mit $800 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ h})$ etwa viermal größer als die des *älteren Trieurs*, dessen Zylinder aus Zinkblechen mit gefrästen Zellen bestanden. Seine Leistung war durch ein leichtes Gefälle (6–10 %) und durch die niedrige Umfangsgeschwindigkeit von $0,3 \text{ m/s}$ bestimmt.

Die *Kontrolle der Auslesearbeit* erstreckt sich darauf, ob einerseits in der Gerste noch Abfälle sind, zum anderen, ob der Abfall noch ganze Gerstenkörner enthält. Die Entfernung der Halbkörner und Sämereien erfolgt gewöhnlich vor dem Sortieren.

1.2.3.6 Eine *Entstaubungsanlage*, bestehend aus einem *Ventilator*, der durch die von ihm erzeugte Luftbewegung Staub und leichte Verunreinigungen aus der Gerste herausnimmt, und *Staubsammlern*, die den Staub, möglichst am Entstehungsort, abscheiden und entfernen. Eine Entstaubung ist wegen der Abnutzung der Maschinen, der Feuer-, Explosions- und Infektionsgefahr notwendig.

Die einfachsten Staubsammler sind *Staubkammern*. In diese abgeteilten Räume wird die verstaubte Luft eingeblasen, wodurch die Geschwindigkeit abnimmt und sich die Staubeile absetzen können, während die – allerdings nicht völlig – entstaubte Luft ins Freie strömt.

Der *Staubsammler „Zyklon“* ist ein oben zylindrisches, unten konisches Gefäß aus Stahlblech. Die zu entstaubende Luft tritt tangential ein, wird durch die Neigung des Deckels des Zyklons nach abwärts gerichtet. Die durch den tangentialen Eintritt kreisförmige Bewegung schleudert die Teilchen durch die Zentrifugalkraft nach außen, wo sie unter fortwährenden Schneckenwindungen abwärts gelangen und durch eine Öffnung, meist mit Schleuse, austreten können. Die entstaubte Luft steigt in der Mitte des „Zyklons“ senkrecht in die Höhe und entweicht. Eine Ergänzung seiner Trennleistung erfährt der Zyklon durch nachgeschaltete, in ähnlicher Weise arbeitende „Zentrifugone“, die, in Batterien angeordnet, eine Feinentstaubung der Luft ermöglichen.

Staubfilter bewirken ebenfalls eine Feinentstaubung der Luft, die hier durch Stoffschläuche gesaugt oder gedrückt wird. Diese Form gestattet die Unterbringung großer Filterflächen auf kleinem Raum. Man unterscheidet zwei verschiedene Systeme: *Druckschlauchfilter* lassen die Luft unter Druck von oben in die Schläuche eintreten, wobei der Staub an den Innenwänden der Schläuche zurückgehalten wird, die Luft dagegen in den Raum austritt. Die Filterfläche wird durch einen auf- und niedergehenden Rechen vom Staub befreit.

Bei den *Saugschlauchfiltern* wird die staubhaltige Luft durch ein System von Schläuchen in das dicht schließende Gehäuse gesaugt und von dort in gereinigtem Zustand der Saugseite des Ventilators zugeführt. Das Gewebe der in gleichgroßen Abteilungen angeordneten Schläuche hält die Staubeilchen zurück. Die Filterflächen werden durch eine automatische (mechanisch oder pneumatisch arbeitende) Vorrichtung vom anhaftenden Staub befreit. Saugschlauchfilter haben eine bessere Entstaubungsleistung als Druckschlauchfilter.

Es ist unerlässlich, nicht nur die Einzelapparate der Putzerei an die Entstaubung anzuschließen, sondern auch alle Transportanlagen, Silozellen und den Gerstentrockner. Ein staubfreier Betrieb ist nur auf diesem Wege möglich. Die Leistung der Entstaubungseinrichtungen muss daher auf diese Erfordernisse (zu reinigende Luftmengen, Zahl und Leistung der angeschlossenen Apparate) abgestimmt sein.

Der maximale Staubgehalt, der die Anlage verlassende Luft ist behördlich festgesetzt (T. A. Luft). Er darf 50 bzw. $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ in Wohngebieten nicht überschreiten. Während für ersteren Wert noch Zyklone genügen, sind für letzteren Gewebefilter erforderlich, die $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ zu erreichen gestatten.

Die Menge des anfallenden Staubes beträgt normalerweise etwa 0,02 %.

1.2.3.7 Die *Sortierung* der Gerste ist notwendig, um die Möglichkeit einer gleichmäßigen Weiche und Keimung zu schaffen und durch Auslesen aller schwachen Körner eine höhere Ausbeute zu erzielen. Das Sortieren erfolgt mithilfe von geschlitzten Blechen. Diese sind entweder zu Zylindern gebogen, die um ihre Achse drehbar sind (Sortierzylinder), oder flach übereinander angeordnet und durch eine zur senkrechten Antriebswelle exzentrische Masse in schwingende Bewegung versetzt (Plansichter).

Gerstenkörner, die größer sind als die betreffenden Schlitzweiten, bleiben auf den Sieben liegen, schwächere Körner fallen durch. Die Rohgerste wird gewöhnlich mithilfe von zwei verschiedenen Schlitzweiten in drei Korngrößen zerlegt. Sorte I beinhaltet die eigentliche Malzgerste, ihre Körner haben eine Stärke von über 2,5 mm. Sorte II weist eine Kornstärke von 2,2–2,5 mm auf. Der Abfall (unter 2,2 mm) enthält schwächere Körner, die des Vermälzens nicht mehr wert sind (Futtergerste).

Beim *Sortierzylinder* wird die Gerste in das Innere des Zylinders geleitet und dort sortiert. Für die *Sortierleistung* ist entscheidend:

Material, Herstellung und Blechstärke der Siebe. Die Schlitzweite von 25 mm Länge sind in den Stahlblechmantel eingestanzt. Mit zunehmender Blechstärke (normal 1,0 mm) wird die Auslese schärfer. Durch den Kieselsäuregehalt der Spelzen werden die Schlitzweite allmählich erweitert.

Die *Geschwindigkeit*, mit welcher der Gerstenstrom über die Sortierfläche gleitet, darf nicht zu groß sein. Sie wird bestimmt durch die Umfangsgeschwindigkeit (0,7 m/s) und durch die Anordnung der Kammerleisten, die die Vorwärtsbewegung des Gutes bewirken, gleichzeitig aber auch eine weitergehende Beaufschlagung der Siebe ermöglichen. Moderne Zylinder liegen waagrecht, während früher die Bewegung des Gerstenstromes durch die Neigung des Zylinders (6–10 %) bedingt war. Die Drehbewegung muss gleichförmig sein, weswegen der Antrieb über einen Zahn- bzw. Stirnradantrieb erfolgen soll.

Die *Leistung*. Sie ist abhängig von der Beschickung, die völlig gleichmäßig sein muss und nicht zu stark sein darf. Nur wenn der Gerstenstrom dünn ist, kommt jedes Korn auf die Sortierfläche. Pro Sorte können 380–400 kg/(m² h) angenommen werden.

Die wirksame Sortierfläche, die nur etwa 1/4 des Umfanges beträgt. Sie verringert sich durch Verlegung der Schlitzweite. Um dies zu verhindern, werden besondere Abstreifer, z. B. Holzwalzen oder Bürsten, angewendet, die sich auf dem drehenden Sor-

tierzylinder abrollen. Die Voraussetzung hierzu ist die kreisrunde Form der Siebe. Schon schwache Einbuchtungen beeinflussen die Leistung.

Der *Zustand der Gerste*: Wenig verunreinigte oder bereits vorsortierte Gerste lässt sich leichter sortieren als stark verunreinigte. Aus diesem Grunde sollen an den Reinheitsgrad und die Gleichmäßigkeit der angelieferten Gerste bestimmte Anforderungen gestellt werden.

Das manchmal stark wechselnde Verhältnis von I. zu II. Sorte gibt Anlass, von den normalen Schlitzweiten abzuweichen und andere brauchbare Abmessungen (z. B. 2,4 und 2,0–2,1 mm) zu wählen.

Der *Plansichter* stellt ein Zwillingssystem von übereinander angeordneten Flachsieben dar, die durch ein zur senkrechten Antriebswelle exzentrisches Gewicht in schwingende Bewegung versetzt werden. Die Verteilung des Gutes auf den Siebsätzen ist günstig; die Anordnung der Kreuzschlitzung bei der längs- und querlaufende Schlitzweite abwechseln, steigert die Ausleseleistung. Jeder Siebsatz besteht aus drei Sortierelementen, aus dem eigentlichen Siebblech mit Streuteller, einem gefederten Kugelsiebrahmen mit Gummikugeln zum Freihalten der Siebe und schließlich aus dem Sammelblech, von dem aus das Sichtgut durch seitlich angeordnete Kanäle auf weitere Siebeinheiten geleitet wird. Die Leistung des Plansichters ist höher, der Platzbedarf geringer als bei Sortierzylindern. Ein Apparat für 10 t/h benötigt ca. 3 kWh.

Eine neuere Konstruktion stellt ein Plansichter mit runden bzw. achteckigen Sieben dar. Er besteht aus 2 oder 4 um eine Mittelachse horizontal gelagerten Siebscheiben. Diese sind in jeweils 8 auswechselbare Siebsegmente unterteilt. Die Beschickung erfolgt über die Mittelsäule. Die Siebbewegung wird durch einen Exzenterantrieb mit einem horizontalen Hub von 80 mm in Kreisrichtung ausgeübt. Strahlenförmig angeordnete Prallleisten sorgen für eine zickzackartige Ablenkung der Körner, die neben einer Umschichtung des Gutes eine intensivere Bearbeitung ermöglicht. Umlaufende, federnd gelagerte Bürsten verhindern ein Verlegen der Siebe. Da die Bewegung der Siebscheiben gegenläufig zueinander ist, erfolgt ein Massenausgleich, der einen ruhigen Lauf der Maschine ermöglicht.

Die Leistung beträgt bis zu 12 t/h pro Einheit. Sie kann durch Zusammenbau mehrerer Maschinen übereinander entsprechend gesteigert werden. Der Kraftbedarf einer 12-t-Einheit beträgt 2 kWh.

Eine neue Konstruktion für eine Leistung bis zu 85 t/h pro Aggregat weist ein anderes Konzept

auf: Nach einer Einlauf-Aspiration und einem Vorseib zur Entfernung wird das Sortiergut auf 10 Hauptsiebe geleitet, die leicht geneigt sind. Sie werden von einem Exzenter bewegt. Das sortierte Gut wird beim Ablauf einem regulierbaren Luftstrom im Steigsichter ausgesetzt und hier nochmals von Staub und Feinteilen getrennt. Die Anlage ist in zwei Ausführungen verfügbar: Für 2-Sortenbetrieb und 3-Sortenbetrieb. Im ersteren Falle werden 1. Sorte und 2. Sorte zusammen abgeführt, im Letzteren dagegen 1. und 2. Sorte getrennt, allerdings mit einer um ca. 30 % niedrigeren Leistung. Diese ist generell von der Sortieraufgabe abhängig, d. h. vom Vollgerstenanteil der Rohware und von der Sortierschärfe. Das Gerät leistet bei z. B. 44 m² Siebfläche im 2-Sortenbetrieb je nach Sortierschärfe 40–85 t/h, bei 3-Sortenbetrieb und 40 m² Siebfläche 32–60 t/h. Die Anschlusswerte für den Aspirateur betragen 0,75 kW, für den Siebantrieb jeweils 3,0 kW.

Die *Menge des Ausputzes* liegt in normalen Jahren bei 0,5 bis 1,0 %, unter ungünstigen Bedingungen bei 4 %, in niederschlagsreichen Jahren bis zu 10 %. Der Anteil der II. Sorte schwankt ebenfalls mit den Witterungsbedingungen. Er liegt im Durchschnitt bei 10–15 %.

Die Kontrolle der Sortierarbeit erfolgt im Laboratorium mithilfe geprüfter Messingsiebe (100 g Gerste 5 min lang bei einem Hub von 18–22 mm und 300–320 Touren/min schütteln).

Die Gerstenputzerei bedarf laufender Überwachung und Pflege.

1.2.4 Die Lagerung und Aufbewahrung der Gerste

Der Mälzer muss aus wirtschaftlichen und technologischen Gründen für eine einwandfreie und sachgemäße Lagerung der Gerste Sorge tragen. Hierbei sind zu unterscheiden:

1. Die Lagerung frisch geernteter Gerste bis zur Überwindung der Keimruhe.
2. Die Lagerung mälzungsreifer, bereits vermälzbarer Gerste bis zu ihrer Verarbeitung.

Frisch geerntete Gerste keimt fast immer schlecht. Ihre für die Vermälzung notwendige höchste Keimenergie gewinnt sie erst im Laufe einer sachgemäßen Lagerung. Die Keimruhe ist ein Selbstschutz der Natur gegen ein Auskeimen der Körner am Halm bei ungünstigen Witterungsbedingungen während der Reife und Ernte.

Während der Reifezeit am Halm werden die niedermolekularen Substanzen zu hochmolekularen Reservestoffen aufgebaut. Die meisten Enzyme wei-

sen im Stadium der Vollreife oder Totreife nur geringe Aktivitäten auf. Dies lässt sich durch eine Abnahme der Gibberellinsäuren, die die Enzyminduktion auslösen können, im Stadium der Reife erklären. Die wachstumhemmenden Dormine häufen sich an. Hierdurch wird die Enzyymbildung blockiert. Erst wenn im Laufe der Nachreife oder durch entsprechende Behandlung der Gerste die Dormine abnehmen und die Gibberelline sich vermehren, kann die Keimung unter den bekannten Voraussetzungen ablaufen (s. Abschn. 1.4.1).

Eine bedeutsame Rolle spielt auch die Frucht- und Samenschale, die im Stadium der Keimruhe den Zutritt von Sauerstoff zum Keimling inhibiert.

Die Vorgänge der Nachreife sind äußerlich mit einer Verminderung des Wassergehaltes der Gerste und durch CO₂-Abscheidung verbunden. Dabei werden im Korninnern Gerüststoffe enzymatisch abgebaut und in lösliche Substanzen übergeführt, die vom Keimling verwertbar sind. Durch Herauslösen der Gerüststoffe entstehen feine Hohlräume, die das Wasseraufsaugvermögen (Quellvermögen) des Gerstenkorns beeinflussen.

Die Dauer der Keimruhe kann wenige Wochen bis zu einigen Monaten währen. Sie hängt ab von den Witterungsbedingungen während der Reife und Ernte, wobei aber auch die Sorte eine Rolle spielen kann. Die Keimruhe lässt sich in zwei Phänomene unterteilen, die wahrscheinlich Etappen ein- und desselben Prozesses sind: Fundamentalkeimruhe und Wasserempfindlichkeit.

Während der *Fundamentalkeimruhe* besteht für den Keimling trotz optimaler Bedingungen (Sauerstoffversorgung, Temperatur und Feuchte) eine absolute Unmöglichkeit zu keimen. Sie kann aufgehoben werden durch Weichen der Gerste in 0,05 %iger Schwefelwasserstofflösung oder in Lösungen verschiedener Reduktionsmittel. Auch Erhitzen der Gerste oder Zusatz von Wuchsstoffen, wie Gibberellinsäure oder Kinetin, können die Fundamentalkeimruhe eliminieren. In Deutschland sind nur physikalische Methoden zum Brechen der Keimruhe möglich: Erwärmen oder ein Anschleifen der Spelzen (s. Abschn. 1.5.3.9).

Die *Wasserempfindlichkeit* bedingt eine starke Sensibilität des Keimlings gegen eine zu starke Wasseraufnahme. Der Vorgang, der die Keimung auslöst, dauert bei diesen Gersten zu lange und hört infolge einer starken Inhibition des Keimlings durch das Wasser ganz auf. Die Wasserempfindlichkeit wird durch Weichen in Wasserstoffperoxidlösungen, durch lange Trockenperioden während des Weichprozesses oder durch Abschleifen der Gerstenpelze verringert; durch Erwärmen können nur dann Verbesserungen erzielt werden, wenn

gleichzeitig eine Trocknung der Gerste erreicht wird.

Während einer sachgemäßen Lagerung der Gerste gleicht sich die Keimenergie der absoluten Keimfähigkeit mehr und mehr an, wobei auch Vorsorge zu treffen ist, dass die Letztere auf dem ursprünglichen Niveau von über 96 % verbleibt. Die Wasserempfindlichkeit ist meist am Ende der Keimruhe am höchsten; sie kommt erst nach Erreichen der maximalen Keimenergie zum Abklingen.

Nach der *wertsteigernden* Lagerung zur Erlangung der Nachreife muss die Gerste bis zu ihrer Verarbeitung *werterhaltend* aufbewahrt werden. Auch das keimreife Korn ist keine tote Materie, die beliebig gelagert werden kann, sondern ein lebender, pflanzlicher Organismus, dessen Atmungsprodukte Wasserdampf und Wärme die Atmung selbst immer wieder anregen und verstärken. Das entstehende Kohlendioxid stellt ein Atmungs-gift dar.

Maßgebend für die Stärke der Atmung sind Wassergehalt und Temperatur der Gerste. Während eine Erhöhung der Temperatur um 12 °C nur eine 5-fache Steigerung der Atmung zur Folge hat, bewirkt ein um 2–3 % höherer Wassergehalt einen 80-mal höheren Stoffumsatz. Als Grenzwert des Feuchtigkeitsgehaltes, bei dem die Lagerung noch ohne nennenswerte Verluste oder Veränderungen des Korninhaltes vor sich geht, kann ein Wassergehalt von 14–15 % gelten. Die Grenztemperatur liegt bei etwa 15 °C, über 18 °C besteht die Gefahr einer starken Entwicklung von Mikroorganismen wie Schimmelpilzen und Bakterien, die zu einem Muffigwerden des Getreides führt. Während bei niedrigen Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten die Atmungstätigkeit der Gerste und damit die Substanzverluste gering sind, ändert sich mit deren Steigerung die innere Beschaffenheit des Gutes in ungünstiger Weise: die Enzyme entwickeln eine abbauende Tätigkeit, das Korn reichert sich mit löslichen Abbauprodukten an und verliert an Festigkeit, weil es wärmer und feuchter wird. Außerdem steigt die Konzentration des gebildeten CO₂ bei ungenügender Lüftung immer mehr an, die Atmung des Kornes geht mehr und mehr in einen anaeroben Stoffwechsel, eine Gärung über. Hierdurch leiden die Keimeigenschaften der Gerste erheblich.

Es ist daher unter den heutigen Erntegegebenheiten mittels Mähdrusch von entscheidender Bedeutung, Gerste mit höheren Wassergehalten als 15 % frühestmöglich zu trocknen, nachdem es gerade in Kontinentaleuropa schwierig ist, die erforderlichen niedrigen Temperaturen vor Oktober/November zu erreichen. In der Regel ist eine natürliche Kaltlagerung zwischen November und März möglich.

Im Frühjahr ist es dann ratsam, die kalte Gerste nicht mehr zu bewegen, um eine Erwärmung des Gutes zu vermeiden. Die Gerste muss vor der Einlagerung mindestens vorgereinigt werden, da Unkrautsamen meist noch feuchter sind als Gerste und so deren Trocknung erschweren. Gerstenstaub begünstigt Organismenwachstum.

1.2.4.1 *Die künstliche Kühlung* der Gerste kann notwendig werden, wenn die vorhandene Trocknerkapazität nicht ausreicht, um die Gerste kurz nach der Ernte zu trocknen. Die maximale „keimschadensfreie“ Lagerzeit beträgt aber z. B. bei 20 % Kornfeuchte und einer Temperatur von 20 °C nur 9 Tage, bei 10 °C dagegen schon 20 Tage. Es muss daher das feuchte Getreide rasch unter diesen Gefahrenbereich getrocknet oder gekühlt werden. Es erfordert aber auch ein niedriger Wassergehalt der Gerste von 14 % eine Abkühlung im Laufe der Zeit, um Keimschäden zu vermeiden. Die Technik der Gerstenkühlung sieht vor, die Gerste in belüfteten Speichern (s. unten) oder in Silos (s. Abschn. 1.2.4.4) auf Temperaturen abzukühlen, die dem vorgesehenen Lagerzeitraum entsprechen. Hierfür eignen sich fahrbare Kühlaggregate, die mit den Anschlüssen der Belüftungseinrichtungen verbunden werden und so jeweils nach Bedarf eine wiederholte Kühlung durchführen können. Bei einer Abkühlung des Getreides um je 10 °C erniedrigt sich als Nebeneffekt der Wassergehalt um 0,5 %. Die Kühlung einer Silozelle von 50 t dauert rund 24 h. Der Luftkühler benötigt hierzu eine Leistung von 1170 kJ/(t h) (280 kcal/(t h)), der Luftdurchsatz muss rund 25 m³/t h betragen.

1.2.4.2 *Bodenlagerung:* Die früher übliche Flächenlagerung auf Gerstenböden ist nur mehr selten anzutreffen. Diese natürlichste Lagerungsart hat einen sehr großen Raumbedarf (1,0–3,5 m²/t), sie bietet die Möglichkeit sich durch Wahl der Schichthöhe und des Wendezeitpunktes den Feuchtigkeitsgegebenheiten der Gerste und den Witterungsverhältnissen anzupassen. Wenn nicht eine pneumatische Umlagerungsmöglichkeit besteht, ist die Bearbeitung der lagernden Gerstenhaufen personalaufwendig. Je feuchter die Gerste ist, umso dünner muss sie gelagert werden. Dabei ist stets die Temperatur des Haufens zu verfolgen. Das Umschäufeln der Gerste hat – wie auch jede andere Art der Umlagerung – den Sinn, den Gerstenhaufen zu kühlen, zu lüften und zu trocknen. Das Trocknungs- und Kühlmittel ist die zuströmende Außenluft, der durch Öffnen von Fenstern oder Jalousien Zutritt zu verschaffen ist. Die Außenluft muss kühl und trocken sein, auf jeden Fall kälter als die Gers-