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 Bezahnung 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 überlösten 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 Korns

Abriss der Bierbrauerei, 8. Auflage. Ludwig Narziß, Werner Back, Martina Gastl und Martin Zarnkow.
© 2017 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published 2017 by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
COPYRIGHTED MATERIAL

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 Endospermschicht, 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 enthält 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 Glucoseresten in α-1→4-Bindung (Maltosebindung). Das Molekulargewicht der verschieden 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→4-Bindung auch α-1→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 Glucoseresten 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 g/cm^3 in wasserfreiem Zustand, ihre Verbrennungswärme beträgt 17 130 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→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 Hemicellulosentyp 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→4- (70 %) und β-1→3- (30 %)-Bindungen miteinander verknüpft sind. Beim unvollkommenen Abbau liegen die Disaccharide Cellobiose und Laminaribiose vor. Die Pentosane bestehen aus Xyloseeinheiten in β-1→4-Bindung, an denen sich beim Spelzenpentosan Xylose-, Arabinose und Uronsäureseitenketten in β-1→3- und β-1→2-Bindung befinden, beim Endospermpentosan nur Arabinosemoleküle in β-1→3- oder β-1→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

fällende 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. „Tannoide" 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 Tannoide als kontinentale. Eine spezielle Züchtung der Carlsberg-Laboratorien mithilfe von Genmutanten ergab eine Blockierung der Biosynthese von Catechin und Procyanidin (Anthocyanogen) während der Vegetation der Gersten. Diese vermitteln nur ca. 12 % des Anthocyanogengehalts 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 Lipoide, 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 verschieden 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 Proteinfraktionen 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 Überschäumen („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 Korns 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 eine 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 (prosthetische Gruppe bzw. Coenzym). Das Apoenzym bestimmt die Substratspezifität, während die prosthetische 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 abzubauenden 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 glasig.

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 Überschäumen des Bieres). Gersten mit über 4 % Auswuchs sind abzulehnen.

Aufgeplatzte Körner können bei Niederschlägen im Reife-Stadium auftreten. Sie sind in der Längsrichtung des Korns 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, Bezahnung 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, mehlige Körner erscheinen dunkel.
Ein weißer, mehliger 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 Züchtungsstadien. 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 Probenehmers 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 Rohren 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 × 25 und 1,5 × 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 m^3/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 ausschaltbar 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 Schwebezustand 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 m^3/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 kg/(m^2 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 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 Staubteile 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 „Zentriklone", 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 Staubteilchen 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 verlassenden Luft ist behördlich festgesetzt (T. A. Luft). Er darf 50 bzw. 20 mg/m^3 in Wohngebieten nicht überschreiten. Während für ersteren Wert noch Zyklone genügen, sind für letzteren Gewebefilter erforderlich, die 10 mg/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 Schlitze 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 Schlitze 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/(m^2 h) angenommen werden.

Die wirksame Sortierfläche, die nur etwa 1/4 des Umfanges beträgt. Sie verringert sich durch Verlegung der Schlitze. Um dies zu verhindern, werden besondere Abstreifer, z. B. Holzwalzen oder Bürsten, angewendet, die sich auf dem drehenden Sortierzylinder 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 Schlitze 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 Vorsieb 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 m^2 Siebfläche im 2-Sortenbetrieb je nach Sortierschärfe 40–85 t/h, bei 3-Sortenbetrieb und 40 m^2 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 gefräster 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 weisen 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 Enzymbildung 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 CO_2-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 Wasseraufsaugevermögen (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 Atmungsgift 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 CO_2 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 ratenswert, 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 m^3/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 m^2/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 Umschaufeln 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-

te. Die kühle Luft wird sich dann beim Durchströmen der Haufen erwärmen und kann damit Wasser aufnehmen und das Gut trocknen. Ist die Außenluft dagegen wärmer als die Gerste, so kühlt sich die Luft am kälteren Getreide ab und kann deshalb niemals trocknend wirken. Im Gegenteil kann es vorkommen, dass der Taupunkt unterschritten wird und das Gut sich mit Feuchtigkeit beschlägt. Es ist daher zweckmäßig, Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur der Trocknungsluft zu messen.

Die Anordnung einiger Gerstenböden übereinander ermöglicht deren Ausbildung als *Rieselböden*, bei denen die Gerste durch Bodenöffnungen über Verteilerbleche in einem dünnen Schleier allmählich zu tieferen Stockwerken herabrieselt.

Eine gesicherte Bodenlagerung in höherer Schicht (ca. 3 m) erlaubt die *Rank-Bodenbelüftung*. Diese besteht aus einem offenen System von Haupt- und Nebenrohren mit Lenkblechen und Gittersieben, die entweder über ein Druckgebläse für kurzzeitige kräftige Belüftung oder über Rotoren für dauernde schwache Belüftung versehen werden.

Während die Holzböden wegen Feuergefahr und geringer Tragkraft von Betonböden verdrängt wurden, dienen bei Bodenbelüftung auch Tennen zur Lagerung von Gerste.

Zur Verringerung der Lagerfläche gibt es nur eine Möglichkeit: die Tiefenlagerung der Gerste in geschlossenen turmartigen Bauten von 16–40 m Höhe. Bei der großen Schichthöhe ist eine Entwässerung und Lüftung der Gerste unmöglich, sodass praktisch nur lagerfeste Ware, am besten mit einem Wassergehalt von nicht mehr als 12 % aufbewahrt werden kann. Auch bei großen Silohöhen sind keine Auswirkungen des Druckes der lagernden Getreidemassen zu befürchten, da sich ab 10 m Höhe der Druck der Gerstensäule auf die Silowandungen verlagert.

Das Material der Silos war ursprünglich Holz, das den Vorteil der schlechten Wärmeleitfähigkeit und der Durchlässigkeit für die Stoffwechselprodukte bietet, aber ebenso wie bei Lagerböden den Nachteil der Feuergefährlichkeit, Unsauberkeit und geringer Tragfähigkeit hat.

1.2.4.3 Der *Stahlbetonsilo* hat die größte Verbreitung gefunden. Er ist feuersicher, erfordert geringe Unterhaltskosten, hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit und bietet bei großem Fassungsvermögen eine gute Raumausnutzung. Als Nachteil gelten die hohen Gebäudegewichte, die eine starke Fundamentierung erfordern. Bei neu erstellten Silos ist auf völliges Abbinden und Austrocknen des Betons Wert zu legen, um eine Beeinträchtigung des lagernden Gutes zu vermeiden. Der Querschnitt der Silozellen kann quadratisch, rechteckig, wabenartig oder auch unregelmäßig sein. Die Böden werden konisch (Auslaufwinkel 39°) gehalten, um ein völliges Auslaufen des Getreides sicherzustellen. In Verbindung mit horizontalen und vertikalen Transportanlagen ergibt sich damit eine bequeme Möglichkeit, das Gut ohne zusätzliche Arbeit umzulagern. Das Fassungsvermögen einer Silozelle soll jener Menge entsprechen, die jeweils als gleichmäßige Gerstenpartie erhältlich ist.

Das gesamte Fassungsvermögen der Siloanlage einer Mälzerei soll im Hinblick auf eine zweckentsprechende Aufnahmekapazität nach der Ernte und auf die Möglichkeit, verschiedene Partien (je nach Sorte und Provenienz) getrennt zu lagern, rd. 80–100 % der Verarbeitungskapazität (bezogen auf Malz) betragen.

Um die hohen Herstellungskosten von Betonsilos zu erniedrigen, werden diese für kleinere Anlagen aus sog. *Silobausteinen* gefertigt, wobei die zu Fundamenten ausgebildete, zu einem Trichter geformte Grundplatte auch der Aufnahme der Transportanlagen dient. *Silos ohne Kellerraum* lassen sich, selbst für große Einheiten, wesentlich billiger erstellen. Die Außen- und Quermauern werden auf Streifenfundamente gesetzt, der Zellenboden mit 39° Neigung liegt in einer Kiesauffüllung. Ein schmaler Bedienungsgang dient der Aufnahme der Horizontalförderer. Die Baukostenersparnis beträgt 20–30 %. Die Anwendung von Stahlbeton-Fertigbauteilen ist mit Vorteil möglich.

1.2.4.4 *Silos aus Stahlblech* sind gegenüber dem Betonsilo in einigen Punkten von Vorteil: Die Konstruktion aus verschraubbaren Stahlringen oder Profilblechen ist von geringerem Gewicht, billiger, rascher zu errichten und sofort betriebsbereit. Die gute Wärmeleitfähigkeit des Materials begünstigt Kondenswasserbildung, weswegen nur vorgetrocknete Gerste eingelagert werden darf. Aber auch hier ist ein regelmäßiges Umlagern des Gutes erforderlich. Eine derartige Behandlung ist bei allen Siloanlagen (auch bei Stahlbetoneinheiten) angebracht, um eine partielle Erwärmung der Gerste und die Ausbildung von dumpfem Geruch zu vermeiden. Die Umlagerung der Gerste bewirkt gleichzeitig eine Belüftung, vor allem wenn das Getreide beim Transport wieder über die Aspirationsanlage geleitet wird.

Die Lüftung im Silo gestaltet sich durch die hochliegende Getreidesäule schwierig. Bei kleineren Anlagen ist es möglich, die Luft von unten durch die Gerste zu drücken. Bei einer Höhe von 25 m erfordert eine Luftmenge von 80 $m^3/(t\,h)$ einen Druck von ca. 500 mmWS. Größere Siloeinheiten werden

waagrecht belüftet, wobei die Luftzufuhr mithilfe von Luftkanälen erfolgt, die in den Silowänden in bestimmten Abständen angeordnet sind. Das Belüften des Getreides darf jedoch nur dann vorgenommen werden, wenn die Außenluft kälter als das Gut ist. Die Abluft, die beim Beschicken der Silos oder beim Belüften während der Lagerung entweicht, bedarf der Entstaubung. Sie wird bei großen Silo-Anlagen über eigene Entstaubungsvorrichtungen (meist Filter) geleitet. Bei kleineren Mälzereien wird die Silo-Abluft über die Entstaubung der Reinigungs- und Transportanlagen geleitet.

Eine große Siloanlage erfordert eine eingehende Temperaturkontrolle in verschiedenen Höhen, am besten durch Sonden, deren Messwerte in einer eigenen Silo-Schalt- und Kontrollwarte abgelesen werden können. Tritt in einer bestimmten Schicht innerhalb von 48 h ein Temperaturanstieg um 2 °C auf, so muss das Getreide umgelagert werden. Hierbei sollen Proben zur Ermittlung der Feuchte, Keimfähigkeit und Keimenergie gezogen werden.

Die *Siloschaltwarte* beinhaltet auch die Schalter und Kontrollleuchten der Förderanlagen und Reinigungsapparate. Staffelschaltung und Verriegelung gegen falsche Einstellung sichern die Bestände vor Vermischung z. B. von Gerste und Malz.

1.2.5 Die künstliche Trocknung der Gerste

Die moderne Erntetechnik des Mähdrusches, die kurzfristige Anlieferung großer Gerstenmengen in die Mälzerei und die Unmöglichkeit, die Gerste selbst in Lüftungssilos so rasch wie erforderlich zu kühlen und zu trocknen, führten mehr und mehr zur Einführung der künstlichen Trocknung. Bei sachgemäßer Behandlung wird das Getreide nicht nur lagerfest, sondern es tritt auch unmittelbar eine Verbesserung der Keimenergie ein. Die Trocknung soll daher so rasch als möglich erfolgen.

Die künstliche Verringerung des Wassergehaltes der Gerste ist nur unter gewissen Voraussetzungen möglich: So muss die Gerste am Halm völlig ausgereift sein, auch ist für die Vorreinigung Sorge zu tragen, da Unkrautsamen und Verunreinigungen hygroskopischer und damit schwerer trocken zu halten sind als Gerste. Die Trocknung wird erschwert durch die Bespelzung der Gerste, welche das Entweichen des Wasserdampfes behindert.

Nachdem nur bei einem Wassergehalt von 12 % eine risikolose Lagerung gewährleistet ist, soll eine Trocknung auf diesen Wert angestrebt werden. Weiter zu trocknen als auf 10 % Wassergehalt ist nicht nur unwirtschaftlich, sondern es besteht auch die Gefahr einer Schädigung der Keimfähigkeit.

Die künstliche Trocknung von Getreide erfolgt durch Erwärmung oder Abkühlung. Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Trocknen durch Wärme bevorzugt. Hierbei handelt es sich darum, den Wasserdampfdruck im Korn durch Erwärmen so zu erhöhen, dass er höher ist als der der Trocknungsluft. Je größer dieser Unterschied, umso rascher und weitgehender ist die Entwässerung. Es sind jedoch einer stärkeren Erwärmung der Gerste enge Grenzen gesetzt, da die Gerste gegen Temperaturen von über 50 °C sehr empfindlich ist. Die mögliche Trocknungstemperatur des Gutes muss sogar umso niedriger sein, je höher der Wassergehalt zu Beginn des Trocknens liegt. Während Gerste von 16 % Feuchte noch auf 49 °C erwärmt werden darf, ist bei 22 % nur eine Temperatur von 34 °C zulässig. Um Schädigungen des Getreides zu vermeiden, kann es ratsam sein, sehr feuchte Ware in zwei Stufen zu trocknen, z. B. von 20 auf 16 % und dann von 16 auf 12 %.

Auch Gersten, die durch Auswuchs geschädigt sind, vertragen die weitgehende Trocknung mit anschließender Warmlagerung zur Überwindung der Keimruhe nicht. Dies gilt sowohl für sichtbaren als auch für verdeckten Auswuchs. Hier ist es besser, die Gerste bei normalen Temperaturen oder kühler zu lagern und den Fortschritt zur Überwindung der Keimruhe laufend zu überwachen und bei einer vertretbaren Keimenergie sofort zu vermälzen. Wird dieses Stadium nicht erreicht, so ist die Gerste für Mälzungs- und Brauzwecke ungeeignet.

Bei älteren Trocknern wechselt die Richtung des Luftstroms und beaufschlagt einmal die bereits stärker getrocknete Seite der Körnerschicht, dann wieder die bis dahin schwächer entwässerte an der Luftaustrittsseite derselben. Dies kann bei höheren Feuchtigkeitsgehalten des Gutes und bei Anwendung höherer Temperaturen eine Schädigung der Keimeigenschaften zur Folge haben.

1.2.5.1 *Moderne Trockner:* Moderne Trockner machen die früher als unerlässlich angesehene Vorwärme-(Vorschwitz-)Abteilung überflüssig, in der das Korn ohne Belüftung auf 35–40 °C erwärmt wurde. Hierdurch sollte das Wasser vom Korninnern durch die Kapillaren nach außen gelangen, um dann in der nachfolgenden Trockenabteilung leicht abgetrocknet zu werden. Heute ist die Luftführung in den Dächerreihen nicht mehr versetzt übereinander, sondern diagonal angeordnet. Hierdurch wird immer wieder eine Produktstromteilung bewirkt. Durch Weglassen einer Dächerreihe im oberen Drittel der Module lässt sich eine Homogenisierung des Trocknungsfortschritts und damit eine gleichmäßige Endfeuchte aller Teilströme er-

reichen. Dies wiederum verringert die thermische Belastung z. B. der Gerste und vermeidet eine Schädigung der Keimfähigkeit.

Neue Anlagen bestehen aus 13 Modulen für die Trocknung und zusätzlichen 3 Modulen für die Abkühlung auf 10 °C über der Umgebungstemperatur. Die Beheizung der Trocknungsluft erfolgt über einen Warmlufterzeuger mittels Gas oder Öl. Sie wird mit einer Temperatur von 60–65 °C durch einen Saugventilator von oben in die Anlage verbracht. Sie darf deswegen so hoch sein, da sie sich durch Verdunstung an der Kornoberfläche abkühlt. Es dürfen aber die oben genannten Temperaturen – in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Gerste nicht überschritten werden. Die Module 10–13 erhalten ihre Luft direkt vom Lufterhitzer, wobei die Abluft der Module 11–13 wieder als Umluft verwendet wird. Die Kühlung geschieht mittels Druckluft in den Modulen 14–16. Ihre Wärme kann durch Führung zum Lufterhitzer wieder nutzbar gemacht werden. Die Durchlaufzeit durch die Anlage beträgt bei Braugetreide 110 min.

Der Durchsatz an Trocknungsluft beträgt 3600 m^3/(t h). Der Wärmeverbrauch beträgt ca. 194 000 kJ/t Gerste (51 600 kcal); durch die Verwendung des Wärmeinhalts der Kühlluft werden rund 10 % eingespart. Der Bedarf an elektrischer Energie wird mit 2 kWh/t angegeben.

Der Trockner wird sinnvoll zwischen zwei Silozellen angeordnet. Das Fassungsvermögen soll jeweils der Menge für eine 10-stündige Trocknung entsprechen. Waagen über und unter dem Trockner lassen die entzogene Wassermenge bestimmen.

1.2.5.2 Auch die *Malzdarre* eignet sich zum Gerstentrocknen. Einhordenhochleistungsdarren mit Kipphorde sind arbeitstechnisch günstig. Hier können 400 kg Gerste/m^2 Hordenfläche in 6 h bei einer von 35 auf 45 °C steigenden Temperatur von 20 auf 15 % Feuchte getrocknet werden. Wenn auch zwischen der oberen (16 %) und der unteren (12 %) Schicht Unterschiede gegeben sind, so gleichen sich diese im Laufe der weiteren Behandlung annähernd aus. Zum Trocknen von einer Tonne Gerste werden 255 000 kJ (60 000 kcal) und 7–8 kWh benötigt. In 24 h kann die Darre bis zu dreimal beladen werden. Als Kontrollkriterium über den Fortschritt der Trocknung dient die Temperaturdifferenz zwischen Einströmluft und Abluft. Die Leistung einer Darre von 50 m^2 Hordenfläche beträgt dann pro Charge 20 t. Dies entspricht 60 t pro Tag und damit der Kapazität eines Durchlauftrockners von 2,5 t/h.

Die Verringerung der Unterschiede zwischen den oberen und unteren Schichten kann wie folgt erreicht werden: Zuerst wird eine Stunde mit Umluft von 40–45 °C gefahren, dann aber mit 50 °C und Abluftbetrieb getrocknet. Diese Temperatur wird nach 30–60 min auf 40–42 °C zurückgenommen.

Weitere Möglichkeiten der Trocknung sind gegeben entweder durch Kastenpaletten oder durch Belüftungs- und Trocknungssilos. In bei den Fällen wird ein Heizaggregat mit Lüfter zum Anwärmen und Trocknen des Gutes angeschlossen, während die Kühlung und Lüftung mittels Außenluft erfolgt.

Nach dem Trocknen war es bisher üblich, die Gerste durch Außenluft abzukühlen und anschließend auf die Lagerplätze zu verbringen. Die Arbeitsweise, die auf ca. 12 % Wassergehalt getrocknete Gerste mit ca. 35 °C in den Silo einzulagern, bis die Keimruhe gebrochen ist, hat sich in der Regel bewährt. Es dauert zwischen 3 und 14 Tage, bis dieser Effekt eintritt. Dies ist mittels eines „forcierten" 4/8 ml Tests (72 h) spätestens alle drei Tage zu überprüfen. Sobald die Keimruhe überwunden ist, wird das Gut durch Umlagern (über den Aspirateur) abgekühlt. Diese Arbeitsweise bewirkt auch eine Verringerung der Wasserempfindlichkeit.

Eine andere Methode ist, die aus dem Trockner kommende Gerste mittels entfeuchteter Luft auf 6–8 °C abzukühlen und so in die Silos einzulagern.

1.2.5.3 Die *Kaltlufttrocknung* konnte sich aus wirtschaftlichen Gründen nur wenig einführen. Sie wäre zweckmäßiger als das Trocknen mit Wärme, weil bei gleich starkem Wasserentzug das Getreide weitgehend abgekühlt würde. Kühles Getreide lagert sich besser als wärmeres, der Stoffwechsel wird stark vermindert und das Einnisten von Schädlingen unterbunden. Von dieser Erkenntnis wird bei der Kältekonservierung der Gerste Gebrauch gemacht (s. Abschn. 1.2.4.1). Bei frisch geernteter oder sehr empfindlicher Gerste besteht die Gefahr, dass keine Aufhebung, sondern eine Konservierung des Ruhezustandes eintritt. Diese Erscheinung nennt man sekundäre Keimruhe.

1.2.6 Pflanzliche und tierische Schädlinge der Gerste

Getreide enthält je nach Witterung bei Aufwuchs, Reife und Ernte einen unterschiedlich hohen Besatz an Mikroorganismen, die das lagernde Gut stark beeinträchtigen können. Sie wandern entweder bereits auf dem Feld in das Getreide ein oder befallen es bei der Lagerung.

Zu den Ersteren gehören Brandpilze, Rostpilze oder das Mutterkorn, aber auch Schimmelpilze wie Rhizopus-, Mucor-, Stemphylium- und Fusarium-Arten. Hiervon haben seit 1987 besonders *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, aber auch *F. ave-*

naceum Hinweis zur Erscheinung des Überschäumens des Bieres (Gushing s. Abschn. 7.6.8) gegeben. Die genannten Fusarienarten können bei entsprechenden Niederschlägen das Getreide zur Zeit der Hochblüte befallen, über die Antheren in den Mehlkörper eindringen und sich von den Inhaltsstoffen ernähren. Das Gushing wird durch Stoffwechselprodukte dieser Organismen hervorgerufen, die z. T. Peptide, polare Lipide, z. T. auch Kohlenhydrate sind. Hydrophobine, d. h. extrazellulare pilzliche Proteine von hoher Oberflächenaktivität spielen nach bisherigen Untersuchungen ebenfalls eine große Rolle, wie auch das aus der Gerste stammende Lipidtransferprotein (s. Abschn. 1.4.1.2). Eine Reihe von anderen Schimmelpilzen, die wohl vom Feld herrühren, die sich aber bei der Lagerung entwickeln, sind in der Lage, Toxine zu bilden, die nicht nur die Keimfähigkeit des Getreides zerstören, sondern die auch den Wert als Futtermittel erheblich herabsetzen können. Hierzu zählen außer den oben genannten auch noch *Aspergillus-* und *Penicillium*-Stämme.

Tierische Schädlinge treten erst im lagernden Getreide auf, wie z. B. Kornkäfer und Kornmotte. Der Kornkäfer legt seine Eier in die Gerstenkörner; die daraus entstehenden Larven fressen das Getreide an und höhlen die Körner aus. Der Befall wird erst beim Auftreten der Käfer entdeckt, und zwar beim Bewegen, Belichten und Erwärmen des Getreides. Der Kornkäfer wird meist durch Schiffe, Transportanlagen oder Transportmittel z. B. Säcke übertragen und in die Betriebe eingeschleppt. Vom Käfer befallenes Getreide ist unbedingt zurückzuweisen.

Durch häufiges Umlagern und Putzen sowie durch Belüften der Gerste kann der Käfer z. T. entfernt oder vertrieben werden. Es ist jedoch seine Bekämpfung mit chemischen Mitteln weit wirkungsvoller. Sie kann mit Anstrichmitteln, Vergasungsmitteln oder mit Kontaktinsektiziden vorgenommen werden. Voraussetzung ihrer Anwendung ist, dass sie sich vollständig wieder entfernen lassen und weder den physiologischen Vorgang der Keimung und die enzymatischen Reaktionen während der Bierbereitung verändern noch im fertigen Bier geschmacklich oder auf eine den menschlichen Organismus schädigende Weise in Erscheinung treten.

Große Silos müssen mit einer eigenen Vergasungsanlage ausgestattet sein, um die lagernden Getreidemengen sicher vor Befall schützen oder auftretende Schädlinge vertilgen zu können.

1.2.7 Gewichtsveränderungen der Gerste während der Lagerung

Während der Lagerung der Gerste treten hauptsächlich Gewichtsveränderungen durch Wasserverdunstung und Atmung ein. Die Höhe dieser Verluste hängt wiederum vom Wassergehalt der Gerste ab. Besonders fühlbar sind diese Veränderungen in den ersten drei Monaten nach der Ernte. Sie betragen hier etwa 1,3 %, im zweiten Vierteljahr 1,0 %, im folgenden Halbjahr etwa 0,8 %. Längere Lagerzeiten kommen bei Braugersten gewöhnlich nur infrage, wenn das Gut übersommert werden soll. Hier ist eine Verringerung des Wassergehaltes auf 12 % unbedingt erforderlich.

1.3 Das Weichen der Gerste

Die Ankeimung der Gerste erfolgt erst bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalt. Lagernde Gerste hat einen Wassergehalt von mindestens 12 % (Konstitutionswasser). Er soll niedrig sein, um Lebensäußerungen der Gerste auf einen Mindestwert zu beschränken. Erst die Zuführung des Vegetationswassers leitet die Keimung ein. So erfahren die Lebenserscheinungen im Korn bereits bei einem Wassergehalt von ca. 30 % eine deutliche Steigerung, bei ca. 38 % keimt die Gerste am raschesten und gleichmäßigsten an, während zur Entwicklung der Enzyme und zur Erzielung der gewünschten Auflösung des Mehlkörpers eine Feuchte von 43–48 %, z. T. sogar darüber erforderlich ist. Der Großteil des benötigten Vegetationswassers wird beim Weichprozess zugeführt, die Darstellung der Maximalfeuchte erfolgt zweckmäßig erst bei der Keimung. Das Weichwasser sollte eine normale Trinkwasserqualität aufweisen und frei von Verunreinigungen physikalischer, chemischer und biologischer Art sein. Die Frucht- und Samenschale des Gerstenkorns ist zwar halbdurchlässig, aber dennoch kann eine Diffusion von Ionen des Wassers (s. Abschn. 2.1.3.1) durch bestimmte Lücken in der Testa, die sich vornehmlich in der Nähe des Keimlings befinden, erfolgen. Hierdurch kann die keimhemmende Wirkung z. B. von NO_2^- (Nitrit) erklärt werden. Normalerweise allerdings ist die Konzentration der im Weichwasser vorhandenen Ionen so gering, dass keine unmittelbaren Wirkungen festzustellen sind.

1.3.1 Die Wasseraufnahme des Gerstenkorns

Sie findet im Wesentlichen von der Kornbasis aus, durch die dort einmündenden Gefäße, statt. Weit geringer ist sie an den Seiten bzw. am oberen Korn-

ende. Aus diesem Grunde weisen die einzelnen Partien des Korns anfänglich einen verschieden hohen Wassergehalt auf, der sich erst allmählich ausgleicht.

Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme ist in den ersten 4–8 h weitaus am größten, lässt aber mit Annäherung an den Sättigungsgrad rasch nach. Dieser ist durch das Quellvermögen einer Gerste gegeben.

Während der ersten 6 h der Weiche steigen die Aktivitäten der Amylasen, der Ribonuclease und der Phosphatasen parallel zum Wassergehalt an. Infolge Sauerstoffmangels fallen sie im Keimling und im Endosperm wieder ab, um dann in der folgenden Luftrast weiter anzusteigen.

Bei einem Weichgrad von 41 % zeigt der Keimling einen Wassergehalt von 65–70 %. Bei der folgenden Luftrast tritt der Keimling durch seinen, infolge Gewebebildung erhöhten Wasserbedarf in Konkurrenz zum Endosperm. Dabei wird dem Mehlkörper wieder ein Teil des bereits aufgenommenen Wassers entzogen. Dieser Wassertransport kommt bei einem Wassergehalt des Mehlkörpers von 36 % zum Stillstand. Das nach dem Weichen dem Korn anhaftende Wasser wird hauptsächlich vom Blattkeim aufgenommen. Wird dieser Wasserfilm jedoch entfernt, dann tritt eine Intensivierung der Keimung ein. Dies ist auch dann der Fall, wenn das Haftwasser rasch einzieht, weswegen der Folge von knappen Nassweichen und Luftrasten eine große Bedeutung für eine rasche und gleichmäßige Ankeimung zukommt. Bei heiß und trocken aufgewachsenen und geernteten Gersten ist die Vitalität des Keimlings groß; er nimmt reichlich Wasser auf, entzieht aber bei der folgenden Luftrast dem Mehlkörper einen Teil des Wassers wieder. Hierdurch ist während des gesamten Weichprozesses eine zögernde Durchfeuchtung des Mehlkörpers gegeben. Es müssen also hier die Luftrasten verkürzt werden, was die Gerste durch ihre geringere Wasserempfindlichkeit durchaus verträgt. Gersten, die feucht aufgewachsen sind, vermitteln eine schnellere und gleichmäßige Wasserverteilung im Korn. Hier sind längere Luftrasten angebracht, die der gleichmäßigen Durchfeuchtung des Mehlkörpers weniger abträglich sind, die aber die höhere Wasserempfindlichkeit dieser Gersten abbauen. Es kann also durch die entsprechende Gestaltung des Weichverfahrens auf die Struktur des Mehlkörpers und zugleich auf die physiologischen Eigenschaften des Keimlings eingegangen werden.

Die Wasseraufnahme der Gerste ist weiterhin abhängig von der Korngröße (Sortierung) der Gerste. Vollbauchige Körner brauchen länger als schwache, um den gleichen Wassergehalt zu erreichen.

Doch stehen die hier auftretenden Unterschiede auch in Abhängigkeit vom Weichverfahren. Während z. B. eine reine oder überwiegende Nassweiche merkliche Unterschiede bei der Wasseraufnahme großer und kleiner Körner hervorruft, bewirken ausgedehnte Luftrasten einen weitgehenden Ausgleich, der sogar das Weichen von I. und II. Sorte zusammen ermöglicht. Der ursprüngliche Wassergehalt der Gerste spielt keine Rolle, wohl aber die Kornstruktur, wie sie sich aus trockenen oder feuchten Jahren ergibt. Gersten, die unter den ersteren Bedingungen reiften, verzeichnen eine langsamere Wasseraufnahme, ebenso Gersten, die ihre Mälzungsreife noch nicht erlangt haben und eine ausgeprägte Wasserempfindlichkeit besitzen. Eiweißreiche Gersten zeigen nur dann eine langsame Wasseraufnahme, wenn durch die Aufwuchs- und Erntebedingungen ihre Kornstruktur der Wasseraufnahme ungünstig ist (s. oben); ansonsten ließen sich bei Gersten ein und desselben Jahrgangs keine Unterschiede erkennen. Ferner hängt die Wasseraufnahme von der Gerstensorte ab.

Von der *Temperatur des Weichwassers:* Je wärmer das Weichwasser, umso rascher erfolgt die Wasseraufnahme. Als Normaltemperatur darf im Durchschnitt ein Wert von 10–12 °C angenommen werden; der Gehalt des Wassers an Härtebildnern oder anderen Ionen spielt für die Wasseraufnahme keine Rolle. Um einen Wassergehalt von 43 % zu erreichen, wurden bei verschiedenen Wassertemperaturen bei ein- und derselben Gerste folgende Weichzeiten benötigt: 9 °C 78 h, 13 °C 54 h, 17 °C 46 h, 21 °C 28 h. Eine Wassertemperatur von 12–13 °C ist bei Anwendung einer überwiegenden Wasserweiche physiologisch am günstigsten.

Vom *Weichverfahren*: Die Wasseraufnahme ist bei reiner Wasserweiche langsamer als bei Luft-Wasserweiche. Besonders günstig wirken sich lange Trockenperioden zwischen den Wasserweichen aus. Hier genügt z. B. im Rahmen einer Weichzeit von 46 h eine 9-stündige Wasserweiche, um den oben genannten Weichgrad von ca. 43 % zu erreichen.

1.3.2 Die Sauerstoffversorgung des Weichgutes

Neben der Wasseraufnahme spielen sich auch noch andere Vorgänge ab. Mit Erhöhung des Wassergehaltes beginnt das Korn deutlich zu atmen.

Diese *Lebenstätigkeit erfordert Sauerstoff,* der die gesamte Weichzeit über in ausreichender Menge zur Verfügung stehen muss. Das Korn scheidet bei der Atmung für jedes Molekül verbrauchten Sauerstoffs ein Molekül Kohlendioxid aus. Das Verhält-

nis von $CO_2 : O_2$, der Atmungskoeffizient, ist somit gleich 1.

Ist er größer als 1, so liegt ein anaerober Stoffwechsel vor, das Korn kann von den hier entstehenden Stoffwechselprodukten, Alkohol und Kohlensäure, vergiftet werden. Diese Vergiftung geht beim untergetauchten Korn rascher vor sich als in der Atmosphäre. Beim Weichen erfahren daher die Gerstenkörner so lange eine leichte alkoholische Gärung – selbst unter optimalen Sauerstoffverhältnissen –, bis das Korn spitzt und somit die durch das Weichen sehr dicht liegenden Spelzen durchbrochen werden. Kurz nach dem Spitzen beginnt der angestaute Alkohol durch intracellulare Oxidation zu schwinden. Bereits ein Alkoholgehalt von 0,1 % kann ein ungleiches Wachstum hervorrufen. Bei sachgemäß geführter Weiche unbedeutend, kann die Alkoholmenge unter Abwesenheit von Sauerstoff sehr wohl mehrere Prozent erreichen. Im Verein mit der gebildeten Kohlensäure tritt intramolekulare Atmung ein: das Weichgut nimmt einen esterigen, säuerlichen, in schweren Fällen sogar einen fauligen Geruch an, das Korn verliert an Festigkeit. Eine in ihrer Lebenskraft geschwächte Gerste wird auch eine übermäßige Wasseraufnahme, eine sog. „Totweiche“ erleiden. Die Keimfähigkeit des Gutes geht teilweise verloren.

Es ist von Bedeutung, dass gerade bei der Nassweiche keine gleichmäßige Sauerstoffverteilung möglich ist. Beim Einblasen von Luft steigt die Sauerstoffkonzentration von unten nach oben hin an, während bei ständigem Wasserzufluss der Sauerstoffgehalt des Wassers bereits in der Mitte des Weichbehälters verbraucht ist. Im Hinblick auf die Sauerstoffverteilung bei der Belüftung während der Nassweiche ist eine Flachbodenweiche günstiger als eine zylindrokonische Weiche. Am besten ist jedoch eine Luftumwälzweiche mit Injektor und Steigrohr.

Der Sauerstoffbedarf ist besonders groß bei wasserempfindlichen Gersten. Dies sind Gersten, die gerade ihre Keimruhe überwunden hatten oder unzulänglich gelagert wurden (s. Abschn. 1.2.4). Bei reichlicher Sauerstoffzufuhr, bei langen Luftweicheperioden wird die Wasserempfindlichkeit abgebaut und somit eine gleichmäßige Ankeimung erzielt.

1.3.3 Die Reinigung der Gerste

Das Weichen vermittelt auch eine Reinigung der Gerste: Die Ionen des Wassers setzen sich mit den Stoffen der Kornumhüllung um und bewirken deren Auslaugung und Reinigung. Diese ist umso stärker, je mehr Hydrogencarbonat-Ionen im Wasser vorhanden sind. Eine Verstärkung dieses Effektes wird durch intensive Bewegung des Gutes beim Einweichen und während der Nassweichen durch Belüften über Ringrohre oder besonders durch Injektor mit Steigrohr erreicht. Der früher übliche Zusatz von Alkalien oder Wasserstoffperoxid (s. frühere Ausgaben dieses Buches) wurde aus lebensmittelrechtlichen Überlegungen heraus nicht mehr gestattet.

Eine Entlastung der Weiche und damit des Abwassers erbringt eine intensive mechanische Reinigung des Gutes, wie sie durch die Vorreinigung der Annahme und durch die Hauptreinigung vor dem Weichvorgang bewirkt wird. Die Bewegung und der Abrieb durch die Transportanlagen und die Entstaubung (s. Abschn. 1.2.3) erhöhen diesen Effekt.

Die Nassreinigung wird durch eine Waschtrommel verbessert, wie sie z. B. zum Beschicken von Flachbodenweichen eingesetzt wird. Auch Waschschnecken haben eine kräftige mechanische Wirkung.

Die Gerstenwäsche soll nicht nur die üblichen Verunreinigungen, sondern auch Mikroorganismen der Feld- und Lagerflora entfernen. Weiterhin werden, wie schon erwähnt, lösliche Stoffe aus den Spelzen ausgelaugt, wie z. B. Phenolcarbonsäuren, Polyphenole und Lipide, die keimhemmende Eigenschaften haben, die aber auch zu den Spelzenbitterstoffen zählen.

Wärmeres Wasser von z. B. 25 °C kann bei der ersten Weiche nicht nur eine etwas bessere Reinigung und Auslaugung erzielen, sondern – vor allem in der kälteren Jahreszeit – eine Erwärmung des Weichgutes erbringen, die dann auch eine raschere Wasseraufnahme zur Folge hat. Wichtig ist dabei, dass sich keine Zonen unterschiedlicher Temperaturen (innen/außen, oben/unten) ausbilden, was wiederum zu ungleicher Wasseraufnahme führt. Auch kann die folgende Nassweiche mit niedrigerer Temperatur in diesem frühen Stadium einen Schock bewirken. Aus diesem Grunde konnte sich auch die früher einmal vorgeschlagene „Heißwasserweiche“ von 15 min bei 40–50 °C nicht einführen. Waschschnecken oder Waschtrommeln können mit Wasser von ca. 30 °C nicht nur eine bessere Reinigung bewirken, sondern auch eine raschere Wasseraufnahme beim Einweichvorgang.

Der Organismengehalt des Weichwassers spielt bei der großen Menge an Organismen, die von der Gerste eingebracht werden, theoretisch keine Rolle. Es muss aber das Wasser der Trinkwasserverordnung entsprechen, d. h. es darf keine pathologischen Keime enthalten. Soll Weichwasser wiederverwendet werden, dann hat dieses ebenfalls der Trinkwasserverordnung zu entsprechen. Es muss

vor allem auch geruchs- und geschmacksneutral sein (s. Abschn. 1.3.4).

1.3.4 Wasserverbrauch

Zur Darstellung eines Wassergehalts im Keimgut von 47–48 % werden nur 0,7 m^3/t benötigt. Je nach dem angewendeten Verfahren und der Ausstattung der Weichanlage liegt der Wasserverbrauch in der Praxis erheblich höher. Beim Einweichen entsteht ein Wasserbedarf von 1,8 m^3/t Gerste; ein einfacher Wasserwechsel benötigt 1,2 m^3, das Umpumpen von einer Weiche zur anderen ca. 1,5–1,8 m^3, das „nasse" Ausweichen 1,8–2,4 m^3. Die früher übliche Nass-Trockenweiche mit 7-maliger Wassergabe, zweimaligem Umpumpen und nassem Ausweichen erforderte ca. 11 m^3/t, während ein modernes Weichverfahren bei dreimaliger Wasserzufuhr nur mehr ca. 5 m^3/t benötigt. Durch Anpassen des Weichwasser-Überlaufs an das jeweilige Gerstenvolumen, der Verzicht auf das Umpumpen, wenn eine intensive Umwälzung mit Pressluft möglich ist, spart weitere 0,8–1,5 m^3/t. Eine Reduzierung der Zahl der Nassweichen verlangt ein entsprechend stärkeres Nachbefeuchten bei der Keimung. Ein noch niedrigerer Wasserverbrauch wird durch Einsatz von „Waschschnecken" ermöglicht, die aber trotz temperierten Wassers (bis zu 30 °C) nur einen Wassergehalt von ca. 25 % erreichen. Der Wasserverbrauch beträgt hier, je nach Intensität des Waschvorgangs 1,0–1,2 m^3/t.

Ein ähnlicher Wasserverbrauch ist auch bei der Waschtrommel gegeben. Die genannten Verbrauchszahlen beziehen sich auf Trichterweichen. Flachbodenweichen der üblichen Bauart verfügen bei einer Guthöhe von 1,70 m über einen „Totraum" unterhalb der Horde von ca. 70 cm. Dies sind 1,15 + 0,72 = 1,87 m^3/t. Bei zwei Nassweichen sind dies 1,87 + 1,87 = 3,84 m^3. Bei nassem Ausweichen geht das Wasser unter der Horde in das Transportwasservolumen ein, sodass einschließlich des Zusatzwassers 4,74 m^3/t Gerste benötigt werden. Der gegenüber den Trichterweichen niedrigere Wasserverbrauch beim Ausweichen ist auf die Ausräumvorrichtungen der Anlage zurückzuführen, die zwangsläufiger arbeiten als dies bei einer Trichterweiche der Fall sein kann.

Bei der „Ökoweiche" entfällt das „Totvolumen", da kein Raum unter der Horde gegeben ist. Bei trockenem Ausweichen benötigt dann ein Weichverfahren mit zwei Nassweichen nur 2,3 m^3/t Gerste.

Wird das Wasser ausschließlich durch Sprühen im Keimapparat aufgebracht, so liegt der Wasserbedarf mit 0,9 m^3/t nur mehr wenig über dem theoretischen Wert. Eine derartige Verfahrensweise erfordert aber eine vorausgehende, sehr intensive mechanische Reinigung der Gerste.

Eine Wiederverwendung des Weichwassers im unaufbereiteten Zustand darf nicht erfolgen. Es enthält Mikroorganismen, dazu Keimungsinhibitoren sowie Verunreinigungen aus dem Gut, die durch Abrieb etc. angefallen sind. Weiterhin lässt das immer wieder auftretende Gushing des Bieres eine Weichwasserwiederverwendung nicht zu. Oft ist auch der Geruch dieses Abwassers zu beanstanden, vor allem, wenn es beim Ausweichen, d. h. aus der Keimanlage zurückgeführt wurde. Eine weitere Ausbreitung der Infektion ist bei der Aufbewahrung des Abwassers gegeben, da Zwischenbehälter notwendig sind, um das Wasser zwischen Anfall und Bedarf zu stapeln.

Eine Aufbereitung des Abwassers geschieht nach dem heutigen Stand über eine erste Stufe, eine Variante des Belebtschlammverfahrens, die in einem Bioreaktor abläuft. In diesem befindet sich eine aktive Bakterienpopulation, die in Verbindung mit einer Intensivbelüftung die organischen Stoffe des Abwassers abbaut. Das Wasser wird dann über eine Fällung, z. B. über Eisenchlorid weiter konditioniert und über eine Ultrafiltration mittels Polypropylen-Kapillarmembranen mit einer Porenweite von 0,01 µm geleitet, um Bakterien, selbst Viren zurückzuhalten. Der nächste Prozessschritt ist auch eine Behandlung mittels Umkehrosmose und Aktivkohlefilter, die dann eine Wasserqualität erbringt, die nach der Leitfähigkeit und CSB der TVO entspricht. Durch Verluste bei der Aufbereitung können nur 60–70 % Recyclingwasser gewonnen werden. Ein Frischwasserzusatz von 30–40 % ist auch deswegen erforderlich, um wieder Mineralien in das Weichwasser einzubringen. Aufgrund des hohen technologischen Aufwandes und der damit verbundenen Kosten spielt das Abwasserrecycling derzeit noch eine geringe Rolle, doch können steigende Frischwasser- und Abwasserkosten in Zukunft zu einem vermehrten Gebrauch an wieder verwendetem Wasser führen. Technologisch gesehen ist dies im Hinblick auf eine intensivere Wäsche des Gutes schon heute bedeutsam.

1.3.5 Die Weicheinrichtungen

1.3.5.1 Die *Weichbehälter* werden aus Stahlblech, Edelstahl oder Stahlbeton gefertigt. Edelstahl erübrigt einen „lebensmittelechten" Anstrich der Gefäße sowie vereinfacht Reinigung und Pflege. Aus diesem Grunde sind neuerdings auch Betonweichen mit Edelstahlblechen ausgekleidet. Im Interesse einer gleichmäßigen Behandlung des Weich-

gutes ist ein runder oder quadratischer Querschnitt der Weichen erwünscht. Die Bodenform der Weichen wird konisch gehalten, um das Entleeren der Behälter zu erleichtern. Große Weicheinheiten können wohl rechteckig angeordnet sein, doch erfolgt ihre Unterteilung in einzelne quadratische Abschnitte mit jeweils eigenem Konus.

1.3.5.2 Das *Fassungsvermögen* einer Weiche errechnet sich aus der zu weichenden Gerstenmenge, der Volumenzunahme des Gutes während der Weiche und einem zusätzlichen Raum für die Bewegung der Gerste. Unter Berücksichtigung dieser Punkte bemisst sich der Weichraum für 1 t Gerste auf 2,2–2,4 m^3. Das Gesamtfassungsvermögen aller Weichen soll auf die maximal erforderliche Weichzeit einschließlich der Einweich-, Ausweich- und Reinigungszeiten abgestimmt sein. Unter Zugrundelegung moderner Weichverfahren werden im Allgemeinen 45–48 h Belegungszeit der Weichen angenommen; dies erfordert die Anordnung von jeweils zwei Weicheinheiten. Vielfach wird die Weichzeit nur mehr auf 24–28 h bemessen und die Ankeimphase in den Keimapparat verlegt. Hier sind nur mehr ein bis zwei Weicheinheiten erforderlich. Eine weitere Beschränkung der Weichzeit kann u. U. die Luftrasten zu stark beschneiden, sodass sie ihre physiologische Wirkung nicht mehr auszuüben vermögen. Die Zahl der Weichgefäße pro Einheit hängt wiederum von der Kapazität der Keimanlage ab: um das Weichgut gleichmäßig bearbeiten zu können, werden die einzelnen Weichbehälter auf ein Fassungsvermögen von höchstens 50 t bemessen. Desgleichen darf die Weiche nicht zu tief sein, da sich u. U. die Belüftung schwierig gestaltet und damit die spätere Keimung ungleichmäßig verläuft. Große Behälter werden deshalb rechteckig, mit mehreren Konusausläufen, angeordnet.

1.3.5.3 Die *Aufstellung der Weichen* erfolgt am besten zwischen den Vorratsrümpfen für die Einweichgerste und den Keimanlagen. Durch die Möglichkeit des nassen Ausweichens hat jedoch der Standort zu den Keimapparaten an Bedeutung verloren.

1.3.5.4 Der *Weichraum* muss von der Außentemperatur unabhängig sein; er soll im Winter durch Beheizen, im Sommer durch Kühlen auf einen Temperaturbereich von 12–15 °C eingestellt werden können. Darüber hinaus ist für eine Konditionierung der Raumluft auf 85–90 % Feuchtigkeit zu sorgen, da diese, z. B. durch die CO_2-Ventilatoren durch das Gut gezogen wird.

Um zu vermeiden, dass der gesamte Weichraum mit befeuchteter Luft klimatisiert werden muss, kann es günstiger sein, die einzelnen Gefäße abzudecken und in die Haube die Konditionierung bzw. Temperierung einzubauen.

Die Einrichtung der Weichen hat sich gegenüber früher wesentlich komplizierter gestaltet. Zu der ursprünglichen Wasserzu- und -ableitung, der Ausweichöffnung und dem Schwimmgerstenablauf gesellten sich Vorrichtungen zum Umpumpen des Weichgutes, zur Druckbelüftung, zum Absaugen der Kohlensäure und eventuell zum Berieseln.

1.3.5.5 Die *Wasserzu- und -ableitung* soll einen raschen Wasserwechsel ermöglichen, um die Nassweichzeiten genau einhalten zu können. Der Zeitaufwand zum Befüllen der einzelnen Weichen soll eine Stunde keinesfalls überschreiten.

Eine Berieselung des Gutes über Sprühdüsen dient weniger der Wasserzufuhr als vielmehr einer Befeuchtung der in die Gutsoberfläche eingesaugten Luft. Hierdurch kann u. U. auch ein Temperaturanstieg abgefangen werden. Die Befeuchtungsdüsen müssen flächendeckend angeordnet sein.

1.3.5.6 Das *Umpumpen* geschieht mithilfe von Weichgutpumpen, die, ebenso wie die zugehörigen Rohrschalter so ausgebildet sein müssen, dass eine Verletzung des Weichgutes, selbst im gabelnden Zustand vermieden wird. Durch Anordnung von perforierten Abscheidern kann das Schmutzwasser beim Umpumpen von einem Weichgefäß zum anderen weitgehend entfernt werden. Das Umpumpen schafft wohl eine gute Reinigung des Gutes, aber keine befriedigende Umschichtung, da die im Konus befindlichen Partien immer wieder nach unten gelangen.

1.3.5.7 Die *Zufuhr der Druckluft* geschieht bei kleinen Weichen durch einen einfachen, tragbaren Aufziehapparat, bei größeren durch Steigrohre, durch die das Weichgut mithilfe von Pressluft vom Boden weg und mit dem Wasser hochgeworfen wird. Verschiedentlich erfolgt die Verteilung der Gerste mittels Schwenkrohren. Auch feingelochte Ringkränze, die in der Weichschüssel liegen, bewirken eine feine Verteilung der Pressluft. Zum Umwälzen des Gutes genügt bei entsprechender Luftleistung (angesaugte Luftmenge ca. 15 m^3/(t h)) ein Lüftungsring im Konus; in der Einweichweiche werden mehrere, einzeln abschaltbare Lüftungsringe installiert. Druckluft ist infolge ihrer Verdichtung auf 2–5 bar Überdruck meist warm. Eine mögliche Temperaturerhöhung bei der 10–15 min währenden Druckbelüftung ist daher zu beobachten. Ist

die Umwälzung bei Nassbelüftung genügend intensiv, so kann auf das Umpumpen dann verzichtet werden, wenn jede Weiche zum Ein- und Ausweichen geeignet ist. Hierdurch lässt sich eine namhafte Wasserersparnis erzielen, da das beim Umpumpen erforderliche Zusatzwasser wegfallen kann.

1.3.5.8 Die Entfernung der Kohlensäure geschieht durch eigene Saugventilatoren aus der Weichschüssel heraus. Soll nur die Kohlensäure abgesaugt werden, so genügt bei einer Ventilatorleistung von 15 m^3/(t h) eine stündliche, 10–15 min währende Absaugung. Muss jedoch bei ausgedehnten Trockenweichen (12–20 h) das Gut nicht nur von der CO_2 befreit, sondern gleichzeitig auch belüftet und gekühlt werden, so ist am ersten Weichtag eine Ventilatorleistung von 50 m^3/(t h), an den folgenden Tagen von 100–120 mm^3/(t h) erforderlich. Bei nachträglichem Einbau stärkerer Ventilatoren in bestehende Weichen empfiehlt es sich, einen Siebkorb im unteren Drittel des Konus anzubringen, der die gewünschte Luftförderung ermöglicht.

1.3.5.9 *Flachbodenweichen* sind überwiegend rund und verfügen über einen eben verlegten Hordenboden. Auf diesem liegt das Weichgut in einer Schütthöhe von 1,7–2,0 m (1200–1500 kg/m^2). Der Raum unter der Horde ist ca. 70 cm hoch, wodurch sich ein entsprechend höherer Wasserverbrauch ergibt (s. vorstehender Abschn. 1.3.4). Die Beladung und Entleerung erfolgen über einen höhenverstellbaren, meist mehrarmigen Radialräumer, dessen verstellbare Paddeln ein gleichmäßiges Ausbreiten bzw. ein vollständiges Abräumen des Gutes erlauben. Die Druckbelüftung während der Nassweichen erfolgt durch fest eingebaute Düsen oder drehbare, mit Bohrungen versehene Rohre. Vor allem diese letztere Vorrichtung kann zum Reinigen der Horde von unten sowie des Hordenraumes herangezogen werden. Die Kohlensäureabsaugung wird von oben nach unten getätigt. Die Lüfterleistung beträgt bis zu 200 m^3/(t h), sie wird mittels Frequenzregelung dem jeweiligen Stadium angepasst (z. B. anhand der Weichguttemperatur oder der Temperaturdifferenz zwischen Ab- und Zuluft). Bei den genannten Luftmengen ist es klar, dass diese temperiert und befeuchtet („konditioniert“) werden müssen. Das Weichgefäß ist durch eine Haube abgedeckt. Eine rechteckige Ausführung ist meist für den zweiten Weichtag nach einer vorausgehenden Weiche in zylindrokonischen Behältern vorgesehen. Sie ist mit heb- und senkbaren Horden nach dem Prinzip des „Umsetzkastens" (s. Abschn. 1.5.3.5) und einem Auftrag- und Abräumwender versehen. Das Ausweichen geschieht über einen Entleerungsbehälter, von dem aus das Gut nass oder trocken in die Keimanlage gefördert wird. Nachdem der Raum unter der Horde konstruktionsbedingt nicht unter 1 m Höhe verringert werden kann, wird auf eine eigentliche Nassweiche verzichtet und das Gut über den Wender durch eine intermittierende Beschwallung oder Besprühung bewässert. Dabei wird die Ausbildung von Rinnsalen vermieden. Bei nassem Ausweichen kann auch eine – sehr kurze –Nassweiche über den Entleerungsbehälter geschehen.

Ein neu entwickelter Flachweichentyp ist die „Ökoweiche“, die praktisch keinen Raum mehr unter der Horde aufweist. Der Siebboden sitzt auf dem Behälterboden auf. Die Zu- und Ableitung des Weichwassers, die Druckbelüftung während der Nassweichen und die Abführung der Kohlensäure während der Luftrast erfolgen über eine Vielzahl von gleichmäßig über die gesamte Bodenfläche verteilten „Anstichen“. Diese münden in ein Rohr mit konischem Einlauf, um günstige Strömungsverhältnisse für Wasserzu- und -ablauf sowie die Absaugung der Kohlensäure zu schaffen. Die Pressluft wird über eine eigene (dünne) Leitung in die Konen der Anstiche verbracht. Die Beladung beträgt 1000 kg/m^2, die Kapazität der Weiche kann bis zu 550 t betragen. Die Höhe des Weichguts ist 1,4 m. Der Raum unter dem Behälterboden, der das gesamte Rohrsystem aufnimmt, ist 2 m hoch. Durch den Wegfall des Raumes unter der Horde ist es möglich, bis zu 40 % Wasser bzw. Abwasser im Vergleich zu den bisherigen Flachweichen zu sparen. Es kommt aber der Reinigung des Systems, vor allem in der Peripherie große Bedeutung zu.

Auch diese großen Einheiten müssen in einer möglichst kurzen Zeit beladen und entleert werden können. Hierfür sind die Fördereinrichtungen groß genug zu bemessen, um die beiden Vorgänge in jeweils 2 h ausführen zu können. Bei Turmmälzereien sind die Flachbodenweichen im obersten Stockwerk der Anlage angeordnet. Dienen sie der Erweiterung einer bestehenden Anlage, so ist hierfür ein vollklimatisierter und isolierter Raum zu schaffen; die Transportaufgaben sind dann etwas schwieriger zu lösen, vor allem auch beim Ausweichen. Zur Beschickung der Weichen können mit Vorteil Waschschnecken oder Waschtrommeln eingesetzt werden.

Die Einweichschnecke ist schräg, d. h. in einem Winkel von 30–35° nach oben angeordnet. Der Schneckentrog ist im unteren Teil so ausgebildet, dass das Gut von einer Wasserschicht (50–30 cm) bedeckt ist. Um die geforderte hohe Leistung beim Einweichen zu erbringen, arbeiten mehrere Schne-

cken nebeneinander. So verfügt z. B. eine Anlage für 90 t/h über fünf Schnecken nebeneinander. Für höhere Leistungen sind dann zwei Aggregate einzusetzen. Durch den intensiven Kontakt der Gerste mit dem im Gegenstrom aufgebrachten Wasser wird der entstehende Abrieb abgeschwemmt und so ein guter Reinigungseffekt erzielt. Der erzielbare Wassergehalt des Gutes liegt trotz angewärmtem Wasser kaum über 25–30 %.

Die Waschtrommel dient ebenfalls einer intensiven Reinigung des Gutes. Die Trommel bewegt die an einem Ende eintretende Gerste mittels Aushebekörben, die an der Trommelwand spiralförmig angeordnet sind, im Laufe von 30–45 min zum Auslaufende hin. Das Waschwasser läuft im Gegenstrom zu, sodass das Gut auf der Auslaufseite mit dem Frischwasser in Kontakt kommt. Die Trommel ist dabei zu rund einem Drittel mit Wasser gefüllt. Die Leistung beträgt je nach Größe und Durchsatz der Trommel 20–60 t/h. Der erreichbare Wassergehalt ist etwa der der oben geschilderten Waschschnecke.

1.3.6 Die Technik des Weichens

1.3.6.1 Die *herkömmliche Weicharbeit* gestaltete sich in ihrer einfachsten Form wie folgt: Die Gerste springt über einen Verteiler langsam in das Weichgefäß ein. Die schwere Gerste sinkt allmählich zu Boden, die leichte schwimmt mit den sonstigen Verunreinigungen auf der Wasseroberfläche und wird als „Schwimmgerste" abgehoben, gesammelt und getrocknet. Ihre Menge beträgt je nach Reinheitsgrad der Gerste 0,1–1 %. Eine starke Belüftung vermittelt eine kräftige Bewegung und damit eine Reinigung des Weichgutes. Durch Überlaufen des Weichwassers werden die Verunreinigungen entfernt. Die nächsten Wasserwechsel erfolgen jeweils nach 12–24 h, je nach Reinheitsgrad der Gerste, Wassertemperatur und Weichdauer. Verschiedentlich wurde das Gut zwischen zwei Wasserwechseln ohne Wasser belassen. Diese Maßnahme sollte eine bessere „Belüftung" der Gerste ermöglichen, da bei ausschließlicher Wasserweiche der im Wasser gelöste Sauerstoff in kürzester Zeit aufgezehrt ist. Im Laufe der Entwicklung erfuhr die Luftweiche eine Ausdehnung bis auf 50, ja 80 % der Gesamtweichzeit. Das außen am Korn befindliche „Haftwasser" vermittelte während der „Trockenweiche" nicht nur in gleicher Weise eine Erhöhung des Weichgrades, sondern führte auch zu einer Verringerung der Gesamtweichdauer und zu einer Beschleunigung der Ankeimung.

Bei einem konventionellen Weichverfahren wird während der Nassweiche normalerweise alle 1–2 h 10 min lang mit Pressluft belüftet. Während der Luftrasten ist es notwendig, alle 1–2 h 10–15 min lang die Kohlensäure abzusaugen. Je nach dem Weichstadium bildet sich in dieser Zeitspanne schon eine Menge von 3–5 Vol.-% CO_2.

Das Umpumpen kann nur während der Nassweiche erfolgen, im Allgemeinen wird diese Maßnahme im Verlauf einer 60–70-stündigen Weiche zweimal getätigt. Verschiedentlich wird ein Teil der Wasserweichzeit auch durch Rieselperioden ersetzt.

1.3.6.2 *Moderne Weichverfahren:* Die empirischen Methoden der Wasserzufuhr werden mehr und mehr durch Verfahren abgelöst, bei denen in einzelnen Abschnitten durch kurze Wasserweichzeiten definierte Weichgrade angestrebt werden, die dann während langer Trockenperioden ein ganz bestimmtes physiologisches Verhalten des Gutes zur Folge haben. Bei einem Wassergehalt von 30 % und einer 14–20stündigen Luftrast verringert sich die Wasserempfindlichkeit der Gerste; bei einem Wassergehalt von ca. 38 % wird innerhalb einer Periode von 14–20 h die gleichmäßige Ankeimung des Gutes abgewartet. Die Dauer der Luftrasten hängt von der Wasserempfindlichkeit einer Gerste ab. Diese ist bei heißer, trockener Witterung während der Reife und Ernte geringer als bei kühler feuchter Endphase der Vegetationszeit. So ist für erstere Gersten eine Luftrast von nur 14 h, bei Letzteren von 20–24 h notwendig. Auch die Dauer der zweiten Luftrast ist hierdurch beeinflusst; sie ist durch das „Spitzen" der Gerste gekennzeichnet. Es ist völlig falsch, vor dem einheitlichen Spitzen der Gerste, sei es auch nur durch Berieseln, Wasser zuzugeben, da hierdurch stets ein ungleichmäßiges Gewächs resultiert. Nasses Ausweichen vermittelt dann einen Wassergehalt von 42–43 %, der durch sachgemäßes Spritzen im Keimapparat auf das endgültige Feuchtigkeitsniveau angehoben wird. Um eine gleichmäßige Behandlung des Gutes sicherzustellen, ist es unerlässlich, während der Nassweichen mittels Pressluft umzuwälzen. Bei Verwendung einer zentral angeordneten Luftdüse mit Steigrohr (Geisir) ist unter Wasser der beste Kontakt zwischen Luft und Gerste gegeben, die Sauerstoffversorgung des Korns besser als bei Düsenrohren, da der gesamte Weicheinhalt umgewälzt wird. Dies wird zweckmäßig während der gesamten Nassweichzeit gehandhabt.

Ein dauerndes Absaugen während der Luftrasten verhindert einerseits eine Ansammlung von CO_2 und andererseits einen Anstieg der Haufentemperatur über 20–22 °C. Wie schon erwähnt, ist die eingesaugte Luft zu temperieren und zu befeuchten,

um – vor allem in der Oberschicht – durch Zufuhr von ungesättigter Luft eine Verdunstung von Oberflächenwasser zu vermeiden. Dies würde die obere Schicht des Weichgutes abkühlen, während die mittleren und unteren Schichten die ursprüngliche Temperatur behalten. Es kommt damit zu unterschiedlichen Bedingungen, die eine ungleichmäßige Ankeimung zur Folge haben.

Bei kleineren Weichgefäßen kann es auch nützlich sein, zur Vermeidung dieser Erscheinung die oberste Schicht des Keimgutes kurz, d. h. nur sekundenweise zu besprühen.

Eine Kontrolle der Temperaturen im Weichraum, im Weichgut selbst (in verschiedenen Höhen) und ggf. in der den CO_2-Ventilator verlassenden Luft ist sehr bedeutsam. Dasselbe gilt auch für die Kontrolle der Feuchtigkeit bei den einzelnen Schritten des Weichprozesses. Dies geschieht am einfachsten anhand von 1 kg Gerste in einem Leinwandsäckchen, das in das Weichgut eingegraben wird. Auch Schnellfeuchtigkeitsbestimmer haben sich eingeführt (Carbidmethode oder Infrarot-Trockner).

Der Ablauf eines modernen Weichverfahrens ist wie folgt:

1. Nassweiche bei 12 °C Wassertemperatur bis auf 30 % Wassergehalt; Dauer 4–6 h, Intensivwäsche durch Belüften, am besten durch Umwälzen.
1. Luftrast: 14–20 h, je nach Wasserempfindlichkeit der Gerste. Absaugen mit ca. 50 m^3/(t h) zuerst periodisch, dann dauernd; Temperatur darf nicht über 20 °C ansteigen.
2. Nassweiche bei 18 °C Wassertemperatur bis auf 37–38 % Wassergehalt, Dauer 1–2 h, Intensivbelüftung; evtl. durch dauerndes Umwälzen.

Ausweichen maximal 1–2 h; Gesamtweichzeit 22–28 h.

Steht eine weitere Weiche, vorzugsweise eine Flachweiche zur Verfügung, dann ist nach der 1. Nassweiche folgende Weiterführung günstig:

2. Luftrast bei 18 °C bis zum gleichmäßigen Ankeimen (Spitzen) des Gutes; CO_2-Absaugen dauernd mit 100–150 m^3/(t h).
3. Nassweiche bei 18 °C Wassertemperatur bis auf 41 % Wassergehalt, Dauer 1–2 h.

Ausweichen maximal 1–2 h, Gesamtweichzeit 36–48 (–52) h.

Der Temperaturanstieg während der Luftrast macht eine entsprechende Anpassung der folgenden Nassweiche erforderlich, um einen, während der ersten 48 h der Vegetationszeit schädlichen Temperaturschock zu vermeiden. Dieser stufenweise Temperaturanstieg leitet, in Verbindung mit einer Ausweichtemperatur von 18 °C zu einem Keimverfahren mit fallenden Temperaturen (s. Abschn. 1.5.3.3) über. Aus diesem Grunde ist es auch wichtig, dass für das nasse Ausweichen genügende Mengen Wasser von 18 °C zur Verfügung stehen. Das kürzere Weichverfahren mit nur zwei Nassweichen hat den Vorteil, dass mit der zweiten Nassweiche und beim nassen Ausweichvorgang die günstige Ankeimfeuchte von ca. 38 % eingestellt werden kann; auch wird nur zweimal Wasser benötigt, sodass sich der Weichwasserbedarf auf 3–3,5 m^3/t verringert. Auch ist es bei ausschließlicher Ausstattung der Weichanlage mit Trichterweichen in der wärmeren Jahreszeit oftmals schwierig, die gewünschten Temperaturen während der zweiten Luftrast, d. h. in der Ankeimphase zu halten. Dieser wichtige Abschnitt ist dann im Keimapparat unter kontrollierten Bedingungen günstiger, wenn genügend Keimzeit (1 Weichtag und 6 Keimtage) zur Verfügung steht.

Das zweitägige Weichverfahren, das vorzugsweise am zweiten Tag in einer Flachweiche durchgeführt wird, bietet die Möglichkeit einer dritten Nassweiche, um das gleichmäßig spitzende Gut auf 41–42 % Feuchte zu bringen. Wird während der dritten Nassweiche ausgeweicht, so ist diese – unter optimaler Luftzufuhr – so kurz zu bemessen, dass die ankeimende Gerste keinen „Wasserschock" erfährt. Dessen Überwindung kann bis zum Abtrocknen der Kornoberfläche bis zu 12 h dauern. Infolge Blockierung der Sauerstoffzufuhr durch den Wasserfilm wird die weitere Keimung nebst der Bildung von wichtigen Enzymen gebremst. Hier ist das „trockene" Ausweichen günstiger, doch muss eine genügende Zeitspanne (3–4 h) zwischen der dritten Nassweiche und der letztlichen Überführung des Gutes in den Keimapparat gegeben sein.

Eine dritte Nassweiche wird bei Gersten mit härteren Mehlkörperstrukturen als günstiger angesehen, um eine bessere und gleichmäßigere Durchfeuchtung des Endosperms zu erreichen. Auch bei heiß und trocken aufgewachsenen Gersten mit geringer Wasserempfindlichkeit kann es der Fall sein, dass der rasch wachsende Keimling dem Mehlkörper Feuchtigkeit vorenthält oder u. U. wieder entzieht.

Beim nassen Ausweichen wirkt sich der beim Pumpen entstehende Druck verstärkend auf den oben erwähnten Wasserdruck aus. Genügend bemessene Leitungsquerschnitte und die eventuelle Anordnung einer zweiten bzw. weiteren Förderpumpe, z. B. bei Beschickung mehrerer Keimkastenetagen von einem tiefer angeordneten Weichhaus, helfen diesen Nachteil zu verringern.

1.3.6.3 Andere Verfahren: auf ähnlichen Prinzipien wie die geschilderte „pneumatische Weiche" beruht das Verfahren der *Flutweiche*, bei der der Temperaturanstieg während der Luftrasten durch mehrere, z. T. sehr kurze, Nassweichen ausgeglichen wurde.

Die ebenfalls in den 60er Jahren eingeführte *Wiederweiche* sah vor, nach ca. 60–70 h Weich- und Keimzeit eine nochmalige Vollweiche von 10–18 h Dauer bei 18 bzw. 12 °C Wassertemperatur durchzuführen. Hierdurch wurde die ursprüngliche Ankeimfeuchte von 38 % beim gabelnden Gut bis auf 50–52 % erhöht.

Beide Verfahren haben einen großen Beitrag zur Kenntnis der heutigen Weichtechnologie geleistet; sie werden aber infolge des hohen Wasserverbrauchs und der erhöhten Energiekosten zur Trocknung des sehr feuchten Grünmalzes nicht mehr angewendet.

Die Rieselweiche wird im Keimapparat mit oder ohne voraufgehende Einweichschnecke oder Trommelweiche durchgeführt. Dabei wird das Wasser mittels Düsen, die am Wender angebracht sind, auf das Gut aufgetragen. Um eine gute Mischung zu erzielen, wird dabei anfangs der Vorschub des Saladinwenders (s. Abschn. 1.5.3.3) verlangsamt und die Umdrehungszahl der Wenderschnecken bis auf 36 U/min gesteigert. Erst mit dem beginnenden Spitzen der Gerste wird der Vorschub beschleunigt und die Tourenzahl verringert. Es ist wichtig, dass die Intervalle der „Nassweichen" und der „Luftrasten" ähnlich wie beim pneumatischen Weichverfahren eingehalten werden, um deren physiologische Wirkung zu erzielen. Die Gleichmäßigkeit der Korndurchfeuchtung kann bei harten Gersten u. U. zu wünschen übrig lassen.

1.3.6.4 Die *Beurteilung der Weicharbeit* kann bei den heute üblichen großen Weich- und Keimanlagen nicht mehr empirisch, sondern nur mehr durch die exakte Bestimmung des Wassergehaltes und der Temperaturen in den einzelnen Stufen (s. Abschn. 1.3.6.2) erfolgen. Je nach der Gerstenbeschaffenheit kann die Wasseraufnahme unterschiedlich rasch erfolgen. Bei einer zweitägigen Weiche ist vor der Erhöhung des Wassergehaltes über 38 % hinaus das gleichmäßige Spitzen des Gutes zu überwachen. Der weitere Verfolg des Keimlingwachstums, z. B. die Gleichmäßigkeit des Gabelns lässt Rückschlüsse auf die Zweckmäßigkeit der Weicharbeit zu.

1.3.6.5 Die *Weichverluste* setzen sich zusammen aus:

1. Staub und Verunreinigung ca. 0,1 %;
2. Auslaugung der Spelzen ca. 0,8 %;
3. Atmung, je nach Intensität des Weichverfahrens, 0,5–1,5 %. Sie ist bei langen Trockenperioden stärker als bei überwiegender Nassweiche.

Die *Schwimmgerste* wird nicht als Schwandfaktor gewertet, da sie wieder verkauft wird. Ihre Menge liegt bei 0,1–1,0 %.

1.3.6.6 Der *Pflege und Reinhaltung* der Weiche ist infolge der Verschmutzung durch die von der Gerste mitgeführten Organismen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Der Anstrich der Weichen auf der Innenseite muss überwacht und bei Bedarf ausgebessert oder erneuert werden. Eiserne Weichen bedingen sonst die Gefahr einer Verschlechterung der Malzqualität. Je mehr Einbauten, umso schwieriger ist die Instandhaltung der Weichgefäße, obgleich moderne Hochdruckspritzen eine wesentliche Erleichterung erbringen konnten. Bei den runden Flachweichenkonstruktionen ist eine automatische Reinigungsanlage sowohl unterhalb als auch oberhalb des Hordenbodens unerlässlich.

1.4 Die Keimung

1.4.1 Die Theorie der Keimung

Die Keimung ist ein physiologischer Vorgang, bei dem sich die im Keimling angelegten Organe, Wurzel- und Blattkeim, auf Kosten der im Mehlkörper gespeicherten Nährstoffe entwickeln.

Die Keimung verläuft nur unter bestimmten Bedingungen: genügende Feuchtigkeit, Wärme und Luft bzw. Sauerstoff. Zur Entfaltung der Lebensvorgänge benötigt das Korn nur einen Wassergehalt von 35–40 %, um jedoch in der zur Verfügung stehenden Keimzeit die gewünschten Stoffumsetzungen zu erreichen, ist ein Feuchtigkeitsniveau von 43–48, ja 50 % notwendig. Die Zufuhr des Vegetationswassers erfolgt in der Weiche und durch nachfolgendes Spritzen. Es ist eine Hauptaufgabe einer richtigen Haufenführung, diesen Feuchtigkeitsgehalt während der gesamten Keimzeit aufrechtzuerhalten. Bei einer Verminderung dieses Wassergehaltes wird die Keimung und der Stoffwechselumsatz beeinträchtigt.

Die zur gleichmäßigen Keimung günstigsten *Temperaturen* liegen zwischen 14 und 18 °C. Bei niedrigeren Temperaturen werden die Lebensvorgänge verlangsamt, bei höheren Temperaturen beschleunigt und der Atmungsverlust gesteigert.

Die bei der Keimung benötigte Energie wird durch Atmung gedeckt. Damit ist Luftsauerstoff zum Wachstum unumgänglich notwendig. Das Material für die Verbrennung sind Kohlenhydrate, vor allem Stärke, als Atmungsprodukte entstehen Wärme, Kohlendioxid und Wasserdampf. Kohlensäure hemmt die Atmung; bei Sauerstoffmangel bilden sich Stoffwechselprodukte der Gärung. So muss durch genügende Luftzufuhr für einen normalen Ablauf des Atmungsprozesses und für eine Entfernung der CO_2 gesorgt werden. Zu starkes Lüften ist zu vermeiden, da hierdurch die Atmungsverluste zu hoch werden. Es kann daher in der zweiten Hälfte der Keimung der Zutritt von Luftsauerstoff etwas beschränkt werden.

Durch wahlweise Veränderung der das Wachstum beeinflussenden Faktoren – Feuchtigkeit, Temperatur, Sauerstoff und Zeit – lassen sich die biologischen Vorgänge bei der Keimung innerhalb gewisser Grenzen steuern.

Als Folge der Keimbedingungen treten zunächst äußerlich wahrnehmbare Gestaltsveränderungen des Kornes auf. Die Wurzelscheide durchbricht das Korn, die Gerste „spitzt", dann treten Haupt- und Nebenwurzeln aus dem Korn hervor, das Gut „gabelt". Auch der Blattkeim durchbricht die Frucht- und Samenschale und wächst unter der Spelze auf die Kornspitze zu. Bei der künstlichen Keimung sollen sich beide Organe nur bis zu einem gewissen Grad entwickeln.

Neben diesen Wachstumserscheinungen treten im Mehlkörper Umsetzungen ein: durch Enzyme werden Reservestoffe abgebaut und in lösliche Form übergeführt. Sie dienen entweder der Gewinnung von Energie oder sie werden zu neuen Geweben im Blatt- und Wurzelkeim aufgebaut. Äußerlich wahrnehmbar werden diese Vorgänge durch eine zunehmende Zerreiblichkeit des Mehlkörpers.

Nach der Zuführung des Vegetationswassers werden Wuchsstoffe (Gibberellinsäure, Gibberellin A_3) ausgeschieden, die von der Stammanlage des Keimlings über ein sich ausbildendes Gefäßsystem zu den Ausläufern der Aleuronschicht, die an das Schildchen angrenzen, gelangen. Diese Wuchsstoffe, die im Gut nach dem Ausweichen noch nicht feststellbar sind, zeigen nach 24 h ein Niveau von 46 µg/kg Gersten-TrS, nach 48 h 50 µg und nach 72 h nur mehr 34 µg/kg Gerste. Im Darrmalz sind ohne Zusatz von Gibberellinsäure (in Deutschland nicht gestattet) nur 2–5 µg/kg zu finden. Die Gibberelline bewirken in der Aleuronschicht und im Schildchen die Neubildung einer Reihe von Enzymen wie z. B. der α-Amylase, der Grenzdextrinase und von Endopeptidasen. Die Endo-β-Glucanase, die Endo-Xylanase und die Phosphatase werden in ihrer Entwicklung durch Gibberelline gefördert. Daneben tritt durch den Abbau aus protoplasmatischer Bindung oder durch Freisetzen von aktivierenden Gruppen (z. B. Sulfhydrilgruppen) eine Aktivierung von Sulfhydryl-Endopeptidasen sowie Exo-Enzymen ein, wie der β-Amylase, der verschiedenen Exopeptidasen, der Exo-β-Glucanase und anderer. Die vermöge der Wirkung der verschiedenen Enzyme abgebauten niedermolekularen Substanzen werden vom Schildchen aufgenommen und dem Keimling zugeführt. Durch das erwähnte Gefäßsystem ist die Enzymbildung und -wirkung auf der Rückenseite des Korns stärker als auf der Bauchseite. Sie verläuft etwa parallel dem Aufsaugeepithel.

Die wichtigsten Gruppen der hier interessierenden hydrolytischen Enzyme sind die Hemicellulasen, die proteolytischen Enzyme, die Amylasen und die Phosphatasen. Neben diesen treten die Umsetzungen anderer Stoffgruppen in den Hintergrund.

1.4.1.1 Die *Wirkung der cytolytischen Enzyme*: Die *Hemicellulasen* oder *Cytasen* umfassen dem Aufbau der Hemicellulosen zufolge eine Reihe von Enzymen, die sich wie folgt einteilen lassen:

β-Glucanasen:	Endo-β-1→4-Glucanasen, Endo-β-1→3-Glucanasen, unspezifische Endo-β-Glucanasen, Exo-β-Glucanasen, β-Oligosaccharasen, β-Glucan-Solubilase
Pentosanasen:	Endo-Xylanasen, Exo-Xylanasen, Xylooligosaccharasen, Arabinosidasen, Feruloyl-Esterase, Xyloacetyl-Esterase

Während die Exo-Enzyme bereits im ruhenden Korn eine gewisse Aktivität besitzen, werden die Endo-Enzyme (Endo-β-Glucanase, Endo-Xylanase) zu Beginn der Keimung durch Wuchsstoffe in Schildchen und Aleuronschicht stimuliert. Summarisch entwickeln sich Endo-β-Glucanasen bei Vorhandensein von genügend Sauerstoff kräftig. Sie bauen das lösliche, hochmolekulare β-Glucan aus den Gummistoffen zu Glucandextrinen mittleren Molekulargewichts ab. Die Exo-β-Glucanasen erfahren einen Aktivitätsanstieg um das rund 10-Fache; sie spalten die β-1→4-Bindungen der Glucanketten vom nicht reduzierenden Ende her, wobei das Disaccharid Cellobiose entsteht, das ebenso wie die sich aus einer β-1→3-Bindung aufbauende Laminaribiose durch die entsprechenden Oligosaccharasen zu Glucose abgebaut wird. Das hochmolekulare, mit Protein durch eine Esterbindung verknüpfte Hemicellulosen-β-Glucan, das ein Molekulargewicht von 40×10^6 Da aufweisen kann,

Feuchtigkeitsniveau	%	40	43	46	
M-S-Differenz (EBC)	%	5,1	2,9	1,1	
Viskosität mPas		1,69	1,60	1,52	
Keimtemperatur °C		13	15	17	
M-S-Differenz (EBC)	%	1,6	1,4	1,0	
Viskosität mPas		1,55	1,52	1,55	
Keimzeit Tage		4	5	6	7
M-S-Differenz (EBC)	%	3,6	2,0	1,5	1,2
Viskosität mPas		1,65	1,59	1,54	1,48
CO_2-Gehalt in % nach 3 Tagen Keimzeit		0	10	20	
M-S-Differenz (EBC)		0,7	1,2	1,7	
Viskosität mPas		1,47	1,48	1,51	

wird von der β-Glucan-Solubilase freigesetzt und damit in lösliche Form übergeführt. Dieses Enzym, eine Carboxypeptidase ist bereits im ruhenden Korn vorhanden; seine Aktivität wird während der Keimung auf den 2 bis 3-fachen Wert vermehrt. Durch seine Abbauleistung wird das β-Glucan dem Angriff der oben erwähnten β-Glucanasen erst zugänglich.

Die hochmolekularen Araboxylane erfahren einen Abbau von „innen" heraus durch Endo-Xylanasen; die Arabinosidasen lösen die Arabinoseseitenketten ab und ermöglichen so die Wirkung der Exo-Xylanase. Die entstehenden Endprodukte Arabinose und Xylose werden ebenso wie die Glucose in neue Zellen aufgebaut oder sie dienen dem Energiestoffwechsel.

An diesem Abbau hat auch die Feruloyl-Esterase Anteil: Sie löst die Esterbindung zwischen Ferulasäure und Arabinoxylan. Es sind aber auch Quervernetzungen von Arabinoxylanen mit Ferula- und Diferulasäuren und Proteinen gegeben. Die Freisetzung der Ferulasäure, die auch noch im Sudhaus beim Maischen erfolgt, spielt für das Aroma mancher Bierarten eine besondere Rolle (s. Abschn. 8.4.3).

Entsprechend den enzymatischen Reaktionen beim Abbau der β-Glucane ist auch beim Pentosanabbau eine Xylan-Solubilase wirksam. Sie trägt zur Freisetzung hochmolekularen Araboxylans bei, welches dann von den Xylanasen und der Arabinosidase weiter abgebaut wird. Auch eine Feruloyl-Esterase ist bei diesen Abbauvorgängen wirksam: Sie löst die Verknüpfungen von Araboxylanmolekülen mit Ferulasäure.

Der Pentosanabbau beim Mälzen ist noch wenig erforscht; er scheint den gleichen Faktoren zu folgen wie der Abbau der β-Glucane. Doch kommt ihm bei der Vermälzung des Weizens eine ungleich größere Bedeutung zu, da die Viskosität von Weizenwürzen hauptsächlich von Pentosanen bestimmt ist. Hier ist noch Forschungsbedarf gegeben.

Zur Beurteilung des Zellwandabbaus im Gerstenmalz sind weniger die Globalmethoden wie Mehlschrotdifferenz und Viskosität der Kongresswürze als aussagefähig erkannt worden als vielmehr die spezifischen Untersuchungen des Zellwandabbaus mithilfe der Calcofluor-Methode. Sie ermittelt die Modifikation (Auflösung) „M" und die Homogenität „H", wobei bei gut gelösten Malzen „M" mindestens bei 85 % und „H" bei mindestens 75 % liegen soll. Höhere Werte sind bei sortenrein vermälzten Gersten durchaus erreichbar, wie auch Friabilimeterwerte über 90 % vorliegen können.

Die Wirkung der Glucanasen ist wesentlich stärker als die der Pentosanasen, wodurch der cytolytische Abbau während der Keimung 4/5 Glucane und nur 1/5 Pentosane umfasst. Die Zellwände werden nicht vollständig „aufgelöst", sondern nur einzelne Gruppen entfernt und damit leichter durchlässig. Der Vorgang dieser Auflösung schreitet parallel dem Aufsaugeepithel langsam vom Keimling bis zur Kornspitze vor. Der „Auflösungsgrad" des Malzes wird durch folgende Methoden bestimmt: Wäh-

Feuchtigkeitsniveau %	38	42	43,5	45
Friabilimeter mürb/ganzglasig %	58/3,3	85/1,0	90/0,8	93/0,5
Keimtemperatur °C	14,5	16	18	
Friabilimeter mürb/ganzglasig %	90/0,8	94/0,4	93/0,5	
Keimzeit Tage	5	6	7	8
Friabilimeter mürb/ganzglasig %	80/3,0	85/1,3	90/0,8	95/0,3

rend der Keimung empirisch durch die Zerreiblichkeit des Mehlkörpers, im fertigen Malz analytisch durch die Mürbigkeit (Schnittprobe), durch den Friabilimeterwert nach Chapon, der die mehligen, halb- und ganzglasigen Körner erfasst, durch Färben des längs geteilten Korns (z. B. mittels Schleifen) mit Calcofluor oder Methylenblau, wodurch Auflösung und Homogenität derselben dargestellt werden. Im Rahmen der Kongressanalyse lassen sich die Ausbeutedifferenz zwischen der Mehl- und Schrotanalyse sowie die Viskosität der Würze erfassen. Die Auflösung kann während der Keimung im positiven Sinne beeinflusst werden durch hohe Keimgutfeuchte, Keimguttemperaturen bis zu ca. 18 °C, reichlich Sauerstoff und durch entsprechend bemessene Keimzeit. Höhere Keimtemperaturen leisten u. U. einem stärkeren Gefälle der Auflösung zwischen Keimlingsende und Kornspitze Vorschub. Dies äußert sich in der etwas höheren Viskosität bei der 17 °C-Probe. Ein hoher Wassergehalt vermag andere Faktoren (wie z. B. hohe Temperatur oder längere Keimzeit) auszugleichen, wie die Übersicht in Abschn. 1.4.1.1 zeigt, doch ist hierbei die Eiweißlösung zu beachten.

Eine ähnliche Tendenz der Keimbedingungen auf die Cytolyse zeigt nach folgender Aufstellung auch der Friabilimeterwert (s. oben).

Eine sehr gute Aussage liefert der Vergleich der Viskosität und des β-Glucangehaltes zwischen Kongresswürze und 65 °C-Würze (s. Abschn. 1.8.3). So weist ein gut und gleichmäßig gelöstes Malz bei einem Vergleich beider Würzen eine Viskosität von 1,48/1,55 mPa s und einen β-Glucangehalt von 140/220 mg/l auf, während ein inhomogenes Malz Werte von 1,54/1,68 mPa s bzw. 230/440 mg/l liefert. Letzteres Malz führt dann mit den betriebsüblichen Maischverfahren zu Abläuterproblemen im Sudhaus und bei der Filtration des Bieres.

Keimgeschädigte Gersten z. B. mit Ausbleibern und ungleichmäßige Ankeimung vermitteln eine schlechte Mürbigkeit, einen entsprechenden Anteil an ganzglasigen Körnern und eine schlechte Homogenität der Auflösung. Sie bringen beim späteren Maischen durch die Wirkung der β-Glucan-Solubilase viel hochmolekulares β-Glucan ein, das durch die temperaturempfindlichen Endo-β-Glucanasen nicht mehr weit genug abgebaut werden kann. Hieraus resultieren Läuter- und Filtrationsstörungen (s. Abschn. 7.7.1).

1.4.1.2 *Der Eiweißabbau* erfolgt durch eine Reihe von proteolytischen Enzymen, die grob eingeteilt werden in:

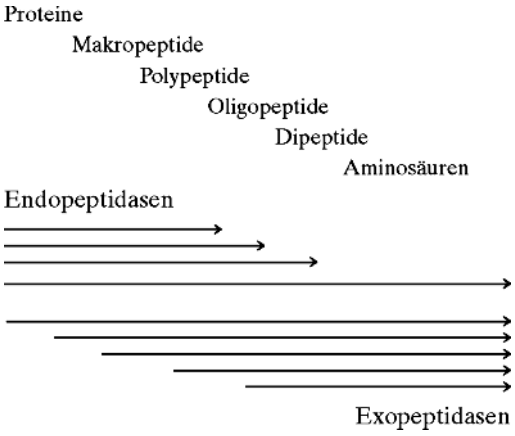
Endo-Peptidasen („Proteinasen"), die das genuine Eiweiß angreifen und zunächst hochmolekulare Abbauprodukte wie Makro- und Polypeptide, dann aber im Fortgang des Abbaus auch Oligo- und Dipeptide liefern; bei längerer Einwirkung führt der Abbau auch bis zu Aminosäuren. Es gibt eine große Zahl von Endo-Peptidasen, da diese die Peptidkette jeweils nur an bestimmten Stellen spalten, die durch die Art der Aminosäurereste definiert sind.

Exo-Peptidasen: Sie greifen den Peptidfaden von außen an und trennen einzelne Aminosäuren ab. Carboxypeptidasen bauen endständige Aminosäuren ab, die eine Carboxylgruppe besitzen, Aminopeptidasen dagegen Aminosäurereste mit Aminogruppen. Die Dipeptidasen sind dagegen auf keine dieser Gruppen spezifisch.

Eine Reihe der proteolytischen Enzyme ist bereits in ungekeimter Gerste nachweisbar. Ihre Aktivität nimmt – je nach den Keimbedingungen – auf ein Mehrfaches des Ausgangswertes zu.

Der Eiweißabbau läuft schematisch gesehen wie folgt ab:

Dieser Abbau verläuft nun je nach Einhaltung bestimmter Mälzungsbedingungen verschieden, sodass z. B. mehr höhermolekulare Abbauprodukte oder mehr Aminosäuren entstehen können. Nachdem jede dieser Gruppen für die Beschaffenheit des späteren Bieres von Bedeutung ist, darf der Eiweißabbau weder zu knapp noch zu weitgehend sein: So



sind Aminosäuren wichtig für die Ernährung der Hefe, die höhermolekularen Polypeptide dagegen für Schaumhaltigkeit und Vollmundigkeit der Biere.

Um den Eiweißabbau beurteilen zu können, wird zunächst die Menge des löslichen Stickstoffes ermittelt. In Prozenten des Gesamtstickstoffes angegeben (Kolbachzahl), umfasst sie je nach dem Stickstoffgehalt des Malzes zwischen 30 und 50 % desselben, wobei unter der Voraussetzung eines Eiweißgehaltes von 10–10,5 % ein Eiweißlösungsgrad von 38–42 % als günstig bezeichnet wird. Die Menge des löslichen Stickstoffs, bezogen auf 100 g Malztrockensubstanz, bewegt sich normal zwischen 600 und 700 mg. Diese Menge kann durch Fällungsreaktionen oder andere Untersuchungsmethoden weiter aufgeteilt werden (s. Tabelle).

	lösl. N 600–700 mg/100 g MTrS	
hochmolekular 20 %	mittelmolekular 20 %	niedermolekular 60 %
davon ca. 33 % koagulierbar		davon ca. 60 % formoltitrierbar ca. 35 % *α*-Amino-N

Vom Eiweißabbau wird vorzugsweise das Reserveeiweiß in den Zellen unter der Aleuronschicht betroffen; es liefert die Hauptmengen der wasserlöslichen Eiweißstoffe zur Ernährung des Keimlings. Das histologische Eiweiß erfährt bei normaler Haufenführung einen Abbau nur insoweit, als es zur optimalen Auflösung notwendig ist. Das Klebereiweiß wird praktisch nicht angegriffen und findet sich nahezu unverändert in den Trebern.

Die genuinen Eiweißstoffe werden durch die proteolytischen Enzyme mehr oder weniger stark abgebaut. Während die Albumine und Globuline zunächst eine Abnahme, gegen Ende der Keimung eine Zunahme erfahren, nehmen die Prolamine (Hordein) anfangs langsam, dann aber rasch und stetig auf ca. 40 % des Ausgangswertes ab. Eine ähnliche Entwicklung zeigen die Gluteline, die jedoch am Ende der Keimung aus niedermolekularen Substanzen wieder aufgebaut werden. Im gleichen Maße wie die eigentlichen Eiweißkörper abnehmen, vermehren sich die Eiweißabbauprodukte. Das den Albuminen zugehörige Protein Z und das Lipidtransferprotein I werden während der Keimung nur wenig abgebaut; dies ist insofern von Bedeutung als beide sowohl schaumpositiv als auch trübungsaktiv sind. Der gesamtlösliche Stickstoff nimmt schon in den ersten Tagen des Keimprozesses stark zu, besonders bei höheren Anfangstemperaturen. Er erreicht normal nach 4–5 Tagen einen Höchstwert, der aber je nach den vorliegenden Keimbedingungen noch gesteigert werden kann. Auch die Menge der Aminosäuren erfährt eine stetige Zunahme. Bei längerer Keimzeit werden diese jedoch wieder zum Aufbau meist unlöslicher Proteine verbraucht, sodass in den letzten Tagen der Keimung eine Verminderung an Aminosäuren zu beobachten ist. Es stellt sich somit nach 4–6 Tagen ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen Abbau und Aufbau ein, der sich nur mehr in einer Verlagerung der Eiweißsubstanzen äußert. Die Lage dieses Gleichgewichts kann durch die Führung des Keimprozesses beeinflusst werden: (Siehe folgende Tabelle). Einen Überblick über die Entwicklung der *α*-Aminosäuren gibt eine weitere Aufstellung (siehe Tabelle, S. 32). Bei hoher Eiweißlösung, gegeben durch hohe Keimgutfeuchte, niedere Temperatur und optimale Keimzeit, nehmen die höhermolekularen Fraktionen zwar absolut zu, prozentual gesehen dagegen ab. Der niedermolekulare Stickstoff erfährt stets eine Bereicherung. Dieses Verhältnis kann sich bei hohen Keimtemperaturen verschieben; auch besondere Mälzungsverfahren wie z. B. die Wiederweiche können andere Verhältniszahlen im Gefolge haben.

Von Einfluss auf die Eiweißlösung ist ferner die Beschaffenheit der Gerste, ihr Eiweißgehalt sowie die qualitative Zusammensetzung des Gersteneiweißes. Gersten mit hohem Eiweißgehalt geben meist bei gleichen Mälzungsbedingungen einen niedrigeren Eiweißlösungsgrad als eiweißärmere. Wenn auch zwischen Eiweiß- und Zellstofflösung des Kornes keine eindeutige Beziehung be-

Feuchtigkeitsniveau	%	40	43	46	
Eiweißlösungsgrad	%	39,5	43,9	46,1	
Keimtemperatur °C		13	15	17	
Eiweißlösungsgrad	%	44,9	43,9	41,9	
Keimzeit Tage		4	5	6	7
Eiweißlösungsgrad	%	35,4	38,8	39,8	40,9
Anteil CO_2 n. 3 Tagen Keimzeit	%	0	10	20	
Eiweißlösungsgrad	%	40,9	38,0	42,8	

steht, so muss doch der cytolytischen Auflösung ein gewisser Eiweißabbau vorausgehen, wenn die gewünschte Zerreiblichkeit des Mehlkörpers erreicht werden soll. Auch Sorte, Herkunft, Reifegrad und Homogenität einer Gerste wirken sich auf die Gegebenheiten der Eiweißlösung aus. Durch die Keimung nimmt der Eiweißgehalt einer Gerste etwas ab, da das im Wurzelkeim befindliche Eiweiß mit diesem nach dem Darren entfernt wird. Wenn auch im Wurzelkeim rund 10 % des Gersteneiweißes lokalisiert sind, so nimmt doch infolge der gleichzeitigen Substanzverluste durch Atmung der Eiweißgehalt von der Gerste bis zum Malz nur um 0,2–0,5 %-Einheiten ab.

Die globale Erfassung des Eiweißabbaus durch den löslichen Stickstoff des Malzes oder den Gehalt an α-Amino-N (FAN) sagt nichts über die Entwicklung des Anteils von einzelnen, z. B. für den Gärverlauf wichtigen Aminosäuren, Leucin, Isoleucin oder Valin aus. Untersuchungen zeigten, dass bei knapper Auflösung (durch niedrige Keimgutfeuchte) ein niedriger absoluter und relativer Gehalt an diesen Aminosäuren vorlag. Dasselbe rufen höhere Keimtemperaturen (18–21 °C) hervor.

Eine Verschlechterung des Bierschaums ist bei Malzen sehr guter cytolytischer Lösung nicht zu erwarten. Eine Überlösung der Eiweiß-Komponente, wie etwa ein zu hoher Eiweißlösungsgrad, einhergehend mit einem sehr hohen FAN-Gehalt, kann dagegen schaumnegativ sein.

Nachdem die neuen Gerstensorten seit Jahren eine zunehmend höhere Eiweißlösung zeigen, die sich ungünstig auf den Bierschaum auswirkt, wird in den Malzspezifikationen häufig der Eiweißlösungsgrad nach oben, meist auf 40–41 % begrenzt, wobei aber die cytolytischen Lösungsmerkmale keine Verschlechterung erfahren dürfen. Wenn auch die neuen Gersten meist eine sehr gute Cytolyse aufweisen, so ist diese doch der begrenzende Faktor, z. B. bei einer Verkürzung der Keimzeit. Um die Eiweißlösung zu drücken, gleichzeitig aber die Cytolyse nicht zu verschlechtern, werden höhere Keimtemperaturen von z. B. 18 °C bei gleich hoher Keimgutfeuchte (44–45 %) angewendet, wobei dann bei sehr gleichmäßig keimenden Gersten eine Verringerung der Keimzeit von 6 auf 5 Tage erwogen werden kann. Die höhere Keimtemperatur wird zweifellos entsprechend höhere Schwandwerte erbringen. Ein gute Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der Auflösung ist auch das Verhältnis FAN : löslichem N, das bei 20–21 % liegen soll. Bei warmer, kurzer Haufenführung fällt es auf 17–18,5 % ab, was wiederum Schwierigkeiten bei der Gärung und Reifung nach sich zieht.

Ähnliches gilt auch für das S-Methylmethionin, den Vorläufer des Dimethylsulfids. Bei der Bestimmung der α-Aminosäuren wird die ebenfalls bedeutsame cyclische Aminosäure Prolin nicht erfasst. Diese kommt in der Kongresswürze in Mengen von 300–500 mg/l vor, in Abhängigkeit von Gerstensorte, Anbaugebiet (kontinental niedriger als maritim) und vom Ausmaß der Auflösung.

Physiologisch von großer Bedeutung sind auch die Amine, die durch enzymatische Decarboxylierung von Aminosäuren entstehen. So z. B. Histamin aus der Aminosäure Histidin, Thyramin aus Thyrosin, Tryptamin aus Tryptophan, während Hordenin durch Anlagerung zweier Methylgruppen an Thyramin gebildet wird, sowie Gramin aus Tryptamin. Die Mehrung der Amine während des Mälzens läuft in etwa dem Eiweißlösungsgrad parallel; sie wird durch hohe Keimgutfeuchte, durch eher höhe-

Feuchtigkeitsniveau	%	39	42	45	48	
α-Amino-N mg/100 g TrS		105	112	136	175	
Keimtemperatur °C		12	15	18		
α-Amino-N mg/100 g TrS		150	132	120		
Keimzeit Tage		4	5	6	7	8
α-Amino-N mg/100 g TrS		125	128	135	145	142
Anteil CO_2 n. 3 Tagen Keimzeit	%	0	10	20		
α-Amino-N mg/100 g TrS			134	140	159	

re oder fallende Keimtemperaturen sowie durch eine längere Keimzeit gefördert. Hordenin und Gramin finden sich in großen Mengen im Wurzel- bzw. im Blattkeim, aber auch im Malz. Sie spielen beide als Vorläufer der beim Darren gebildeten Nitrosamine eine Rolle (s. Abschn. 1.6.1.2).

1.4.1.3 Der *Abbau der Phosphate*: Die bei der Keimung wirkenden Phosphatasen lösen Phosphorsäure und deren saure Salze (primäre Phosphate) aus esterartiger Bindung mit organischen Substanzen. Während in der Gerste nur 20 % der Phosphate in anorganischer Form vorliegen, sind es im Malz rd. 40 %. Hierdurch erhöht sich die Titrationsacidität, vor allem aber die vorgebildete Säure des Kornes. Das Pufferungsvermögen erfährt eine wesentliche Verstärkung, was für die Beibehaltung des im Korn vorliegenden pH-Spiegels von etwa 6,0 von Bedeutung ist. Nebenbei entstehen als Zwischenprodukte des Stoffwechsels noch eine Reihe von organischen Säuren, ebenfalls durch Desaminierung der Aminosäuren oder durch Oxidation schwefelhaltiger Aminosäuren.

1.4.1.4 Der *Stärkeabbau*: Die Amylasen bauen die native Stärke zu Maltose ab. Es sind zu unterscheiden:

- Die α-Amylase, auch Endo-Amylase oder Dextrinogen-Amylase genannt, und
- die β-Amylase, die auch die Bezeichnung Exo-Amylase oder Saccharogen-Amylase trägt.

Die β-Amylase greift das Amylose- oder Amylopectinmolekül von außen her an und baut einzelne Maltoseeinheiten ab. Die α-Amylase dagegen greift die beide Stärkearten von innen heraus an, wobei von der Amylose Bruchstücke mit ca. 6 Glucoseeinheiten (Oligodextrine), aus dem Amylopectin Dextrine mit einer oder mit mehreren Verzweigungen entstehen. An deren Seitenketten kann die β-Amylase wieder angreifen und Maltose freisetzen. Auch die α-Amylase spaltet die höhermolekularen Dextrine weiter, doch können beide Enzyme nur α-l→4-Bindungen lösen, sodass selbst bei längerer Einwirkung unter optimalen Bedingungen nur ca. 80 % Maltose, Maltotriose und Glucose gebildet werden. Der Rest liegt in Form von Grenzdextrinen mit α-1→6-Bindungen vor.

Die α-l→6-Bindungen können durch die Grenzdextrinasen gelöst werden, sodass lineare Dextrine entstehen, die einem weiteren Abbau durch die Amylasen unterliegen. Maltose wird durch Maltase weiter, d. h. zu Glucose abgebaut. Der Transportzucker Saccharose erfährt durch die Saccharase eine Spaltung zu Glucose und Fructose.

Die β-Amylase kommt schon im ruhenden Korn in einer aktiven Form vor, zum großen Teil wird sie jedoch während der Keimung erst vom latenten Zustand durch Hinzutreten von Aktivatoren, durch Abbau von Inhibitoren oder durch Freisetzung aus protoplasmatischen Bindungen in die aktive Form übergeführt.

Sie entwickelt sich am besten bei mittleren Keimgutfeuchten, sie erreicht ihr Maximum schon am 5. Keimtag und erfährt bei höheren CO_2-Gehalten in der Haufenluft eine Steigerung, höhere Keimtemperaturen haben niedrigere β-Amylasengehalte zur Folge. Bei den beiden letzteren Parametern ist eine Parallele zum Eiweißlösungsgrad gegeben.

Die α-Amylase ist in der Gerste noch nicht nachweisbar; ihre Bildung wird bei Beginn der Keimung durch Wuchsstoffe in Schildchen und Aleu-

Keimgutfeuchte %		40	43	46
α-Amylase ASBC-Einh.		58	63	92
β-Amylase °WK		322	366	361
Keimtemperatur °C[a)]		13	15	17
α-Amylase ASBC-Einh.		68	69	62
β-Amylase °WK		251	263	230
Keimzeit Tage	1	3	5	7
α-Amylase ASBC-Einh.	0	24	50	63
β-Amylase °WK	120	247	347	366
CO_2-Gehalt nach 3 Keimtagen %		0	10	20
α-Amylase ASBC-Einh.		74	65	62
β-Amylase °WK		316	320	331

a) Werte gemessen im fertigen Darrmalz.

ronschicht induziert. Der Aufbau der α-Amylase erfolgt aus Aminosäuren.

Während der Keimung üben beide Amylasen ihre Tätigkeit nur in beschränktem Umfange aus. Die wichtigste Aufgabe der Keimung besteht in der Lösung, Aktivierung und Bildung der β- und α-Amylasen, da ohne die Wirkung Letzterer beim späteren Maischen keine vollständige Verzuckerung erfolgen kann. Ihre Haupttätigkeit entfalten die beiden Amylasen erst während des Maischprozesses durch Abbau der Stärke in Zucker und Dextrine.

Während die Kontrolle der Cytolyse oder der Proteolyse meist über physikalische oder chemische Merkmale eines Malzauszugs oder der Kongresswürze erfolgt, sind die Verzuckerungszeit der Kongressmaische und der Endvergärungsgrad der entsprechenden Würze verschiedentlich nicht genügend aussagefähig. So werden bei Versuchen mit verschiedenen Gerstensorten, zu Beginn eines neuen Jahrgangs oder bei besonders enzymstarken Malzen die Amylasen direkt bestimmt. Ihre Gesamtwirkung erfasst man bei der Bestimmung der „Diastatischen Kraft“ (DK); die Aktivität der α-Amylase erfolgt nach den Richtlinien der EBC, während die β-Amylase aus der Differenz DK – 1,2 × α-Amylase errechnet wird.

Die Entwicklung der α-Amylase ist nur bei Vorhandensein von Sauerstoff möglich; sie wird durch hohe, stufenweise gesteigerte Keimgutfeuchte, durch anfangs höhere, dann fallende Keimtemperaturen sowie durch längere Keimdauer gefördert. Sobald im Fortgang der Keimung Kohlensäure in der Haufenluft angereichert wird, flacht die Kurve der α-Amylaseentwicklung ab.

Demgegenüber reagiert die β-Amylase als Exo-Enzym weniger stark auf positive oder negative Keimungsfaktoren; sie erreicht ihr Maximum früher als die α-Amylase.

Der ursprüngliche Gehalt der β-Amylase schwankt zwischen 60 und 150 Einheiten, er ist abhängig von den Eigenschaften (Sorte, Herkunft, Vegetationsbedingungen) der Gerste, ebenso ist die Entwicklung beider Amylasen durch die Gerste vorgegeben. Durch die Keimbedingungen lässt sich die Entwicklung der Amylasen im Grünmalz wie folgt beeinflussen (s. oben):

Beim Darren des Malzes geht ein Teil der Amylasen verloren. Die β-Amylase ist empfindlicher gegenüber hohen Temperaturen als die α-Amylase.

Die Wirkung der Amylasen äußert sich zuerst in der Nähe des Keimlings; sie schreitet entsprechend dem Wachstum parallel dem Aufsaugeepithel voran. So werden die an das Schildchen angrenzenden Stärkekörner allmählich in verschiedene Zucker umgewandelt und vom Keimling als Nahrung verbraucht. Der Verlust an Stärke ist in den ersten Keimtagen noch gering, er nimmt jedoch im Laufe der Keimung immer mehr zu und erreicht einen Wert von etwa 5 %.

Die für den Stärkeabbau beim Maischen bedeutsame Verkleisterungstemperatur der Stärke wird durch die Keimungsfaktoren nur wenig beeinflusst:

So wirkt sich bei einer Weich- und Keimzeit von 7 Tagen eine mittlere Keimgutfeuchte von 42–44 % am günstigsten aus, wobei die Keimtemperatur im üblichen Bereich von 14–18 °C kaum zu Buch schlägt.

1.4.1.5 Der *Lipidabbau*: Die Lipasen bauen die Esterbindungen zwischen dem Glycerin und den Fettsäuren ab. Sie kommen nach neuen Untersuchungen im ruhenden Korn noch nicht vor; ihre durch die Keimungsparameter zu beeinflussende Aktivität geht während der Keimung vom Schildchen aus und entwickelt sich in einer parallelen Frontlinie zu diesem bis zur Kornspitze. Von den durch die Hydrolyse frei werdenden Fettsäuren werden Linol- und Linolensäure von Lipoxygenasen in ihre Hydroperoxide umgesetzt. Die Lipoxygenase I ist bereits in ruhender Gerste vorhanden, während Lipoxygenase II erst während der Keimung gebildet wird. Sie werden beim Darren zum großen Teil inaktiviert. Lipoxygenase I bildet aus Linolsäure 9-Linolsäurehydroperoxid, Lipoxygenase II dagegen 13-Linolsäurehydroperoxid. Sie werden beide über eine Hydroperoxid-Lyase in (*E*, *Z*)-2,6-Nonadienal übergeführt. Diese Substanz ist die Hauptkomponente des im Grünmalz feststellbaren Gurkenaromas. Daneben entstehen weitere Aromastoffe wie Hexanal, (*E*, *E*)- bzw. (*E*, *Z*)-2,4-Decadienal, die wie die ebenfalls entstehenden weiteren Alkanale, Alkenale und Alkandienale sowie Alkohole (z. B. Hexanol-1) zum Malz-, Würze- und Bieraroma, speziell auch im gealterten Bier beitragen (s. Abschn. 7.6.5.3).

Als Folge des Energie- und Baustoffwechsels nimmt der Rohfettgehalt von der Gerste bis zum Malz um 20–27 % ab, die Zusammensetzung der Triglyceride verschiebt sich zu den mehrfach ungesättigten Verbindungen. Zum Aufbau der Wurzelkeime werden dort anteilig – sortenabhängig – 1,04–1,25 % Fett eingelagert. Dennoch verbleibt der Großteil des Gerstenfettes im Aleuron. Trocken aufgewachsene Gerste enthält mehr Lipide, die auch in verstärktem Umfang abgebaut werden. Derartige Gersten neigen zu hitzigem Wachstum.

Von den Keimbedingungen wirkt sich eine Kohlensäureanreicherung von 3–4 % günstig aus, wie dies bei Tennenmalzen zwischen zwei Wendevorgängen der Fall ist. Sie kann die Aktivität der Lipoxygenasen dämpfen. Diese Atmosphäre kann durch „Umluft" im dichten Keimkasten ohne Nachteil für andere Enzyme und deren Abbauvorgänge ebenfalls dargestellt werden. Die erzielten Analysendaten deuten auf eine Förderung der Geschmacksstabilität des Bieres hin.

1.4.1.6 *Polyphenole* sind in den Spelzen, aber auch in der Aleuronschicht und im Reserveeiweiß zu finden. Erstere können beim Weichen z. T. entfernt werden, doch sind die absoluten Veränderungen gering. Die im Mehlkörper befindlichen Polyphenole werden mit fortschreitendem Abbau anderer Stoffgruppen, z. B. der Proteine, in zunehmendem Maße gelöst, eine Entwicklung, die sich beim Maischen fortsetzt. Dabei erfahren die Anthocyanogene eine stärkere Mehrung als die Gesamtpolyphenole. Dasselbe trifft auch für die Gruppe der Tannoide (600–3000 Da) zu. Alle Polyphenolfraktionen zeigen eine Parallele zur Eiweißlösung, deren Parametern sie folgen. Diese sind bekanntlich: hohe Keimgutfeuchte, mittlere oder fallende Keimtemperatur und erhöhte CO_2-Gehalte in der Haufenluft.

Die Polyphenolgehalte bzw. auch deren einzelne Fraktionen werden von den bei der Keimung aktiven Oxidasensystemen wie Katalasen, Peroxidasen und Polyphenoloxidasen stark beeinflusst. Diese Enzyme werden bei intensiver Mälzung (s. Abschn. 1.4.1.5) vermehrt gebildet. Sie vermögen Polyphenole zu oxidieren, was sich neben der Ausbildung von Keto-Gruppen auch in einer Vergrößerung der Moleküle auswirkt.

1.4.1.7 *Sonstige Abbauvorgänge:* Neben den hydrolytischen Enzymen finden sich in der Gerste noch jene Enzyme, die am pflanzlichen Stoffwechsel beteiligt sind. Diese Fermente von unterschiedlichen Eigenschaften führen über Zwischenstufen unter aeroben Bedingungen zur Bildung der niedrigsten Abbauprodukte wie Wasser und Kohlendioxid, wobei im Gegensatz zur hydrolytischen Spaltung beträchtliche Energiemengen frei werden. Fehlt dagegen Sauerstoff, so laufen anaerobe Prozesse ab, die eine geringere Energieausbeute liefern wie z. B. die Gärung (s. Abschn. 3.2.1).

1.4.1.8 *Die Entwicklung der Mikroorganismenflora während der Mälzung*: Mikroorganismen kommen von Natur aus auf den verschiedenen Getreidearten vor. Es sind dies Bakterien, Hefen und Pilze. Für ihre weitere Entwicklung sind die Bedingungen während der Mälzung sehr günstig: Nährstoffe, Temperatur und Feuchtigkeit. Die Mikroorganismen sind aber auch in der Mälzerei selbst verbreitet: In den Weichen, in den Keimanlagen und in den Fördereinrichtungen, besonders bei jenen für den Grünmalztransport zur Darre.

Eine strikte Kontrolle der angelieferten Gerste sowie deren Gesunderhaltung, z. B. durch Trocknen, Reinigen und Entstaubung sind eine Grund-

voraussetzung wie auch die Reinigung und Pflege der Anlagen.

Bei den Mikroorganismen handelt es sich um Milchsäurebakterien, Hefen und vor allem um Schimmelpilze (s. Abschn. 1.2.6). Sie erfahren trotz der (manchmal sehr knappen) Wäsche bei den Weichen schon während der Luftrasten, später bei der Keimung und selbst noch in den niedrigen Temperaturbereichen beim Schwelkprozess eine starke Vermehrung. Die Mikroorganismen entwickeln sich nicht nur auf der Kornoberfläche und bilden dort Biofilme aus, sondern sie können, wie z. B. die Schimmelpilze, durch ihre Enzymsysteme (Proteasen, β-Glucanasen, Xylanasen, selbst Cellulasen) Korninhaltsstoffe abbauen und so zur „Auflösung" beitragen. Diese Wirkung ist jedoch nicht kontrollierbar. So können bei starkem Befall mit Fusarien eine übermäßige, doch inhomogene Cytolyse, eine extreme Eiweißlösung sowie ein vorzeitiger Stärkeabbau auftreten. Die Bildung von Hydrophobinen fördert das Gushing und Mykotoxine setzen die Malzqualität drastisch herab. Es können Stoffwechselprodukte dieser Mikroorganismen auch einen dumpfen, muffigen Geruch vermitteln, der über die späteren Prozessschritte bis ins fertige Bier wahrgenommen werden kann. Hier kann durch eine sachgemäße Behandlung der Gerste, durch eine intensive Wäsche bei der Weiche und durch eine sorgfältige Reinigung der Einrichtung derartigen Problemen entgegengearbeitet werden.

1.4.2 Die Praxis der Keimung

Es ist Aufgabe des Mälzers, diese komplizierten Vorgänge so zu leiten, dass die Stoffänderungen in der gewünschten Weise vor sich gehen und zueinander im richtigen Zusammenhang stehen. Als Anhaltspunkte hierfür dienen dem Mälzer folgende Erscheinungen:

1. *Erscheinungen am Korn:* Anlage und Entwicklung der Wurzeln und des Blattkeimes sowie die zunehmende „Auflösung" des Mehlkörpers.
2. Die *entstehenden Verbrennungsprodukte:* Der durch Atmung entstandene Wasserdampf, die sich bildende Kohlensäure und die Erwärmung des Haufens innerhalb einer gewissen Zeit.

In der Tennenmälzerei wurde nur die Erwärmung des Haufens mittels Thermometer gemessen, alle übrigen Erscheinungen waren der Beurteilung nach dem Aussehen, dem Gefühl und der Erfahrung unterworfen. Bei modernen pneumatischen Großanlagen müssen exakte Messungen von Feuchte und Kohlendioxid erfolgen, um im Verein mit der Ermittlung der Erscheinungen am einzelnen Gerstenkorn die Keimung sachgemäß führen zu können. Das Hauptproblem beim Mälzen ist zweifellos, wie weit die künstliche Keimung getrieben werden darf und soll. Der Mälzer will keine neue Pflanze züchten, sondern nur die Umwandlungen im Korn nach Maßgabe des gewünschten Malztyps vorantreiben, wobei der Stoffverbrauch niedrig gehalten werden soll. Den Maßstab über den jeweiligen Grad der Entwicklung gibt das Wachstum von Wurzel- und Blattkeim sowie die Auflösung des Kornes.

1.4.2.1 Der *Wurzelkeim* wird seiner Länge nach beurteilt. Entspricht diese der Kornlänge, so gelten die Wurzeln als „kurz", bei 2 bis 2 1/2-facher Kornlänge als „lang". Von großer Bedeutung ist die Gleichmäßigkeit des Wurzelwachstums, da sie Rückschlüsse auf die sachgerechte Führung des Keimprozesses, die Beschaffenheit der Gerste und auf die Gleichmäßigkeit der Auflösungserscheinungen im Allgemeinen zulässt. Die Wurzeln eines kalt und langsam geführten Tennenhaufens sind gedrungen und korkzieherartig, bei raschem Wachstum und warmer Führung erscheinen sie als dünn und fadenförmig. Derartige Keime welken leicht. Bei pneumatischen Malzen ist der Wurzelkeim weniger kräftig und meist länger als bei Tennenmalzen. Starkes Wurzelgewächs deutet auf einen vermehrten Eiweißentzug aus dem Korn hin. Die Wurzeln fallen beim Darren und Putzen ab und werden als Malzkeime verkauft. Nach den einzelnen Stadien des Wurzelkeimwachstums sollten die Verfahrensschritte beim Mälzen getroffen werden. So darf der Wassergehalt des Keimgutes erst dann über 38–40 % steigen, wenn alle keimfähigen Körner gleichmäßig spitzen, während ein durchgehendes Gabeln der Wurzeln weitere Maßnahmen erlaubt, wie etwa weitere Erhöhung des Wassergehaltes, Wiederweiche, Temperaturabsenkung oder -erhöhung.

Die Wurzel entwickelt sich weniger bei sehr kalter Haufenführung, unter CO_2-Atmosphäre sowie bei Wiederweiche. Eine lange oder mit warmem Wasser durchgeführte Wiederweiche kann eine weitgehende Unterdrückung des Wachstums bewirken. Gefördert wird die Wurzelbildung dagegen durch warme, feuchte Führung sowie durch längeres Liegenlassen des Haufens.

Entwickelt sich der Wurzelkeim überhaupt nicht, so spricht man von Ausbleibern. Die Gerste bleibt dann Rohfrucht. Ausbleiber treten auch bei unsachgemäßer, zu starker Weiche auf.

Übermäßiges Wurzelwachstum kann bei hohem Wassergehalt, bei längerem ruhigen Liegenlassen des Haufens oder durch ungleichmäßiges Wen-

den entstehen. Der Haufen verfilzt, es bilden sich mehr oder weniger große Klumpen von Grünmalz („Spatzen"), die eine ungleiche Lösung und Farbebildung im Gefolge haben. Verschiedentlich werden die Wurzeln durch fehlerhafte Weichpumpen beim Ausweichen durch Abschlagen der Würzelchen des spitzenden oder gar gabelnden Gutes, oder durch unzulängliche (Saladin-)Wender während der Keimung abgerieben oder zumindest stark geschädigt. Verletzte Wurzeln wie auch die Vermälzung ausgewachsener Gerste führen zu einer übermäßigen Entwicklung des Blattkeims.

Um sich ein Bild über den Wachstumsverlauf zu verschaffen, soll der Mälzer täglich den Prozentsatz der spitzenden, gabelnden oder noch ungekeimten Körner ermitteln und in der Kontrollkarte vermerken. Dasselbe gilt für die Entwicklung des Blattkeims (Husaren).

1.4.2.2 Als *Maßstab des Blattkeims* dient ebenfalls die Kornlänge. Die Klassifizierung umfasst 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1 und über 1, je nachdem, ob der Blattkeim die halbe usw. Kornlänge erreicht hat. Bei hellem Malz ist der Blattkeim etwas kürzer gewachsen als bei dunklem; er beträgt aber dennoch bei modernen Mälzungssystemen im Durchschnitt 0,7; wobei 75 % bei 3/4 Kornlänge liegen sollen, bei dunklem Malz dagegen 75 % zwischen 3/4 und 1. Da der Blattkeim noch im abgedarrten Malz erkenntlich ist, stellt er einen wertvollen Anhaltspunkt über die Gleichmäßigkeit des Wachstums dar. Eine Aussage über die Auflösung vermag der Blattkeim nur bei kalter und langsamer Führung des Haufens zu treffen. Neben seiner Länge interessiert vor allem die Gleichmäßigkeit seiner Entwicklung. Ungleicher Blattkeim findet sich bei schlecht sortierten, gemischten oder ungleich gewachsenen Gersten. Zu frühzeitiges Erhöhen des Feuchtigkeitsniveaus bei der Keimung und warme Haufenführung bewirken eine starke, aber nicht gleichmäßige Entwicklung des Blattkeims. Wächst der Blattkeim über die Länge des Korns hinaus, so spricht man von „Husaren"-Bildung. Diese tritt bei hohem Wassergehalt, Kondenswasserbildung, warmer Haufenführung und zu langer Keimdauer ein. Husaren lassen einen überflüssigen Stoffverbrauch vermuten; bei dunklen Malzen ist ein gewisser Prozentsatz Husaren (5–10 %) normal, bei hellen Malzen deutet er auf eine zu weit getriebene Keimung hin. Auch der Blattkeim kann, wie der Wurzelkeim, künstlich beeinflusst werden. Beide stehen normalerweise in einem gewissen Zusammenhang. Durch häufigeres Wenden, besonders durch Spritzen wird der Blattkeim hervorgetrieben, durch CO_2-Anreicherung der Haufenluft und durch längere Wiederweiche unterdrückt. Malze aus Saladinhaufen, besonders wenn die Keimgutfeuchte in mehreren Stufen erhöht wurde, neigen stets zu stärkerer Entwicklung des Blattkeims. Die Bildung von Husaren unter sonst gleichen Bedingungen ist sortenabhängig. Generell ist jedoch bei einer Keimgutfeuchte von 50–52 % eine Husarenentwicklung kaum zu vermeiden. Bei verletzten Körnern treibt der Blattkeim seitlich aus.

Maßnahmen, die im letzten Drittel der Keimung getroffen werden, um die Auflösung des Malzes zu verbessern, sollten erst nach Beurteilung des Blattkeimwachstums erfolgen, um Husarenbildung zu vermeiden, wie z. B. Spritzen oder Temperaturerhöhung des Haufens.

1.4.2.3 Die *Auflösung des Kornes* kann anhand der fortschreitenden Zerreiblichkeit des Mehlkörpers verfolgt werden. Sie beginnt in der Nähe des Keimlings und entwickelt sich parallel dem Aufsaugeepithel zur Kornspitze zu. Dabei löst sich die Rückenseite des Kornes, an der sich der Blattkeim vorschiebt, etwas rascher als die Bauchseite. Es bestehen demnach von Natur aus Unterschiede in der Lösungsfähigkeit der einzelnen Kornpartien. Aus diesem Grunde kann auch die Auflösung des Mehlkörpers nicht beliebig beschleunigt werden. Im Falle einer Steigerung der Hemicellulasenwirkung, z. B. durch Einhalten höherer Keimtemperaturen, tritt zwar an der Kornbasis eine erhöhte Enzymwirkung ein, die Kornspitze wird jedoch nicht rascher oder besser gelöst. Es verschiebt sich lediglich der Unterschied in der Lösung zwischen Basis und Spitze noch mehr zugunsten der Ersteren. Unter diesen Gegebenheiten würde sich auch keine Parallele zwischen der Entwicklung der Wachstumsorgane und der Auflösung des Mehlkörpers ergeben. Während sich Blatt- und Wurzelkeim rasch und mächtig entwickeln, bleiben die Veränderungen im Mehlkörper zurück. Wird dagegen während der Lösungsphase die Keimung in einer Kohlensäureatmosphäre geführt oder kommt gar eine Wiederweiche zur Anwendung, so liefert die Auflösung ein günstigeres Erscheinungsbild, als dies aufgrund der Entwicklung der Wachstumsorgane zu erwarten ist.

Die Lösungsfähigkeit der Gersten ist verschieden: Eiweißarme Gersten sowie Gersten aus feuchten Erntejahren oder aus maritimen Gegenden lösen sich rascher und weitgehender als eiweißreiche, trocken aufgewachsene Partien. Großkörnige Gersten benötigen zu ihrer Lösung intensivere Keimbedingungen als kleinkörnige, wie überhaupt die Lösungsfähigkeit deutlich von der Gerstensorte abhängt.

Keimtag	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7	8
Wärme kcal/(t h)	320	520	880	1310	1470	1360	1280	1280
kJ/(t h)	1340	2175	3680	5480	6150	5690	5350	5350

Die Auflösung einer Gerste muss nach dem herzustellenden Malztyp beurteilt werden. Wenn auch helle Malze eine gute, gleichmäßige Auflösung haben sollen, so ist diese mit Rücksicht auf die erwünschte „helle" Farbe knapper als bei dunklen Malzen. Bei diesen wird im Interesse der Bildung von färbenden und aromatischen Substanzen eine sehr weitgehende Auflösung angestrebt. Ist ein Malz für seinen Typ nicht genügend gelöst, so spricht man von Unterlösung. Ist es zu weit gelöst, so liegt eine Überlösung vor. Unterlösung vermittelt schwere Zerreiblichkeit, geringe enzymatische Kraft und meist kurzes Gewächs. Derartige Malze verzuckern im Sudhaus langsamer, sie liefern niedrige Endvergärungsgrade, läutern schwerfällig ab und führen zu mäßigen Ausbeuten. Die Gärung kann durch einen Mangel an Aminosäuren unbefriedigend verlaufen. Überlöste Malze zeigen wohl einen völlig zerreiblichen Mehlkörper, ein hohes Enzympotenzial und einen sehr weitgehenden Eiweißabbau. Wenn auch im Allgemeinen der Brauvorgang reibungslos verläuft, so haben doch die Biere einen leeren, harten Geschmack und eine mangelhafte Schaumhaltigkeit. Während eine Überlösung bei der Sudhausarbeit nur schwer ausgeglichen werden kann, ist es bei knapp gelösten Malzen möglich, durch Intensivierung des Maischverfahrens eine gewisse Abhilfe zu schaffen. Überlösung tritt bei zu hohen Temperaturen und zu langer Keimdauer ein, Unterlösung hat ihre Ursache in zu kalter, zu trockener oder zu kurzer Keimung. Auch ungleichmäßig keimende Gerste kann beide Erscheinungen hervorrufen, je nachdem ob die Keimung ohne Rücksicht auf nachkommende Körner erfolgte, oder ob auch bei diesen eine normale Auflösung abgewartet wurde. Hier ist dann meist eine Abweichung zwischen Mehl-Schrot-Differenz und Viskosität gegeben, aber auch der Friabilimeterwert wird nicht befriedigen und zu viele ganzglasige Körner ausweisen.

Fehlerhaft ist eine schmierige Auflösung. Sie kann bei übermäßigem Spritzen, vor allem aber bei Sauerstoffarmut (intramolekulare Atmung) vorkommen. Derartige Körner sind im Darrmalz dunkel gefärbt und hart.

Als Maßstab für die Ermittlung der Auflösung kommen mechanische Untersuchungsmethoden wie z. B. Schnittprobe, Sinkerprobe und die Mürbigkeit nach Brabender oder Chapon infrage. Färbemethoden (Calcofluor, Methylenblau) zeigen nicht nur die gelösten Bereiche der einzelnen Körner an, sondern sie ermöglichen auch über die Berechnung der Homogenität einen guten Einblick in die Gleichmäßigkeit des Malzes. Von den chemisch-technischen Methoden sind die Ausbeute-Differenz zwischen Mehl- und Schrotanalyse, die Viskosität der Kongresswürze als Maßstab der cytolytischen Auflösung, der Eiweißlösungsgrad bzw. die Menge des löslichen Stickstoffes als Grad der proteolytischen Lösung gebräuchlich. Von den Verhältniszahlen nach Hartong-Kretschmer bei 20, 45, 65 und 80 °C gibt vor allem die VZ 45 °C eine Aussage über Lösung und Enzymkraft eines Malzes (s. Abschn. 1.8.3).

1.4.2.4 *Der Stoffverbrauch bei der Keimung:* Das Korn deckt beim Keimen seinen Energiebedarf durch Veratmung von Stärke und Fett zu Kohlendioxid und Wasser. Die dabei freiwerdende Wärme bewirkt u. a. die Temperaturerhöhung im Keimgut.

Unter normalen Gegebenheiten werden bei einem wasserfreien Mälzungsschwand von 8 % (s. Abschn. 1.7.2) rund 4,5 % der Kornsubstanz veratmet. Diese Menge verteilt sich auf 4,2 % Stärke (Brennwert 17 300 kJ/kg (4140 kcal/kg)) und 0,3 % Fett (Brennwert 39 300 kJ/kg (9400 kcal/kg)). Somit wird bei der Keimung von einer Tonne Gerste eine Wärmemenge von 845 000 kJ (202 100 kcal) frei. Daneben entstehen als weitere Produkte der Atmung 68 kg Kohlendioxid und 28 kg Wasser.

Die genannte Wärmemenge kann als Anhaltspunkt für die Auslegung der Kühlflächen in Keimapparaten dienen (s. Abschn. 1.5.2.8). Im Laufe einer 8-tägigen konventionellen Keimung werden pro Tonne und Stunde folgende Wärmemengen frei (s. Tabelle oben).

Die modernen Methoden der Haufenführung sehen bereits eine Ankeimung in der Weiche vor. Es müssen daher die im vorstehenden Beispiel am 1./2. Keimtag auftretenden Wärmemengen bereits aus der Weiche abgeführt werden s. Abschn. 1.3.5.8). Unter Zugrundelegung etwa der gleichen Schwandzahlen erbringt eine kürzere Keimzeit einen höheren Wärmeanfall, der bis zu

9600 kJ/(t h) (2300 kcal/(t h)) betragen kann. Auch der Einsatz von Wuchsstoffen (s. Abschn. 1.5.3.9) kann deutliche Wärmespitzen hervorrufen.

1.4.2.5 Die *Keimbedingungen*: Gewächs und Auflösung werden durch die *Keimbedingungen* gesteuert. Je nach den eingehaltenen *Keimtemperaturen* spricht man von *kalter* und *warmer* Haufenführung. Bei kalter Haufenführung läuft die Keimung ansteigend im Temperaturbereich zwischen 12 und 16 °C ab. Hier ist das Wachstum sowie die Enzymbildung und -wirkung langsam, die Atmung schwach. Bei dieser Entwicklung laufen die Wachstumserscheinungen mit den Lösungsmerkmalen parallel. „Hitzige" Gersten erschweren die kalte Haufenführung; die Haufen werden leicht warm und neigen zur Austrocknung. Die Hitzigkeit hängt von Aufwuchs und Beschaffenheit der Gersten ab. So sind Gersten aus trockenem Klima, ebenso wie kleinkörnige, eiweißreiche Gersten oftmals schwerer kalt zu führen. In vielen Fällen lösen sich Gersten bei niedrigen Temperaturen nicht oder nur unvollständig. Diese schwerlöslichen Gersten brauchen namentlich in der zweiten Keimhälfte, in der sog. „Lösungsphase", höhere Temperaturen von 18–20, ja 22 °C. Um jedoch ein ungleiches Wachstum und eine ungleiche Enzymwirkung zu vermeiden, muss in den ersten Keimtagen unbedingt kalt, im Temperaturbereich von 12–16 °C geführt werden. Der Schwand ist bei warm geführten Malzen höher. Während helle Malze einer kalten Haufenführung bedürfen, ist bei dunklen ein Anheben der Temperaturen zum Zwecke der gewünschten starken Auflösung erforderlich.

In den letzten Jahren findet bei modernen Weich- und Keimanlagen die Methode der *Mälzung bei fallenden Temperaturen* vermehrt Anwendung. Das Gut gelangt mit einem Wassergehalt von 38 bzw. 42 % (26 oder 52 h Weichzeit) und einer Temperatur von 17–18 °C in den Keimapparat. Diese Temperatur wird bei stufenweiser Erhöhung der Keimgutfeuchte etwa zwei Tage beibehalten. Mit Erreichen des maximalen Wassergehaltes erfolgt eine Abkühlung auf 10–13 °C. Die verhältnismäßig „warme" Ankeimphase begünstigt ein rasches Wachstum und eine kräftige Enzymbildung. Diese Letztere erfährt durch das rasche Abkühlen des Haufens bei gleichzeitiger Anhebung des Wassergehaltes eine weitere Steigerung; die Lösungsvorgänge werden durch das hohe Feuchtigkeitsniveau trotz der niedrigen Temperaturen begünstigt. Die Schwandverluste sind bei diesem Verfahren geringer als bei herkömmlicher Mälzungsweise.

Die *Keimgutfeuchte* wird bei der modernen Mälzungstechnik in der Weiche nur so weit vermittelt, dass das Weichgut gleichmäßig zum Ankeimen kommt. Der hier erforderliche Wassergehalt von 38–40 % reicht zur Erzielung der gewünschten Enzymbildung und Auflösung nicht aus. Hierfür ist ein Anheben auf 43–48, ja 50 % erforderlich. Dies geschieht durch die Wasseraufnahme beim „nassen" Ausweichen, durch Spritzen oder Fluten. Während es auf der Tenne keine Schwierigkeit bedeutet, die erforderliche Keimgutfeuchte beizubehalten, da der entstehende Schweiß das verdunstende Wasser ersetzt, ist bei pneumatischen Systemen stets eine Austrocknungsgefahr gegeben. Bei diesen wird zwar der Luftstrom mit Feuchtigkeit gesättigt, doch bedingt die Erwärmung der Luft im Haufen eine Abnahme der relativen Feuchte. Es wird deshalb die Austrocknung der Haufen umso stärker sein, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Eintrittsluft und Keimgut ist. Nachdem durch die Höhe der Keimgutfeuchte die Stoffänderungen im Korn wesentlich beeinflusst werden, ist eine tägliche Ermittlung von großer Bedeutung.

Das *Verhältnis von Sauerstoff zu Kohlensäure* liegt in der Weiche und in den ersten Tagen der Keimung auf der Seite einer möglichst vollständigen Sauerstoffzufuhr, da die Endo-Enzyme nur bei Vorhandensein von genügend Sauerstoff im erforderlichen Umfange gebildet werden. CO_2 im Frühstadium der biologischen Phase ruft eine Abflachung der Lebensfunktionen des Keimlings hervor; in der Lösungsphase dagegen kann ein CO_2-Gehalt von 3–5 % ein Dämpfen allzu starken Wachstums vermitteln. Höhere CO_2-Werte führen zu enzymärmeren Malzen, die aber durch das Unterdrücken des Gewächses reicher an niedermolekularen Substanzen sind. Die *Keimdauer* war früher je nach Malztyp und in Abhängigkeit von Sorte, Jahrgang usw. sehr verschieden. Da in der Weiche schon physiologisch wichtige Vorgänge ablaufen und das Gut bei 36–48 h Weichzeit schon keimt, wird heutzutage die gesamte Weich- und Keimzeit auf 6–8 Tage ausgelegt. Dabei sind ein Weichtag und 6 Keimtage die Regel, oder zwei Weichtage (davon einer in der Flachweiche) und 5 Keimtage. Wird in diesem Zeitrahmen eine stärkere Auflösung (wie z. B. beim dunklen Malz) gewünscht, so kann diese über ein höheres Feuchtigkeitsniveau erreicht werden. Bei normal gelösten Malzen wird eine Verkürzung der Weich- und Keimzeit ebenfalls durch eine Erhöhung der Keimgutfeuchte kompensiert. Wie die folgende Aufstellung zeigt, fällt bei annähernd gleicher Cyto-

lyse die Eiweißlösung höher aus, ein Ergebnis, das von den Brauern in der Regel nicht gewünscht wird.

Dies geht aus der folgenden Aufstellung hervor:

Weich- und Keimzeit Tage	6	7
Keimgutfeuchte %	48	45
Mehl-Schrotdifferenz EBC %	1,7	1,7
Viskosität mPa s	1,53	1,52
Friabilimeter/ggl. %	84/1,5	87/1,0
ELG %	42,2	39,8
VZ 45 °C %	38,2	37,8

Aus dem Gesagten folgt: Eine niedrige Keimgutfeuchte, niedrige Keimtemperaturen und die Anwendung von CO_2-Gehalten über 5 % verlängern die „Vegetationszeit". Hohe Wassergehalte, höhere Temperaturen und reichliche Sauerstoffzufuhr verkürzen sie. Eine Kompensation der Keimzeit durch höhere Feuchte und höhere Temperaturen wird nicht allen gewünschten Entwicklungen der einzelnen Stoffgruppen gerecht. Weiterhin wird eine Gerste von hoher Keimenergie, d. h. hohem Keimindex unbedingt erforderlich, da sonst nachkeimende Körner Auflösung und Homogenität drastisch verschlechtern. Auch muss bei der Führung von Weiche und Keimung darauf geachtet werden, dass weder Temperatur- noch Wasserschocks auftreten.

Zu den Keimbedingungen kann noch der Einsatz von Wuchs- und Hemmstoffen gezählt werden. Die Wirkung exogener Gibberelline kann durch Abschleifen eines kleinen Teils der Hüllsubstanzen intensiver gestaltet werden. Derartige Zusätze sind in Deutschland nicht gestattet (s. Abschn. 1.5.3.9).

1.5 Die verschiedenen Mälzungssysteme

1.5.1 Die Tennenmälzerei

Sie stellt die einfachste und natürlichste Mälzungsart dar. Nachdem ihre Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit gegenüber pneumatischen Systemen den heutigen Ansprüchen nicht mehr genügt, ist sie mit wenigen Ausnahmen nur mehr in kleinen Betrieben, speziell in Brauerei-Mälzereien, anzutreffen.

1.5.1.1 Der *Mälzungsraum, die Tenne*, soll von schwankenden Außentemperaturen unabhängig, eine gleichmäßige Temperatur von 10–12 °C aufweisen. Tennen, die sich leicht erwärmen, stellen die kalte Haufenführung infrage; sie haben eine geringere Leistung. Zu kalte Tennen verlängern die Keimzeit, besonders bei schwer löslichen Gersten.

Alte Tennenanlagen wurden deshalb meist unterirdisch ausgeführt. Nur bei ungünstigen baulichen Gegebenheiten wie z. B. hohem Grundwasserspiegel wurden die Tennen oberirdisch, in mehreren Stockwerken übereinander erstellt. In diesen Fällen war eine entsprechende Isolierung der Wände und Decken erforderlich. Der Unterbau der Tennen darf den Wassergehalt und die Temperatur des Grünmalzes nicht beeinflussen. Der beste, natürliche Tennenuntergrund ist Lehm. Ist dieser nicht vorhanden, so ist die Isolierung der Tennen gegen den gewachsenen Boden durch Aufbau verschiedener Schichten zu gewährleisten. Diese sind von unten nach oben: 30 cm Kies oder Schotter, 30 cm Lehm (schichtweise eingestampft) und schließlich das eigentliche Tennenpflaster aus Solnhofener Platten oder Zementglattstrich. Dieser Bodenbelag muss dauerhaft sein, sowie glatt und fugenlos verlegt werden. Ein schwaches Gefälle dient dem Wasserablauf, der in ein Senkloch mit Geruchsverschluss führt. Senkgruben sind abzudichten; ihre Reinigung geschieht mechanisch, ihre Desinfektion mit chlorhaltigen Mitteln (Chlorkalk, Chlorbleichlauge).

1.5.1.2 Die *künstliche Kühlung* der Tennen geschieht wirkungsvoll und nachhaltig nur durch Kühlsysteme, die mit Sole, NH_3 oder F 22 beschickt werden. Ihre Anbringung an der Decke der Tenne soll sachgemäß erfolgen, um ein Austrocknen oder Auswachsen der Haufen zu vermeiden. Das Austrocknen geschieht durch Ausscheiden der Luftfeuchtigkeit an den Kühlrohren, das Auswachsen durch Abtauen der Kühlrohre. Sie müssen deshalb durch Ablaufrinnen aus Holz oder isoliertem Blech unterfangen werden. Bei kleinen Tennen ist auch ein Anordnen der Kühlsysteme an der Wand möglich. Es wird sich jedoch kaum eine Abnahme der Haufenfeuchte vermeiden lassen, sodass die Haufen während der Keimzeit ein- bis zweimal zu spritzen sind. Der Einbau von Kühlsystemen verlängert die Mälzungsperiode und erhöht die Leistung der Tennen erheblich. Sie sichert ein Einhalten der gewünschten Keimbedingungen. Günstiger als die Kühlung des Tennenraumes ist die Kühlung des Tennenbodens. Hier ergibt sich kein Feuchtigkeitsverlust, da der Schweiß des atmenden Gutes auf dem Tennenpflaster kondensiert. Die künstliche Erwärmung der Tennen kann mithilfe von Öfen oder Heizregistern bewirkt werden. Auch hier

besteht die Gefahr der Austrocknung der Haufen. Normal werden die Haufen in kalten Tennen dicker gelegt.

1.5.1.3 Der *Feuchtigkeitsgehalt* der Tennenluft ist von gleicher Bedeutung wie die Temperatur des Tennenraumes. Er soll gleichmäßig bei 95 % liegen, um ein Austrocknen der Haufen zu verhindern. Die Luftfeuchte ist abhängig von der Luftmenge der Tenne und vom Luftwechsel. Die Luftmenge einer Tenne ist in erster Linie gegeben durch die Raumhöhe, die 3–4 m nicht übersteigen soll. In zu hohen Tennen wird es unmöglich, die Luftfeuchtigkeit zu erhalten, da sich hier eine zu starke Luftzirkulation einstellt, die zu einem Austrocknen der Haufen führt. Zu niedere Tennen haben den Nachteil, dass die Räume dumpfig werden und einen öfteren Luftwechsel erfordern. Die Höhe der Tennen soll möglichst gleichmäßig sein. Unterzüge und Winkel erschweren eine gleichmäßige Belüftung.

Ein Luftwechsel darf auf den Tennen nicht zu häufig vorgenommen werden. Ein „Ziehen" ist zu vermeiden, weil sonst der Haufen abtrocknet. Zur Ventilation dienen Luftkanäle, die in die Umfassungsmauern des Tennenraumes gelegt sind. Die verbrauchte Luft wird vom höchsten Punkt des Tennenraumes ins Freie geführt. Die Kanäle müssen hoch genug, verschließbar und unten abgeschrägt sein, damit sie sich nicht verlegen. Ein unkontrollierter Luftzug, wie er durch Aufzugschächte sowie durch schlecht schließende Türen und Fenster hervorgerufen wird, ist fehlerhaft. Ebenso ist die Anwendung von Ventilatoren zur Lüftung von Tennen in der Regel nachteilig. Die Luftfeuchtigkeit der Tennen sollte mithilfe von Psychrometern oder Hygrometern kontrolliert und notiert werden.

1.5.1.4 Die *Tennenfläche* ist durch die Haufenhöhe festgelegt. 100 kg Gerste ergeben 3,2–3,6 hl Grünmalz. Nachdem im Stadium des kräftigsten Wachstums nur eine Haufenhöhe von 9–10 cm möglich ist, benötigen 100 kg Gerste eine Tennenfläche von 3,2–3,6 m^2. Auf 1 m^2 kann Grünmalz aus 30–40 kg Gerste (je nach Tennentemperatur) vermälzt werden.

1.5.1.5 *Licht* ist von der Keimung fernzuhalten. Die Zahl der Fenster soll wegen der Gefahr von Temperaturschwankungen beschränkt werden. Künstliche Beleuchtung ist deshalb erforderlich.

Die *Reinigung der Tennen* wird gewöhnlich mit Bürsten und Besen, aber auch mit Hochdruckwasser unter Anwendung einfacher Desinfektionsmittel (z. B. Kalk) durchgeführt. Bei längerem Leerstehen der Tennen ist auch die Reinigung und Desinfektion mit chlorhaltigen Mitteln zweckmäßig. Im Tennenraum muss ein Wasseranschluss zur Verfügung stehen.

1.5.1.6 Die *Führung des Tennenhaufens*: Für die *Einleitung des Keimprozesses* ist das Aufschütten der ausgeweichten Gerste von Bedeutung. Das Ausweichen geschieht immer „trocken". Von der Höhe des *Nasshaufens* ist die Geschwindigkeit des Abtrocknens und der Beginn des Ankeimens abhängig. Der Haufen wird hoch angefahren (30–40 cm), wenn schwach geweicht wurde oder wenn die Tenne kalt und zugig ist. Es soll dann entweder eine Nachweiche gegeben oder ein zu rasches Verdunsten des Wassers verhindert werden. Flaches Anfahren (Höhe 15–20 cm) dient infolge der größeren Haufenoberfläche einer rascheren Wasserverdunstung: der Haufen trocknet rascher aus. Auch in wärmeren Tennen oder beim Ausweichen eines bereits spitzenden Haufens wird das Gut flach angefahren.

Im *Trockenhaufen* treten die fühlbaren Merkmale der Keimung auf: die Wurzelbildung (so nicht bereits in der Weiche erfolgt), Temperatursteigerung und Schweißbildung. Es ist von größter Wichtigkeit, von Anfang an dafür zu sorgen, dass dieses Einsetzen der Lebenstätigkeit nicht zu rasch geschieht. Es muss die Möglichkeit erhalten bleiben, den Verlauf der Keimung sachgemäß regeln und die Enzymtätigkeit im Korninnern mit den äußeren Wachstumserscheinungen in Einklang bringen zu können. Wird der Haufen bereits am Anfang zu warm, dann wird die Lenkbarkeit der Prozesse infrage gestellt. Das Mittel, dieses zu rasche Keimen und Wachstum zu verhindern, ist die Abkühlung des Haufens durch Vergrößern seiner Oberfläche. Diese Wahl einer beliebigen Schichthöhe des Keimgutes ist der größte Vorzug der Tennenmälzerei. Gerade das Mälzen in „dünner Schicht" erlaubt eine weitgehende Anpassung an die Eigenschaften des Gerstenjahrganges und der einzelnen Malztypen.

Der Maßstab für die Wahl der Schichthöhe ist die Temperatur des Keimgutes. Der Trockenhaufen wird so weit auseinandergezogen, dass er nicht über 12–13 °C ansteigt.

Das zweite Hauptmittel zur Regelung des Wachstums und des Stoffwechsels ist das Wenden, eine Arbeit, welche Beobachtungsgabe, langjährige Übung und Gewissenhaftigkeit verlangt.

Das Wenden bezweckt eine wirksame Mischung und Umlagerung des Keimgutes zum Ausgleich der Temperatur und des Wassergehaltes, es verhindert das Ineinanderwachsen der Wurzeln (Verfilzen), kühlt den atmenden Haufen durch Verdunstung

des Schweißes und führt dem Haufen Frischluft zu. Je nach einem mehr oder weniger luftigen Wenden sind die Wirkungen verschieden. Es muss rechtzeitig und in den richtigen Abständen erfolgen. Ein zu häufiges Wenden kostet Arbeitskraft, verringert die Feuchtigkeit des Keimgutes unnötig und regt die Atmung überflüssig an. Es ist zweckmäßiger, die Kühlung mehr durch entsprechendes Auseinanderziehen als durch öfteres Wenden des Haufens herbeizuführen. Während des Wendens können die Fenster oder Ventilationsöffnungen geöffnet werden, wenn die Außentemperatur nicht zu kalt ist. Nach dem Wenden werden sie geschlossen.

Während der Nasshaufen etwa 2-mal täglich gewendet wird, kann dies beim Trockenhaufen schon 3-mal, d. h. alle 8 h notwendig werden. Dabei ist ein Geruch nach frischen Gurken wahrnehmbar. Der Haufen soll an allen Stellen der Tenne gleich hoch liegen, mit Ausnahme besonders kalter oder warmer Stellen.

Am dritten oder vierten Keimtag werden die Wachstumserscheinungen, Wurzeln und Blattkeime stärker, der „Junghaufen" tritt in das heftigste Wachstumsstadium. Auch hier dürfen die Lebensprozesse nicht zu rasch und zu weitgehend verlaufen. Der Haufen wird daher noch dünner gelegt, je nach Temperatur und Lösungsfähigkeit auf eine Höhe von 9–10 cm. Er nimmt hier seinen größten Raum ein. Die Temperaturgrenze des Junghaufens beträgt 15–16 °C; sie sollte nicht überschritten werden. Gewendet wird der Junghaufen wiederum je nach seinen Wachstumserscheinungen, im Allgemeinen nach rund 8 h. Am 5. Tag liegt das Stadium des sog. „Wachshaufens" vor. Leichtlösliche Gersten können ungefähr bei der gleichen Temperatur weitergeführt werden wie der Junghaufen. Bei schwerer löslichen Gersten oder auch bei dunklem Malz wird im Sinne der warmen Haufenführung die Temperatur um etwa 1 °C täglich erhöht.

Das Wenden erfolgt täglich zweimal. Bei knapper Weiche, bei heiß und trocken aufgewachsenen Gersten oder auf zugigen und trockenen Tennen lässt oft die Wachstumsenergie nach. Der Schweiß bildet sich nach dem Wenden nur mehr langsam und spärlich, die Erwärmung des Haufens ist zögernd. Auf diese Zeichen mangelnder Feuchtigkeit müssen die Lebensprozesse durch eine nachträgliche Wasserzugabe künstlich angeregt werden: der Haufen wird gespritzt. Das Wasser wird kurz vor dem Wenden in einer Menge von 1–2 l/dt mittels Gießkannenbrause oder Nebelapparat in feinverteilter Form zugeführt. Die Wassertemperatur soll dabei gleich der Haufentemperatur sein, bei sehr kalten Tennen sogar etwas wärmer. Der Zeitpunkt des Spritzens liegt je nach dem Zeitpunkt des Ankeimens, nach der echten Keimzeit etwa am 4./5. Tag. Ein späteres Spritzen sollte, wenn überhaupt, nur bei dunklen Grünmalzen getätigt werden.

Am 6. Tag lässt die Lebensenergie des Kornes nach, die Umsetzungen werden schwächer und die Temperaturerhöhung schleppender. Während die Lebensprozesse in den ersten 4–5 Tagen durch Auseinanderziehen des Haufens eine künstliche Verzögerung erfahren, müssen sie vom 6. Tag an vielfach angeregt werden. Dies geschieht durch das „Greifenlassen": Der Haufen bleibt, meist wieder in höherer Schicht, 24 h und länger ohne Wenden liegen. Hierdurch wird nicht nur das Wachstum kräftiger, sondern die Wurzeln wachsen durch das seltenere Wenden ineinander, sodass der Haufen eine einzige zusammengewachsene Masse bildet. Der Schweiß wird reichlich, die Temperatur steigt etwas an. Dieses Greifenlassen dient der besseren Auflösung der Gerste; es wird besonders bei der Herstellung dunkler, gut gelöster Malze oder bei schwer löslichen Gersten angewendet. Bei diesen ist sogar ein zweimaliges Greifen angebracht: So vom 5. auf den 6. Tag durch 16–18-stündiges „Anheften" und schließlich vom 6. auf den 7. Tag durch 24-stündiges Liegenlassen. Leichtlösliche Gersten brauchen das Greifen nur wenig oder gar nicht. Durch Anreicherung von CO_2 im Haufen verringert sich die Atmung des Grünmalzes. Deswegen und als Folge des abgeschwächten Wachstums steigt der Gehalt der Körner an niedermolekularen Substanzen (Zucker, Aminosäuren) an. Die Temperatur des Greifhaufens liegt bei 18–22 °C. Beim Wenden muss der zusammengewachsene Haufen zuerst „klar" gemacht werden, d. h. es werden mit einer Schüttelgabel die zusammengewachsenen Körner wieder getrennt. Am 8. (und folgenden) Tag liegt der *Althaufen* vor. Schweißbildung und Wachstum hören mehr und mehr auf; das Wenden ist nur mehr selten nötig. Der gewünschte Auflösungsgrad ist erreicht. Die Keimdauer schwankte früher zwischen 7 und 8 Tagen bei hellen Malzen und zwischen 8 und 11 Tagen bei dunklen. Bei den heute leichter löslichen Gersten und der darauf abgestimmten Arbeitsweise durch Erhöhen der Keimgutfeuchte dürften nur mehr 5–6 Keimtage erforderlich werden, vor allem wenn das Gut gleichmäßig spitzend ausgeweicht wird.

Die Aufrechterhaltung der Keimung durch die verschiedenen Keimbedingungen ist bei der Tennenmälzerei – genügend kalte Tennen vorausgesetzt – im Allgemeinen günstig. Die Temperatur des Haufens kann infolge der Möglichkeit einer beliebigen Oberflächenvergrößerung je nach Lösbarkeit der Gerste höher oder niedriger gewählt werden, wobei allerdings die Kapazität der Tenne be-

einflusst wird. Verhältnismäßig leicht ist auch die Beibehaltung der durch das Weichen vermittelten Keimgutfeuchte von ca. 45 %. Dies ist eigentlich überraschend, da doch der dünnliegende und täglich mehrmals bewegte Haufen Wasser durch Verdunstung verlieren müsste. Auf der Tenne jedoch wird dieser Wasserverlust durch das Atmungswasser ersetzt. Der bei der Atmung gebildete Wasserdampf kondensiert nämlich an den Grenzstellen des Haufens zu „Schweiß", der sofort von den feinen Würzelchen der Gerstenkörner aufgesaugt wird. Nur dadurch erhält sich der Wassergehalt des Haufens trotz Wendens und Auseinanderziehens auf der gleichen Höhe. Die „Schweißbildung" ist auch ein praktischer und verlässlicher Maßstab für die Stärke der Atmung und des Stoffwechsels. Wenn auch die Beibehaltung des Wassergehaltes im Tennenhaufen einfach ist, so ist es doch schwer, die Feuchte des Keimgutes um mehr als 2–3 % (absolut) zu erhöhen. Das Spritzen hat ein gesteigertes Wachstum und eine verstärkte Atmungstätigkeit zur Folge, weswegen dann die Haufentemperaturen nur mehr schwer zu halten sind. Nur bei dunklen Malzen spielt diese Erscheinung, speziell gegen Ende der Keimung, eine geringere Rolle.

Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure fließt vom Tennenhaufen ab. Ihre Menge beträgt bei der dünnen Haufenschicht nicht mehr als 1–2 %. Nur in den ersten Keimtagen und beim Greifenlassen ist sie etwas höher. Aus diesem Grunde ist auch keine besondere Luftzufuhr nötig, weil ein genügender Luftaustausch stattfindet.

1.5.1.7 Die *Leistung der Tenne* hängt ab von der Größe der Tennenfläche, dem Raumbedarf des wachsenden Grünmalzes und der Dauer der Mälzungskampagne sowie von der jeweiligen Keimzeit. Wird pro Jahr 240 Tage gemälzt, so kann die Tenne bei einer 7-tägigen Keimdauer rd. 34-mal belegt werden. Liegen auf 1 m^2 Tennenfläche 0,35 dt Gerste, so würden auf einer Gesamttennenfläche von 7 Tennen à 250 m^2 = 1750 m^2 7 Haufen à 87,5 dt = 612,5 dt Gerste liegen. Bei 34 „Umgängen" entspricht dies einer Kapazität von 20 825 dt Gerste.

Die Kontrolle der Tennenhaufen erfolgt mit Thermometern, die an verschiedenen Stellen des Haufens, und zwar 2 cm oberhalb des Bodens, eingesteckt werden. Dabei ist die grafische Aufzeichnung dem gewöhnlichen Anschreiben der Temperaturen vorzuziehen.

Die Tennenmälzerei ist zwar die natürlichste Mälzungsart, sie hat aber wirtschaftliche Nachteile. Infolge ihrer Abhängigkeit von der Außentemperatur und vom Klima ist die Ausnützungsmöglichkeit gering und die Leistung der Tenne schwankend. Dieser Mangel kann durch künstliche Kühlung nur teilweise ausgeglichen werden. Der Raumbedarf ist außerordentlich hoch und beträgt für 100 kg Gerste rund 3,2 m^2. Dadurch werden erhebliche Aufwendungen für die Erstellung und Instandhaltung der Baulichkeiten erforderlich. Die Betriebskosten sind hoch. Da ein Haufen über die gesamte Keimzeit hinweg 12- bis 16-mal bewegt werden muss, ist eine große Zahl von geschulten Arbeitern nötig. Die Leistung eines Mälzers ist vom Stadium des Haufens abhängig, sie schwankt beim Wenden vom Nasshaufen (50 dt/h) über Junghaufen (35 dt) zum Greifhaufen (25 dt einschließlich Schütteln). Der Mittelwert beträgt ca. 35 dt/h; die Tagesleistung beläuft sich einschließlich der Nebenarbeiten auf 200 dt pro Mann.

1.5.1.8 *Variationen der Tennenmälzerei:* Der Aufwand an Fläche und Arbeitskraft führte zu Vorschlägen, das Mälzen auf eine andere Art durchzuführen. Ein Weg ist, die Handarbeit einzuschränken und zu vereinfachen. Dies geschieht, indem ein Teil des Wendens durch Pflügen ersetzt wird, wodurch sich auch technologisch durchaus positive Effekte erzielen lassen. Der Haufen wird nur einmal täglich gewendet, das andere Mal gepflügt. Dabei findet wohl eine Umlagerung, Lockerung und schwache Belüftung des Gutes statt, nicht aber dessen wirksame Umschichtung wie beim Wenden. Die Gerste bleibt dabei in einer Kohlensäureatmosphäre liegen, die Atmung wird gedämpft, sodass sich geringere Schwandverluste ergeben. Zum Pflügen finden entweder pflugähnlich geschnittene Schaufeln Verwendung oder Vorrichtungen, die ein Aufreißen und Abheben des Gutes vom Tennenboden ermöglichen, wie z. B. der Englische Pflug. Auch einfache mechanische Pflüge, die mithilfe eines angetriebenen Propellers eine gute Wendewirkung erzielen, sind in Gebrauch. Vielfach wird die Technik des Pflügens so angewendet, dass das Wenden überhaupt entfallen kann. Zur intensiven Bearbeitung der frühzeitig über die gesamte Tennenfläche auseinandergezogenen Haufen dienen „Prismenschieber", „Fensterschieber" und „Schüttelgabeln". Außerdem gibt es Wendemaschinen, die den Wurf mit der Schaufel nachahmen. Sie werden als freilaufende Tennenwender gebaut, wo sie sich zur Bearbeitung von Jung-, Greif- und Althaufen bewährt haben. Ihre Verwendung ist in jeder Tenne möglich. Daneben sind auch Wender anzutreffen, die auf Schienen laufen und damit eine bestimmte und völlig gleichmäßige Form aller Tennen erfordern. Erstere Wender kommen meist in kleineren und älteren Betrieben vor, Letztere sind nur in größeren mit besonders dazu gebauten Tennen im

Einsatz. Gerade diese Art gestattet es, auch die Vorgänge des Ausweichens und Haufenziehens zu mechanisieren. Sie hat sich technisch bewährt und erspart viel Arbeitskraft. Die Leistung beträgt etwa 900 dt/Mann. Dennoch vermochten sich auch diese mechanischen Keimapparate nicht durchzusetzen, da die übrigen Nachteile der Tennenmälzerei, nämlich die Abhängigkeit vom Klima und der große Platzbedarf, bleiben. Die Lösung dieser Frage erfolgte auf ganz anderem Wege, nämlich durch die pneumatische Mälzerei.

1.5.2 Die pneumatische Mälzerei

Charakteristisch für alle pneumatischen Systeme ist das Mälzen in hoher Schicht, das nur dann möglich ist, wenn das Keimgut durch einen mit Feuchtigkeit gesättigten Luftstrom gekühlt wird. Diese ständige und ausreichende Kühlung des Haufens – ohne ihm merklich Wasser zu entziehen – ist die wichtigste, aber auch schwierigste Aufgabe der pneumatischen Mälzung. Sie erfordert bei dem hochliegenden Keimgut mit einer intensiven Wachstumsenergie einen großen Luftüberschuss.

Eine weitere bedeutsame Aufgabe des Luftstromes ist die Beibehaltung der gewünschten Keimgutfeuchte. Dies ist nicht einfach, da sich die Luft im Haufen erwärmt und somit in der Lage ist, dem Keimgut Feuchtigkeit zu entziehen. Aus diesem Grund kann auch im Haufen keine Schweißbildung stattfinden. Schließlich soll der Luftstrom die Atmungskohlensäure entfernen und Frischluft zuführen. Hierzu sind nur geringe Luftmengen notwendig.

Jede pneumatische Keimanlage besteht aus den Belüftungseinrichtungen und aus dem eigentlichen Keimapparat.

1.5.2.1 Die *Belüftungseinrichtungen* sind für alle pneumatischen Systeme gleich. Ihre richtige Ausführung und Bemessung ist für die Funktion der Anlage entscheidend. Sie bestehen:

1. aus den Teilen welche zur Vorbereitung der durch das Keimgut ziehenden Luft dienen (Temperierungs- und Befeuchtungsanlage),
2. dem Kanalsystem zur Zu- und Ableitung der Luft (Frischluft-, Abluft- und Rückluftkanal) und
3. den Ventilatoren, welche die Bewegung der Luft durch den Apparat und das Keimgut hervorrufen.

1.5.2.2 Eine *eigene Reinigungsanlage* für die Außenluft ist nur mehr selten anzutreffen. Sie dient der Herausnahme des in der Frischluft enthaltenen Staubes, um ein Verschleimen der Belüftungseinrichtungen zu vermeiden. Die Luft wird entweder filtriert oder mithilfe fein zerstäubten Wassers in besonderen Kammern gewaschen.

1.5.2.3 Die *Temperiervorrichtungen* haben die Aufgabe, die Außenluft auf die zur Keimung erforderliche Temperatur von 10–16 °C zu bringen. Die in den Haufen einströmende Luft muss stets kälter sein als das Keimgut. Zu tiefe Temperaturen sind jedoch zu vermeiden, da der Haufen abgeschreckt oder zu stark entfeuchtet würde. Im Winter muss daher die Außenluft angewärmt, im Sommer dagegen abgekühlt werden.

Das Anwärmen der Einströmluft kann gleichzeitig mit der Befeuchtung in der Weise erfolgen, dass das den Zerstäubungsdüsen zugeführte Wasser erwärmt wird. Direktes Einblasen von Dampf, der aber nicht verunreinigt sein darf, erbringt gleichzeitig eine Befeuchtung der Luft. Dampfbeheizte Radiatoren trocknen die Einströmluft; diese muss dann stärker angewärmt werden als üblich (z. B. auf 15–16 °C), da durch die nachfolgende Sättigung der Luft mittels Zerstäubung von Wasser wieder eine Abkühlung eintritt. Eine weitere Möglichkeit der Anwärmung besteht in der Verwendung von Rückluft. Es wird hierbei die aus dem Haufen austretende Luft zurückgeführt und je nach der gewünschten Temperatur mit Frischluft verschnitten. In großen Anlagen hat sich diese Art der Temperierung sehr bewährt.

Die Abkühlung der Luft wird bewirkt entweder durch Zerstäuben von kaltem Wasser oder durch ein eigenes Kühlsystem, das mit Sole, kaltem Wasser von 0,5 °C oder direkt verdampfenden Kältemitteln wie Ammoniak oder Frigen beschickt wird.

Bei der Abkühlung der Luft mit Wasser ergeben sich physikalisch zwei Möglichkeiten:

a) die Abkühlung durch Verdunstung des Wassers. Sie ist nur dann gegeben, wenn die zu kühlende Luft nicht wasserdampfgesättigt ist;
b) die Kontaktkühlung, d. h. die direkte Übertragung der Wassertemperatur auf die Luft durch Berührung: Sie ist umso wirkungsvoller, je feiner das Wasser zerstäubt wird und je länger die Kontaktzeit zwischen Wasser und Luft ist. Bei hohen Außentemperaturen reicht die Wasserkühlung nicht mehr aus. Eine gewisse Verbesserung kann noch die Abkühlung des Wassers bewirken; allgemein ist jedoch heute die direkte Kühlung der Luft durch Kühlsysteme. Während Sole als Kälteträger nur mehr selten anzutreffen ist, gewinnen Glycol oder Eiswasser von 0,5–1 °C durch die den direkt verdampfenden Kältemitteln gegenüber gehegten Be-

denken wieder an Bedeutung. Vor allem Eiswasser könnte durch Speichern der Kälte das Auftreten von Stromspitzen vermeiden. Ammoniak wird heutzutage dem Frigen (F22 statt F12) gegenüber bevorzugt, da es Undichtigkeiten im System leicht erkennen lässt. Die Temperatur des direkt verdampfenden Kältemittels wird hierbei so hoch gewählt (bei 0 °C), dass ein Vereisen der Kühler nicht eintreten kann. Das Kühlsystem muss nach der durch die Atmung des Haufens auftretenden „Wärmespitze", nach der Temperatur der benötigten Frischluft und nach der beabsichtigten Haufenführung bemessen werden. Konventionelle Mälzungsmethoden benötigen eine Kühlerleistung von ca. 6270 kJ/(t h) (1500 kcal/(t h)); moderne Verfahren, wie z. B. die Mälzung mit gestaffelter Wassergabe und fallenden Keimtemperaturen (s. Abschn. 1.5.3.3) haben durch die insgesamt kürzeren Behandlungszeiten eine höhere Spitze zur Folge, die um ca. 50 % höher veranschlagt werden muss. Die Verdampferleistung sollte also in unseren Breiten 9600 kJ/(t h) (2300 kcal/(t h)) betragen. Manche Systeme können sogar noch höhere Werte verlangen.

Das Kühlsystem kann vor oder nach dem Ventilator angeordnet werden. Es ermöglicht eine automatische Steuerung des Keimprozesses.

1.5.2.4 Die *künstliche Befeuchtung der Luft* ist unbedingt notwendig, weil immer die Gefahr einer Austrocknung des Haufens besteht, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Jeder kräftig bewegte Luftstrom führt eine Verdunstung herbei und entwässert.
2. Der Luftstrom erwärmt sich beim Kühlen des Haufens und wird dadurch befähigt, mehr Wasser aufzunehmen. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Einströmluft und Haufen ist, umso stärker die Entwässerung.
3. Der Luftstrom verhindert die „Schweißbildung" im Haufen. Der durch die Atmung entstehende Wasserdampf wird sofort weggeführt.

Zum Ausgleich dieser unvermeidlichen Feuchtigkeitsverluste muss der Einströmluft Wasser in feinster Verteilung zugeführt werden. Diese künstliche Überbefeuchtung der Luft erfolgt mithilfe von Sprühdüsen. Diese dienen bei älteren Anlagen einer gleichzeitigen Kühlung der Luft. Hierfür sind, um den oben angesprochenen Aufgaben genügen zu können, Düsensysteme in eigenen Befeuchtungstürmen untergebracht. Bei Anlagen mit eigenen Kühlapparaten befinden sich die Sprühdüsen am Lufteintrittskanal vor dem Keimapparat. Auch Rotationszerstäuber werden zur Luftbefeuchtung vewendet. Es ist bei kurzen Wegen von der durch Düsen oder Rotationszerstäubern intensiv befeuchteten Luft darauf zu achten, dass keine Wassertröpfchen durch die Horde in das Keimgut eindringen. Es besteht die Gefahr, dass in diesem Bereich die Wurzelkeime durch die Hordenschlitze wachsen und den Luftdurchtritt blockieren. Hierdurch tritt eine partielle Erwärmung des Haufens ein. *Befeuchtungstürme* liegen unmittelbar vor der Anlage und sind in der Regel zweiteilig, damit Luft und Wassernebel in einen möglichst langen und intensiven Kontakt kommen. Sie müssen leicht betretbar und zur Reinigung der Spritzdüsen und Turmwände mit einer Steigleiter versehen sein.

Die Anfeuchtung der Luft erfolgt in diesen Türmen mithilfe von Spritzdüsen, bei denen das zugeführte Wasser meist durch eine enge Düsenbohrung auf einen Prallkörper auftritt und so zerstäubt wird. Der entstehende Wassernebel wird von der vorbeistreichenden Luft aufgenommen. Die Voraussetzungen zur Entstehung eines feinen Wassernebels sind die Konstruktion und Einstellung der Düse, der Wasserdruck und schließlich die Reinhaltung der Düsen und Wegeführungen.

Der Wasserdruck liegt gewöhnlich bei 2–3 bar Überdruck. Bei zu geringem Druck muss eine besondere Pumpe zur Druckerhöhung aufgestellt werden. Die Verteilung der Düsen im Befeuchtungsturm geschieht unter bestmöglicher Ausnutzung der entstandenen Wassernebelzone. Die Zahl der Düsen hängt ab vom Luftdurchsatz und von Bau und Größe der Spritzräume. Der Wasserverbrauch einer Düse liegt unter normalen Druckverhältnissen bei 1–1,5 l/min.

Um diesen Wasserverbrauch herabzusetzen, wird das Spritzwasser, das sich am Boden des Befeuchtungsturmes sammelt, in genügend großen Wassergruben gespeichert, durch Sedimentation gereinigt, mittels Chlorzusatz desinfiziert und dann durch Pumpen wieder den Spritzdüsen zugeführt. Der Sauberhaltung dieser Wassergruben kommt Bedeutung zu, da andernfalls die Befeuchtungsanlage verschleimt.

Ein anderer Weg in der Befeuchtung der Luft wird mit dem *Rotationszerstäuber* beschritten. Die geschlossene Befeuchtungstrommel enthält einen Lüfter, eine Wasservernebelungsvorrichtung und den gekapselten, wasserdichten Antriebsmotor. Sie liegt unmittelbar an der Lufteintrittsöffnung der jeweiligen Keimapparatur. Es gelingt mit dem Turbozerstäuber das Wasser außerordentlich fein zu versprühen, sodass eine Sättigung der Luft von 100 %

erreicht wird. Die Luft kühlt sich durch die entstehende Verdunstungskälte ab. Nachdem es jedoch gelingt, diese Sättigung bereits mit sehr geringen Wassermengen zu erzielen, kann warme Luft hohen Feuchtigkeitsgehaltes nicht mehr in gewünschtem Maße abgekühlt werden, da eben die Kontaktkühlung der beim Spritzturm benötigten großen Wassermengen entfällt. Aus diesem Grunde kommt der Turbozerstäuber in der warmen Jahreszeit nur in Verbindung mit einem Kälteaggregat zum Einsatz.

Einen hohen Sättigungsgrad weist die aus dem Keimapparat abgeführte Rückluft auf. Wird diese durch ein Kühlsystem (Rückluftkühler) abgekühlt, so wird häufig ihre völlige Sättigung z. T. sogar die Abscheidung von Luftfeuchtigkeit bewirkt. Es ist daher auch die Verwendung von Rückluft als eine sehr wirkungsvolle Maßnahme zur Erzielung einer gleichmäßig hohen Feuchte der Einströmluft zu sehen. Eine Nachbefeuchtung durch einen Turbozerstäuber oder auch durch einige Reihen von Spritzdüsen wird jedoch nicht entbehrlich, da die Kanalführung häufig eine Entfeuchtung der Luft zur Folge hat.

Sicher kann ein so hervorgerufener Wasserverlust im Haufen durch vermehrtes Spritzen oder durch Einstellen einer ursprünglich höheren Keimgutfeuchte (z. B. 50 statt 47 %) ausgeglichen werden. Es kann aber hierdurch zu vermehrter Husarenbildung und zu erhöhten Mälzungsverlusten kommen.

Der *Wasserverbrauch* über die gesamte Keimzeit (158 h Befeuchtungszeit) hinweg kann je nach den gegebenen Möglichkeiten in weiten Grenzen schwanken. Er beträgt bei ausschließlicher Kontakt- bzw. Verdunstungskühlung im Befeuchtungsturm rd. 30 m^3/t, bei Wasserrückgewinnung je nach Frischwasserzusatz 2,5–5 m^3, mit Turbozerstäubern 0,5 m^3, bei Luftkühlung mittels Kältemaschine und geringer Nachbefeuchtung 0,1–0,5 m^3. Nun benötigt aber der Kondensator des Kälteaggregates entsprechende Kühlwassermengen, die im Falle eines Gegenstromkondensators bei 30 m^3/t, bei einem Verdunstungskondensator bei 3 m^3/t und schließlich bei Luftkondensatoren bei 0 liegen können. Eine Kombination aus einem am Frischlufteintritt der Darre angeordneten Luftkondensator und einem Doppelrohrverflüssiger kann zum Anwärmen des Weichwassers Verwendung finden.

1.5.2.5 Das *Kanalsystem*, d. h. die Wegeführung der Luft muss so ausgeführt sein, dass weder Temperatur noch Wassergehalt der Luft verändert werden. Die Frischluft soll der Anlage stets von außen, nicht aus dem Mälzereiraum zugeführt werden. Der Frischluftkanal ist ausreichend zu bemessen. Der Rückluftkanal führt die aus dem Keimapparat strömende Luft wieder zum Ventilator zurück. Er kann für jede Einheit getrennt, oder auch für mehrere Kasten zusammen angeordnet sein. Gerade dieser Rückluftsammelkanal stellt eine Reserve an sauerstoffarmer, befeuchteter und warmer Luft dar, die mit Vorteil zur Haufenführung eingesetzt werden kann. Spritzdüsensysteme oder eigene Kühler sorgen für eine Temperaturerniedrigung der Rückluft. Der Abluftkanal muss so bemessen sein, dass er den Abtransport der Abluft ohne zusätzliche Widerstände ermöglicht.

Alle Luftkanäle müssen möglichst kurz und gerade geführt werden; sie sollen einen entsprechend großen, gleichbleibenden Querschnitt mit möglichst kleiner Oberfläche besitzen, sowie innen glatt und leicht zu reinigen sein.

Absperrvorrichtungen dürfen nur so angelegt werden, dass sie keine Verengung der Luftwege und damit Änderungen des Wassergehaltes der Luft mit sich bringen. Andererseits sollen sie im Bedarfsfalle einen völligen Abschluss gewährleisten können.

1.5.2.6 Die *Ventilatoren*: Die Fortbewegung der Luft beruht auf der Erzeugung von Druckunterschieden. Hierfür finden Druck- und Saugventilatoren Anwendung, die entweder als Gehäuse- oder Radialventilatoren wie auch als Axialventilatoren ausgeführt sein können. Technisch günstiger ist die Druckventilation, da sich hier die Luft infolge des Widerstandes durch das Keimgut gleichmäßig unter diesem verteilt. Es herrscht damit an allen Stellen unterhalb des Haufens der gleiche Überdruck. Bei Saugluft kann es dagegen sein, dass Partien des Grünmalzes infolge kürzerer Wege oder geringerer Widerstände stärker belüftet werden als andere.

Eine Messung der Druckunterschiede zwischen der oberen und der unteren Haufenschicht vermittelt einen Überblick über die Leistung des Ventilators, die Beschaffenheit des Keimapparates, die Einstellung der Luftschieber und schließlich über die Durchlässigkeit des Keimgutes z. B. vor oder nach dem Wendevorgang.

Die Luftmengen, die zur Kühlung und Lüftung des Haufens dienen, sollen dem jeweiligen Wachstumsstadium angepasst werden. Aus diesem Grunde ist eine stufenlose Regulierung des Ventilatormotors z. B. mittels Frequenzumformung günstiger als eine Drosselung der Frischluft- oder Abluftmengen. Zu hohe Luftgeschwindigkeiten stören die Feuchtigkeitsverhältnisse des Haufens. Besonderer Wert wird auf die Gleichmäßigkeit der Belüftung des Gutes gelegt. Die Dauer der Lüftung kann eine ständige oder zeitweise sein. Erste-

re ist vorzuziehen, weil sie für die Ausbildung einer gleichmäßigen Temperaturkurve des Haufens günstig ist und derselbe in seinem Wachstum nicht immer gestört wird. Die Lüfterleistung wird in diesem Falle – je nach dem Stadium des Grünmalzes – auf 300–700 m^3/(t h) bemessen. Bei zeitweiser Belüftung ist ein höherer Luftdurchsatz erforderlich, da der Haufen jeweils in kurzer Zeit abgekühlt werden muss. Hierfür sind Lüfterleistungen von 1000–1500 m^3/(t h) zu installieren.

1.5.2.7 *Die automatische Steuerung der Temperaturen*. Bei künstlicher Kühlung können die Haufentemperaturen auf einfache Weise thermostatisch gesteuert werden. Die Einströmluft, gemessen unter der Horde, wird bei einem gewünschten Verhältnis Frischluft: Rückluft über den Verdampfer der Kälteanlage beeinflusst. Die Differenz zwischen Keimgut- und Einströmlufttemperatur hängt von der durchgesetzten Luftmenge ab. Es ist nun möglich, durch Einstellen einer Differenz von z. B. 2 °C die Ventilatordrehzahl zu steuern. Steigt die Temperaturdifferenz zwischen Keimgut (meist im oberen Drittel des Haufens gemessen) an, so schaltet der Ventilator auf die nächst höhere Stufe, im gegenteiligen Falle auf eine niedrigere. In der kälteren Jahreszeit wird das Verhältnis Frischluft: Rückluft so gewählt, dass die Kühlanlage bei geringstmöglichem Kälteaufwand ihrer Regelfunktion noch nachkommt und auch hier auf die Automatik nicht verzichtet werden muss.

Um jedoch auch diesen Stromaufwand zu sparen, können die Frisch- und die Rückluftklappe eines jeden Keimkastens thermostatisch so gesteuert werden, dass die gewünschte Keimlufttemperatur (unter der Horde gemessen) konstant gehalten wird. Die Zusammensetzung der Einströmluft bleibt dabei unberücksichtigt. Reicht dieser Regelbereich nicht mehr aus, so wird die Kälteanlage automatisch zugeschaltet.

1.5.2.8 *Der Kraftbedarf pneumatischer Anlagen:* Er schwankt durch die Vielzahl der Belüftungs- und Kühlmöglichkeiten, durch die unterschiedliche Höhe des Keimbetts (hohe spezifische Beladung – höhere Drücke – mehr Kraftaufwand), durch die Abmessungen der Kanäle usw. in weiten Grenzen.

Der Kraftbedarf der Keimkastenventilation errechnet sich unter folgenden Bedingungen:

Ventilatorleistung 500 m^3/(t h), von 144 h Keimzeit, 136 h Belüftungszeit, davon 100 h mit kleiner und 36 h mit großer Drehzahl, Motorwirkungsgrad $\gamma = 0{,}85$. Bei einem Keimkasten von 80 t Gerste als Grünmalz ergeben sich Motorleistungen von 2,2 und 9 kWh, im Durchschnitt ca. 5,8 kWh/t Gerste oder 7,2 kWh/t Malz.

Der Stromverbrauch der Kälteanlage gibt folgende Daten:

Durchschnittliche Laufzeit 18 h bei 330 Arbeitstagen/Jahr; Wirkungsgrad 80 %, Durchschnittswert 35 kWh/t Gerste oder 44 kWh/t Malz. Ersparnisse sind möglich über die vorgenannten Maßnahmen. Statt eines direkt verdampfenden Kältemittels kann auch Eiswasser zur Beschickung der Kühlsysteme herangezogen werden, das dann unter „Eisansatz" mit billigerem Nachtstrom zu kühlen ist.

Hohe Kondensatortemperaturen (z. B. bei Luftkondensation im Sommerbetrieb) können zu einem erhöhten Stromverbrauch führen. Ein nachgeschalteter Doppelrohrverflüssiger vermag die Verflüssigungstemperatur abzusenken und dabei temperiertes Weichwasser zur Verfügung zu stellen.

1.5.3 Die Keimanlagen der pneumatischen Mälzerei

Die pneumatischen Mälzungsanlagen lassen sich in eine Reihe von Arten einteilen, die sich jedoch im Wesentlichen auf die beiden Systeme: Trommel- und Kastenmälzerei zurückführen lassen.

1.5.3.1 Die *Trommelmälzerei*, ursprünglich in mehreren Variationen ausgeführt, ist praktisch nur mehr in Form der Gallandtrommel und der Kastenkeimtrommel vorzufinden.

Die *Gallandtrommel* stellt einen schmiedeeisernen, auf beiden Seiten mit Böden abgeschlossenen Zylinder dar, der auf vier Laufrollen ruht. In den Böden sind kreisrunde Öffnungen zur Zu- und Ableitung der Ventilationsluft angebracht. An der Eintrittsseite wird die Luft aber nicht unmittelbar in den Trommelraum geführt, sondern sie gelangt zunächst in einen vom Trommelraum abgeschiedenen Vorraum, die Luftkammer. Von dieser laufen an der Trommelwand gelochte Kanäle, durch welche die Luft in das Trommelinnere bzw. in den dort liegenden Haufen strömen kann. Zur Ableitung der Luft aus dem Haufen dient ein in der Mitte der Trommel angebrachtes, weites, perforiertes Zentralrohr, das seinerseits mit der Luftableitung in Verbindung steht. Bei der Drehung der Trommel werden all jene Lufteintrittskanäle der Trommel, die sich jeweils über dem Haufen befinden, durch einen Pendelschieber abgedeckt, um zu verhindern, dass die Einströmluft unausgenützt in das Zentralrohr abströmt. Über den Trommelumfang gleichmäßig verteilt sind ein bis zwei Reihen verschließbarer Türchen angebracht, durch die die Trommel

beschickt und entleert sowie das Keimgut beobachtet werden kann.

Das Wenden des Haufens erfolgt durch die langsame Drehung der Trommel mithilfe eines Schneckengetriebes, das auf einen um die Trommel gelegten Zahnkranz arbeitet. Zu einer Umdrehung braucht die Trommel 25–45 min. Die geringere Geschwindigkeit dient zum Wenden des Keimgutes, die größere zum Befüllen und Entleeren der Trommel. Dabei nimmt die Oberfläche des Trommelhaufens eine Schrägstellung an, auf welcher das Keimgut langsam herabrieselt. Dadurch wird das Keimgut vollständig und sehr gleichmäßig gewendet. Die Kapazität einer Trommel der Bauart Galland betrug maximal 15 t, neuere Konstruktionen haben ein Fassungsvermögen von 25 t.

Die Belüftung der Gallandtrommel erfolgt ständig, infolge des Alters der Anlagen ist meist die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung übliche Sammelbelüftung mit einem Saugventilator anzutreffen. Die zentrale Belüftung birgt den Nachteil in sich, dass die von ihr gelieferte Luftmenge sich nach dem jeweils kältesten Haufen zu richten hat; bei 12 °C im Gut entspricht dies einer Temperatur der Einströmluft von 10 °C. Bei Haufen in fortgeschrittenen Stadien werden zwar durch diese niedrige Lufttemperatur relativ geringe Luftmengen benötigt, doch ergibt sich bei Erwärmung dieser Luft von 10 auf 15 oder gar 18 °C infolge Abfall der relativen Luftfeuchtigkeit ein starker Wasserverlust im Grünmalz. Es besteht die Gefahr des Austrocknens der Haufen, was durch gezieltes Spritzen vermieden werden muss. Auch die Saugventilation ist nicht ohne Nachteil. Der Unterdruck beträgt an der Lufteintrittsseite rund 5 mmWS, auf der Ausgangsseite ca. 40 mmWS. Die Belüftung ist nicht ganz gleichmäßig, da die Haufenhöhe infolge des kreisrunden Querschnittes der Trommel und durch die Drehung derselben verschieden ist. Auch ist die Belüftung an der Luftaustrittsseite, an welcher der Ventilator angeordnet ist, stärker als am Eingang. Der Haufen wird hier stets kälter und stärker entfeuchtet sein. Zum Ausgleich ist das Zentralrohr an der Abluftseite weniger gelocht als an der Lufteingangsseite.

Die temperierte und befeuchtete Einströmluft wird von der zentralen Konditionierungsanlage in einem gemauerten, möglichst kurzen und geraden Hauptluftkanal durch entsprechende Abzweigungen zu den einzelnen Trommeln geführt. Die hierdurch notwendig werdenden Richtungsänderungen der Luft haben wiederum eine Entwässerung derselben zur Folge.

Bei modernen oder umgebauten Trommelanlagen wird die Belüftung mit Druckluft vorgenommen. Es gestaltet sich hier bei individueller Luftkonditionierung und direkter Kühlung der Aufbau der Anlage wesentlich einfacher. Es ist jedoch notwendig, im Trommelfundament oder auf sonst geeignete Weise einen Rückluftkanal anzuordnen, da dieser bei der vorbesprochenen Sammelbelüftung meist fehlt. Der Verschnitt von Frisch- und Rückluft erfolgt mithilfe eines Hosenrohres vor dem Druckventilator, dem dann wiederum der Verdampfer der Kälteanlage nachgeschaltet ist. Es genügt dann auf dem sehr kurzen Weg zur Trommel die Luft mit wenigen Wasserdüsen nachzubefeuchten. Die Bemessung der Luftmenge geschieht über die Regulierung der Ventilatordrehzahl, zusätzlich jedoch durch Drosselung des Luftaustrittsschiebers.

Die Haufenführung der Gallandtrommel vermittelt die gleichen Keimbedingungen wie in der Tennenmälzerei bzw. wie in den anderen pneumatischen Anlagen. Gewisse Unterschiede sind durch die Eigenheiten der Trommel bedingt. Für die Führung des Trommelhaufens sind von Bedeutung:

Die Temperaturen der ein- und ausströmenden Luft; die Wende- bzw. Drehzeiten und die Zeiten der Ruhe. Die Einströmluft liegt bei Sammelbelüftung bei ca. 10 °C; sie ist folglich für alle Trommeln gleich. Sie muss ohne zusätzliche Widerstände (Drosselklappen) in das Innere der Trommel gelangen können. Die Regulierung der Luftmenge wird ausschließlich mithilfe des Absperrorgans auf der Luftaustrittsseite vorgenommen.

Die Dreh- und Wendezeiten werden dem jeweiligen Stadium des Haufens angepasst. Da sich aufgrund der nicht ganz optimalen Belüftungsgegebenheiten leicht Temperaturunterschiede in den verschiedenen Höhen des Keimguts einstellen können, muss gerade zur Zeit des intensivsten Wachstums häufig gewendet werden.

Bei konventioneller Führung einer Trommel mit Sammelbelüftung gestaltet sich die Arbeitsweise wie folgt:

Das Ausweichen, das nass oder (bevorzugt) trocken geschieht, erfolgt durch die erwähnten Türchen auf drei Abschnitte, um die jeweilige Teilmenge durch 1 1/2–2 Umdrehungen gleichmäßig zu verteilen. Früher wurden die Trommelhaufen mit dem vollen Weichgrad von 46–47 % ausgeweicht, um dem späteren Wasserverlust besser begegnen zu können. Es war dann üblich, die Trommel unter voller Belüftung mit unbefeuchteter Raumluft rotieren zu lassen, bis das Haftwasser nach ca. 4 h (im Sommer) und 6–8 h (im Winter) abgetrocknet war. Anschließend wurde konditionierte Luft zugeführt.

Neuerdings wird mit niedrigeren Feuchtigkeitsgehalten von 38–42 % (nach 26 bzw. 52 h „pneumatischer“ Weiche) begonnen und das Einziehen des

Haftwassers ohne eigentliche Belüftung nur unter gelegentlicher Kohlensäureabsaugung (alle Stunde 10 min) abgewartet. Zur Unterstützung des Abtrocknens dreht die Trommel entweder dauernd (bei 38 % Feuchte) oder 2 h lang alle 3 h (bei 42 % Feuchte). Sobald die Temperatur des Haufens um ca. 2 °C über die Ausweichtemperatur angestiegen ist, wird konditionierte Luft zur Temperierung des Haufens eingesetzt.

Diese Arbeitsweise ist organischer als die erstere Handhabung, da hierbei keine Verdunstungskälte und damit kein Abkühlen des Haufens auftritt.

Bei der früheren Art der Haufenführung ist die Drehzeit am ersten Keimtag eine Stunde, die Ruhezeit 4–6 h, bei einer Ablufttemperatur von ca. 12 °C. Der Luftschieber wird also nur wenig geöffnet. Durch die lange Ruhezeit und die dadurch bedingte Erwärmung wird – so noch nicht durch sachgerechte Weicharbeit bereits erfolgt – ein gleichmäßiges Ankeimen begünstigt.

Der zweite Keimtag erfordert ein häufigeres Drehen der Trommel, um die Wachstumsbedingungen möglichst gleichmäßig zu gestalten. Auf eine Drehzeit von einer Stunde folgt eine Ruhezeit von 3 h. Die Abluft wird durch entsprechende Stellung des Luftschiebers bei 12–13 °C gehalten.

Am dritten Keimtag ist die Drehzeit etwa zwei Stunden, die Ruhezeit rund drei Stunden. Die Temperatur ist je nach den Gegebenheiten der Abluft 13–14 °C. In der wärmeren Jahreszeit kann es erforderlich werden, dass bereits nach einer Ruhezeit von 2 h eine Stunde lang gedreht wird. Gerade im Stadium des intensivsten Wachstums muss eine stärkere Erwärmung und damit die Ausbildung ungleicher Temperaturen im Haufen bei längeren Standzeiten vermieden werden. Jede dadurch bedingte übermäßige Erwärmung wird durch eine Verfilzung des Haufens unangenehm und gefährlich. Je wärmer die Außentemperatur, umso kürzer muss die Ruhezeit veranschlagt werden. In diesem Stadium beginnt sich jedoch die große Temperaturdifferenz zwischen Abluft- und Einströmluft auf die Feuchtigkeit des Haufens auszuwirken; es ist daher zweckmäßig, nach etwa 60 h Keimzeit zum ersten Mal zu spritzen. Dieses kann einfach durch einen Wasserschlauch mit Brause während einer Drehung der Trommel erfolgen, wobei das überschüssige Wasser durch die Türchen abläuft. Vielfach wird die Luftausgangsseite etwas stärker gespritzt. Bei knapper Weiche, höheren Außentemperaturen usw. kann sogar ein zweimaliges Spritzen (nach 48 u. 60 h) empfehlenswert sein, um den Haufen optimal zu entwickeln.

Am vierten Keimtag beträgt die Drehzeit 1–2 h auf eine Ruhezeit von 2–3 h. Die Ablufttemperatur liegt bei 15–16 °C. Diese Führung begünstigt ein gleichmäßiges Wurzelgewächs. Um dieses frisch zu erhalten, muss bei typischen Gallandtrommeln zweimal täglich intensiv gespritzt werden, wiederum am besten beim ersten Umgang einer Wendeperiode.

Am fünften Tag ist der Höhepunkt der Lebenstätigkeit bereits überschritten; es verlängern sich allmählich wieder die Ruhezeiten, um das Wachstum der Wurzelkeime anzuregen. Aus diesem Grunde wird die Trommel 2 h gedreht und bleibt 4 h stehen. Die Temperatur der austretenden Luft beträgt je nach der Löslichkeit der Gerste 16–18 °C. Auch an diesem Tage ist ein zweimaliges Spritzen erforderlich. Durch die intensive Vermischung des Keimgutes mit dem zugeführten Wasser sind die üblichen Nachteile starken Spritzens, selbst zu einem späten Zeitpunkt, nicht zu befürchten.

Während des sechsten Keimtages wird die Trommel abwechselnd 2 h gedreht und 5–6 h stehen gelassen. Die Ablufttemperatur liegt je nach Gerste bei 18–20 °C. In Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgehalt und Lösungsgrad des Keimgutes kann ein nochmaliges Spritzen erforderlich werden, da durch die große Differenz zwischen Abluft- und Einströmlufttemperatur eine starke Entfeuchtung des Haufens zu verzeichnen ist.

Am siebten Keimtag wird ein 2-stündiges Wenden nur mehr alle 10–12 h erforderlich. Die Ablufttemperatur beläuft sich auf 18–20 °C. Diese Keimzeit reicht in der Regel bei sachgemäßer Führung aus. Um die Darre zu entlasten, wird verschiedentlich in den letzten 6–12 h vor dem Haufenziehen „abgetrommelt", d. h. unter ständiger Drehung mit unbefeuchteter Raumluft geführt.

Das vorgenannte Schema wird je nach Jahrgang und Lösungsfähigkeit, vor allem aber auch nach den Gegebenheiten des Keimapparates variiert.

Kam das Gut bereits in der Weiche gleichmäßig zur Ankeimung, was z. B. nach einer pneumatischen Weiche (Ausweichgrad ca. 42 %) der Fall ist, so muss die intensive Wendearbeit früher beginnen. Sie wird in der Regel um einen Tag „vorgezogen". Das Spritzen muss zunächst auf die Erzielung der gewünschten Maximalfeuchte abgestellt sein; so erfolgt die erste Wassergabe bereits ca. 24 h nach dem Ausweichen, wenn alle Körner gleichmäßig gabeln. Eine zweite kräftige Befeuchtung wird rund 12 h später nötig sein, um auf 46–48 % Wassergehalt zu steigern. Anschließend ist das Augenmerk auf die Erhaltung dieser Keimgutfeuchte zu richten.

Die Entleerung der Trommel erfolgt durch die geöffneten Schiebetüren in eine trichterförmige Gosse, die das Grünmalz einer Schüttelrinne, ei-

nem Gurtförderer oder einem Redler, seltener dem Saugstutzen einer pneumatischen Anlage zuleitet.

Das Grünmalz des Trommelhaufens ist bei sachgemäßer Führung frisch im Geruch, die Wurzeln sind infolge des geringen Abriebs gut erhalten. Während des Keimprozesses wird ständig das Gewächs des Wurzel- und Blattkeims sowie der Verlauf der Auflösung beobachtet. Die Entwicklung des Wurzelkeimes erfährt durch längere Ruheperioden, der Blattkeim dagegen durch häufigeres oder längeres Drehen, verbunden mit Spritzen eine Begünstigung. Die Auflösung wird gefördert durch längeres Stehenlassen der Trommel vom 6. Tag ab, meist zusammen mit einer etwas wärmeren Führung.

Das Arbeiten mit der Trommel ist schematischer als auf der Tenne. Sie vermittelt jedoch den großen Vorzug der stets gleichen Dimensionierung und der besseren Beherrschung der Keimbedingungen. Die Temperaturführung des Gutes kann allen Erfordernissen angepasst werden, vorausgesetzt, dass durch entsprechende Kühler auch in der wärmeren Jahreszeit das erforderliche Niveau der Lufteintrittstemperatur gehalten werden kann. Eine Belüftungsanlage mit Druckventilator und Kühler für jede Trommel würde sogar die Führung mit fallenden Keimtemperaturen ermöglichen. Der Wassergehalt des Keimgutes kann bei Zentralbelüftung und Saugventilator durch die großen Temperaturdifferenzen zwischen Malz und Einströmluft nur schwer gehalten werden. Auch die komplizierte Wegeführung für die Luft spielt eine Rolle. Dagegen ist es durch die gründliche Wendearbeit möglich, das durch Spritzen zugefügte Wasser dem Grünmalz ohne Nachteile – selbst noch in einem späteren Keimstadium – zu vermitteln. Auch eine Art Wiederweiche kann in der Trommel durchgeführt werden, wenn man je nach den statischen Möglichkeiten die Trommel nach ca. 60–70 h Keimzeit zu 1/4 bis 2/5 mit Wasser befüllt und durch Drehen das Gut diesem Wasserbad gleichmäßig aussetzt.

Der Haufen hat wenig Kohlensäure (etwa 1 %); nur bei längerem Stehen finden sich in den unteren Partien CO_2-Mengen bis zu 7 %. Bei Einzelbelüftung (und Druckventilation) lässt sich durch Umluftverwendung in einem völlig dichten System der Kohlensäuregehalt der Haufenluft auf 10–15 % steigern.

Die Reinigung und Pflege der Anlage ist Voraussetzung für ihre einwandfreie Funktion. Die Reinigung des Zentralrohres und der Seitenkanäle muss sofort nach dem Leerwerden der Trommel geschehen, um die freie Durchgangsfläche der Schlitze zu gewährleisten. Sonst sind ungleiche Temperaturen, u. U. ein Warmwerden des Haufens kaum zu vermeiden. Die Mannlochtüren des Zentralrohres müssen gut verschlossen sein. Öffnen sie sich während des Betriebs, dann gelangt Keimgut in das Zentralrohr und macht die gleichmäßige Belüftung des Haufens unmöglich. Auch die Zu- und Abluftkanäle sind zu reinigen. Namentlich der Abluftkanal wird durch mitgerissene Keime und Spelzen verunreinigt.

Beim Waschen der äußeren Trommelwand darf kein Wasser in die Ölbäder für das Schneckengetriebe laufen. Der maschinelle Teil der Trommelanlage erfordert ausreichende Wartung.

Wirtschaftlich ist die Trommel der Tenne durch Raumersparnis, Unabhängigkeit von der Witterung und durch geringen Bedarf an Arbeitskräften, leichte Beobachtung und Kontrolle überlegen. Einzelbelüftung in Verbindung mit Kühlern ermöglicht eine automatische Einstellung der Haufentemperaturen. Wasser- und Kraftverbrauch sind von der Ausführung der Anlage abhängig.

1.5.3.2 Die *Kastenkeimtrommel* ist eine Kombination aus einer Trommel und einem Saladinkasten (s. Abschn. 1.5.3.3). Der Haufen liegt im Trommelinnern auf einem horizontalen Tragblech.

Eine neuere Konstruktion hat spiralig aufgeschweißte Stahlbänder von 12–15 cm Breite, die unter dem Einfluss der Trommeldrehung von 6 1/2 min pro Umgang das Gut beim Ausweichen verteilen und einebnen, beim Haufenziehen zu den in der Mitte des Trommelmantels befindlichen Türchen fördern. Zum Wenden des Gutes dreht die Trommel langsamer (13–20 min pro Umgang).

Die Belüftung der Kastenkeimtrommel erfolgt meist durch einen Druckventilator in der Weise, dass die Luft wie bei der Gallandtrommel zunächst in eine vordere Druckkammer an der Stirnseite des Tragbleches einströmt. Nach dem Durchdringen des Haufens wird die Luft über eine zweite, im entgegenliegenden Trommelboden befindliche Luftkammer abgeführt. Jede Kastenkeimtrommel verfügt über einen eigenen Ventilator mit Befeuchtungseinrichtung. Bei modernen Anlagen ist auch ein Kühlsystem für direkte Kältemittelverdampfung angeordnet. Das Wenden geschieht wie bei der Gallandtrommel. Es ist jedoch infolge der geringeren Temperaturunterschiede im Gut nur zweimal täglich, zur Zeit des intensivsten Wachstums 3–4-mal täglich notwendig. Die Wendedauer ist eine Stunde (ca. 3 Umdrehungen); während dieser Zeit muss die Belüftung abgestellt werden. Hierbei ist ein Temperaturanstieg unvermeidlich, der vor oder nach dem Wenden wieder abgebaut werden muss. Nach dem Wenden liegt das Gut nicht horizontal; der entstehende Böschungswinkel muss

durch entsprechendes Vor- und Zurückdrehen ausgeglichen werden.

Das Keimgut liegt eben, in gleichmäßig hoher Schicht, wodurch die Belüftung gleichmäßiger wird als bei der Trommel. Die Kanalführungen sind kurz und übersichtlich, die Querschnitte größer. Aus diesem Grunde und um Ersparnisse in den Investitionskosten zu erzielen, wurden die Kastenkeimtrommeln verschiedentlich als Zweihaufentrommeln gebaut.

Die vorstehend aufgeführten Gegebenheiten ermöglichen eine bessere Beibehaltung der Grünmalzfeuchte, auch ist die nachträgliche Erhöhung derselben durch Spritzen gleich gut möglich wie bei der Trommel. Nachdem der Apparat völlig abgedichtet werden kann, erlaubt er sowohl die Durchführung einer Kohlensäurerast wie auch bei dauernder Beschickung mit Rückluft die gezielte Anreicherung von CO_2 in der Haufenluft. Die Kastenkeimtrommel wird ständig, mit Ausnahme der Drehungszeiten, belüftet. Während dieser bilden sich größere Mengen an CO_2, die aber bei der folgenden Belüftung wieder rasch entfernt werden. Bei normaler Haufenhöhe von 1 m ist der Überdruck unter dem Hordenblech 50–60 mm, oberhalb des Haufens etwa 20 mm. Die Kastenkeimtrommel erlaubt es, sich den verschiedensten Keimbedingungen anzupassen, die Wendearbeit ist vollständig. Sie hat sowohl gegenüber der Trommel als auch gegenüber dem Keimkasten Vorteile. Infolge ihrer beschränkten Kapazität von ca. 25 t konnte sie sich nicht durchsetzen. Die Reinigung und Instandhaltung auch des mechanischen Teils ist einfacher als bei der Gallandtrommel.

1.5.3.3 Die *Kastenmälzerei* hat sich, vor allem in den letzten 45 Jahren, fast als einzige pneumatische Mälzungsart behauptet. Sie wird vielfach nach ihrem Erfinder Saladin-Mälzerei genannt. Weitere Entwicklungen wie die Turmmälzerei oder die verschiedenen Arten des Wanderhaufens bauen auf dem Prinzip der Kastenmälzerei auf.

Entgegen der Keimtrommel ist der Keimkasten nicht geschlossen; er ist oben offen, von rechteckiger Form. Das Keimgut liegt in ebener Schicht von ca. 1,0 m Höhe auf einem Tragblech. Die Lüftung erfolgt bei alten Einheiten durch meist diskontinuierlich arbeitende Saugventilatoren, die an eine gemeinsame Befeuchtungsanlage angeschlossen sind. Bei neueren Saladinkästen verfügt jeder Haufen über einen eigenen Druckventilator mit Befeuchtungs- und Kühlaggregat. Die Belüftung ist ununterbrochen. Der Saladinhaufen ist sichtbar und leicht zu kontrollieren; er erlaubt infolge seiner gleichmäßigen Schicht eine völlig gleichmäßige Belüftung. Dafür ist jedoch der Haufen von den Eigenschaften des Kastenraumes abhängig.

Dieser muss infolgedessen den Keimbedingungen des Korns angepasst werden, eine Aufgabe, die eine Isolierung des Raumes sowie entsprechende Abmessungen erfordert. Der Keimraum hat bei einer Kapazität des Kastens von rd. 30 t eine Höhe über dem Hordenblech von 3,70–4 m, die Decke soll glatt und ohne Unterzüge sein, um das Abströmen der Luft ohne Widerstände zu ermöglichen. Eine Isolierung der Decke schützt vor Schwitzwasser- und Schimmelbildung. Manchmal werden die Decken beheizt.

Es können mehrere Saladinkästen in einem Keimsaal angeordnet werden; Einzelaufstellung dagegen hat den Vorteil, dass bei völlig dichten Schiebern ein Anreichern von CO_2 in der Rückluft ermöglicht wird. Der eigentliche Keimapparat ist immer rechteckig. Das Verhältnis von Länge zu Breite liegt im Interesse einer gleichmäßigen Belüftung zwischen 4–8 : 1. Sehr lange und schmale Kästen sind unzweckmäßig, da eine gleichmäßige Belüftung infrage gestellt ist; verschiedentlich sucht man diesen Nachteil durch Verjüngung des Raumes unter der Horde auszugleichen.

Die Seitenwände des Kastens sind je nach der Beladungshöhe desselben zwischen 1 und 1,5 m hoch, gemauert oder in Stahlbeton gefertigt. Die Innenseite muss völlig glatt und eben sein, damit möglichst wenig Keime abgerieben werden und keine Spatzenbildung eintreten kann. Aus diesem Grunde, aber auch um der leichteren Reinigung willen werden die Kastenwände vielfach mit Edelstahlblechen ausgekleidet. Auf der oberen Kante der Seitenwände ist eine Nocken- oder Zahnstange zur Fortbewegung des Wenderwagens angebracht. Die Laufschienen sollten, ebenso wie die Laufrollen des Wenders, aus nicht rostendem Stahl gefertigt sein. Die Stirnwände des Kastens werden auf der Innenseite mit halbkreisförmigen, dem Durchmesser der Wenderschnecken angepassten Ausbuchtungen versehen, um dem Wender das Erfassen des Keimgutes auch an den Kastenenden zu ermöglichen.

Bei manchen Ausräumsystemen ist eine dieser Stirnwände aus Stahlblech gefertigt und beweglich.

Das Hordenblech liegt in einer Höhe von 0,4–2,5 m über dem eigentlichen Kastenboden. Der Abstand richtet sich nach der Größe des Kastens, ist aber auch von anderen Gesichtspunkten wie z. B. einer leichten Begehbarkeit und Reinigung der Horden von unten bestimmt. Die Traghorde aus verzinktem Stahlblech oder Edelstahl ist in aufklappbare Teilstücke von rund 1 m^2 Größe aufgeteilt. Sie ist durch schlitzförmige Öffnungen per-

foriert, die dem Blech eine freie Durchgangsfläche von rund 20 % verleihen. Die Schlitze, senkrecht zur Wenderlaufrichtung angeordnet, müssen durch gründliche Reinigung und durch die Konstruktion des Wenders frei gehalten werden, sonst wächst der Haufen zusammen und wird warm. Das Tragblech muss aus diesem Grunde völlig waagrecht verlegt sein. In den Zwischenraum zwischen diesem und dem Kastenboden tritt bei allen Kastenkonstruktionen die Ventilationsluft ein. Der Kastenboden hat zur raschen Abführung des Wassers beim Ausweichen Gefälle, die in leistungsfähige, absperrbare Gullys münden.

Die Belegung des Keimkastens beträgt 300–500 kg/m^2. Dies entspricht einer Grünmalzhöhe von 0,7–1,25 m. Nachdem das Ausweichgut nur eine Höhe von 0,5–0,85 m erreicht, muss dieser „Steigraum" beim Planen und Entwerfen von Kästen veranschlagt werden. Diesem ist noch ein genügend großer Freiraum für den Betrieb des Wenders zuzurechnen.

Im Gegensatz zur Trommel wird im Kasten für das Keimgut ein eigener Wender notwendig. Hierzu dient gewöhnlich ein Wenderwagen, an dem je nach der Breite der Kasten 3 bis 15 korkenzieherartige, sich gegeneinander drehende Wenderschnecken angebracht sind. Durch die Drehung derselben wird das Keimgut je nach Durchmesser und Steigung der Wenderspirale hochgehoben, gelockert und zum Teil auch gewendet. Zur Erhöhung der Wenderwirkung, aber auch zur Schonung der Wurzelkeime werden die Spiralen der oberen Windungen in Form von Bandspiralen ausgeführt. Die Lockerungswirkung des Wenders äußert sich pro Durchgang je nach Keimstadium in einer Steigerung der Haufenhöhe um 10–15 %. Um die unteren Schichten nach oben zu wenden, bedarf es etwa eines viermaligen Wenderdurchlaufes.

Zum Ausgleich der Haufenoberfläche und zur Verhinderung einer Spatzenentwicklung befindet sich am Wender in Höhe der Haufenoberfläche ein sog. Ausgleicher, ein stabförmiges U-Eisen. Außerdem hat jede Wenderspirale an ihrer Unterseite einen Gummiwischer zur Freihaltung der Schlitze des Hordenbleches.

Der Vorschub des Wenderwagens erfolgt durch Zahnradgetriebe mit einer Geschwindigkeit von 0,3–0,6 m/min. Diese steht wiederum mit der Drehzahl der Wenderschnecken (8–24 U/min) in einem bestimmten Verhältnis, um einen übermäßigen Keimabrieb zu vermeiden. Eine raschere Umdrehung kann bei einem erst spitzenden Haufen angebracht sein, um das durch die Sprühdüsen aufgebrachte Wasser intensiver mit dem Keimgut zu vermischen. Das Spritzen des Haufens geschieht durch genügend dimensionierte Rohre, in die Sprühdüsen eingeschraubt sind. Die Rohre sind zu beiden Seiten des Wenderwagens angeordnet. Der Spritzstrahl zielt dabei auf den von den Wenderspiralen erfassten Bereich, sodass ein kräftiges Mischen des zugegebenen Wassers mit dem Gut erfolgen kann. Bei einem Wenderdurchgang sollen ca. 3 % Feuchtigkeit aufgebracht werden, wobei hier Wendervorschub, Drehzahl der Spiralen und Wassertemperatur eine Rolle spielen. Der Antrieb des Wenderwagens und der Schnecken erfolgt über je einen Elektromotor, die aus Gründen der Betriebssicherheit gegeneinander verriegelt sind.

Eine andere Art des Keimkastenwenders ist der Schaufelwender, der es erlaubt, das Gut in einem Durchgang vollständig zu wenden. Wenn auch bei diesem die Lockerungswirkung geringer ist als bei Schraubenwendern, so erlaubt der wesentlich günstigere Wende- und Durchmischungseffekt ein gezieltes Erhöhen der Keimgutfeuchte durch Spritzen. Diese, den früheren Darrwendern ähnlichen Konstruktionen sind teurer als die üblichen Schneckenwender. Sie werden vielfach von einem Kasten zum anderen versetzt, eine Anordnung, die bei Schneckenwendern keine allgemeine Verbreitung fand. Während die älteren Schaufelwender aus Stabilitätsgründen nur bei geringeren Keimguthöhen einsetzbar waren, können moderne Konstruktionen durchaus 500 kg/m^2 (Gerste als Grünmalz) bearbeiten.

Das Wenden wird auf ein Mindestmaß beschränkt, um das Keimgut zu schonen. Es erfolgt in den ersten Keimtagen etwa zweimal, in den letzten Tagen einmal. Bei verschiedenen Konstruktionen ist es zweckmäßig, während des Wendens die Lüftung abzustellen, da sonst in der gewendeten Zone jeweils ein starker Luftdurchgang erfolgt. Das Ausfahren der Lüftung ist jedoch mit einem Temperaturanstieg verbunden, der entweder vor oder nach dem Wenden abgefangen werden muss.

Die Zahl der Keimkästen richtete sich früher nach der Zahl der Keimtage. Heute, bei stark gekürzten Keimzeiten oder bei darrfreien Wochenenden, wurde dieses Prinzip durchbrochen.

Das Fassungsvermögen der Kästen liegt zwischen 5 und 150 t. Keimdarrkästen wurden sogar schon für eine Kapazität von 500 t pro Einheit ausgeführt. Der Saladinkasten erlaubt die größten Ausmaße pro Einheit von allen pneumatischen Mälzungssystemen. Seine Vorteile kommen umso mehr zum Ausdruck, je größer die Kästen bzw. die Anlagen sind.

Die *Belüftung der Keimkästen* erfolgt durch einen entsprechend temperierten und befeuchteten Luftstrom. Es sind jedoch unterschiedliche Belüftungs-

systeme anzutreffen, je nachdem, wann die Anlagen erstellt wurden.

Alte Saladinkästen hatten für die gesamte Anlage von etwa 8 Kästen nur einen gemeinsamen Saugventilator und eine gemeinsame Temperier- und Befeuchtungseinrichtung, die gewöhnlich seitwärts vom Kasten angebracht waren. Von hier aus war ein großer gemeinsamer Luftkanal angeordnet, von dem aus die einzelnen Kästen versorgt wurden. Damit gestaltete sich die Wegeführung sehr kompliziert. Die Zuführung der Luft zu den einzelnen Kästen erfolgte jeweils nur von dessen Längsseite aus wiederum in einem eigenen Luftkanal, von dem aus die Luft durch kleine quadratische Öffnungen in den Raum zwischen Kastenboden und Tragblech einströmen konnte. Sie wurde dann schräg, also ungleichmäßig durch das Keimgut nach oben zu einem an der Decke des Kastenraumes angebrachten oberen Kanal gezogen und in diesem abgeführt. Zur Erhöhung der Gleichmäßigkeit der Belüftung und zum Ausgleich der Haufentemperatur wurde manchmal eine Umkehrung des Luftstromes vorgesehen, die schließlich in einer Kombination von Saug- und Druckventilatoren gipfelte. Die Nachteile des Systems waren die komplizierte Wegeführung, die vielen Richtungsänderungen der befeuchteten Luft, die Länge des Luftweges und die Dosierung der Luftmenge über Absperr- und Regulierorrichtungen. Hierdurch war eine Beschickung des Haufens mit einer feuchtigkeitsgesättigten Luft unmöglich. Die Verwendung ein- und derselben Luftqualität für alle Keimstadien bedingte eine Einströmtemperatur, die sich nach dem jeweils kältesten Haufen zu richten hatte. Damit ergab sich zwischen Haufen- und Lufttemperatur vor allem im fortgeschrittenen Wachstumsstadium eine hohe Differenz, die zu einer weiteren Entfeuchtung des Haufens führte.

Die Anwendung von Saugventilatoren in der beschriebenen Anordnung ermöglichte nur eine zeitweise Belüftung des Gutes. Während der Ruheperiode stieg die Haufentemperatur im Verlauf von 4–6 h auf einen bestimmten Wert an und wurde durch eine 2–3 h währende Belüftung mit einer Lufttemperatur von 10–12 °C auf eine Temperatur des Keimgutes abgekühlt, die etwa um 3 °C unter dem Wert zu Beginn der Lüftung lag. Somit ergaben sich in der zur Messung herangezogenen Oberschicht des Haufens Temperaturintervalle von 15/12 °C in den ersten Keimtagen, von 17/14 °C in der Zeit des intensivsten Wachstums bis auf 20/17 °C gegen Ende der Keimung. Die Unterschiede in der unteren Keimgutschicht waren aber noch wesentlich höher als in der oberen. Hier wurde das Grünmalz bereits kurze Zeit nach Beginn der Lüftung auf die Temperatur der Eintrittsluft abgekühlt, während es im Laufe der Ruheperiode sogar noch einige Grade über die Temperatur der Oberschicht anstieg. Mit diesem häufigen Temperaturwechsel war ein hoher Feuchtigkeitsentzug verbunden, der nur durch Spritzen am 3., 4. und 5. Keimtag ausgeglichen werden konnte. Während der Ruhezeiten erfolgte auch eine Anreicherung von Kohlendioxid im Haufen, die je nach Länge der Ruhe Werte von 5–15 Vol.-% verzeichnete. Dabei waren die CO_2-Gehalte in der unteren Haufenschicht stets um 1–5Vol.-% höher als in der oberen. Nachdem der Ventilationsluft nicht nur die Aufgabe zukam, den Haufen durch Abführen der Vegetationswärme auf gleichem Temperaturniveau zu halten, sondern ihn darüber hinaus um 3–5 °C abzukühlen, war eine wesentlich höhere Ventilatorleistung von 1000–1500 $m^3/(t\,h)$ erforderlich, um die Lüftungszeiten auf 2–3 h zu bemessen. Auch diese starke Belüftung hatte eine weitere Entfeuchtung des Haufens zur Folge. Erst seit man gelernt hat, den Wassergehalt des keimenden Gutes zu überwachen und sachgemäß anzuheben, wurde auch mit diesen Keimanlagen ein Malz guter Qualität erzeugt. Dabei verdient Berücksichtigung, dass der gegenüber dauernder Belüftung wesentlich höhere CO_2-Gehalt der Haufen sowie die dauernden Temperaturschwankungen eine Keimgutfeuchte verlangen, die um 1–3 % über derjenigen anderer Systeme liegt.

Neuere Saladinkastenanlagen sind ungleich anpassungsfähiger. Jeder Kasten hat seinen eigenen Druckventilator, seine eigene Befeuchtungs- und Kühlvorrichtung. Diese sind unmittelbar vor dem jeweiligen Kasten angeordnet, wodurch kurze, völlig gerade Luftwege von der Konditionierung bis zum Abluftschieber geschaffen werden. Eine weitere Verbesserung ist der freie Eintritt der Luft von der schmalen Stirnseite des Kastens unmittelbar unter das Hordenblech. Die Luft kann auf der gesamten Kastenbreite ungehindert durch Regulierorgane einströmen.

Diese Anordnung kann jedoch bei sehr großen Kästen (200–300 t) keine absolut gleichmäßige Belüftung des Gutes mehr gewährleisten. Hier, wie auch bei Einheiten von geringem Freiraum unter der Horde (s. Abschn. 1.5.3.3) erfolgt die Belüftung von der Seite, abschnittsweise mithilfe von mehreren Ventilatoren und ihren zugehörigen Kühl- und Konditionierungseinrichtungen.

Die Luftförderung durch einen Druckventilator sichert bei gleicher Höhe des Keimgutes eine gleichmäßige Durchlüftung desselben. Die Regulierung der Luftmenge erfolgt entweder durch den Abluftschieber oder durch Klappen in den Kanälen

vor dem Ventilator, also vor der Befeuchtungsanlage. Die eleganteste Regulierungsmöglichkeit ist der Weg über die Ventilatordrehzahl am besten mithilfe frequenzgeregelter Motoren. Diese kann in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz: obere Malzschicht – Einströmluft automatisch gesteuert werden. Aber auch die Luftmengenregulierung mithilfe des Abluftschiebers hat Vorteile, denn durch ein mehr oder weniger starkes Schließen des Abluftschiebers wird im Kasten ein Gegendruck erzeugt. Hierdurch liegt das Keimgut zwischen zwei Luftkissen, die die Austrocknung des Haufens verringern, eine hohe Gleichmäßigkeit der Temperatur bewirken und die benötigte Luftmenge etwas reduzieren.

Zur Temperaturführung des Haufens hat sich auch die *Rückluftverwendung* sehr bewährt. Wie schon oben erwähnt, setzt das Verfahren einen besonderen Rückluftkanal voraus, der bei Einzelkastenanordnung an die Decke oder unter das Podest des Kastens gelegt sein kann. Bei mehreren Kästen in einem Keimsaal wird meist ein gemeinsamer Rückluftsammelkanal angeordnet. Beim Anfahren des Kastens gilt es, diesen entweder bei der „Ausweichtemperatur" von ca. 18 °C zu halten oder das durch kälteres Transportwasser abgekühlte Gut wieder anzuwärmen. Hierfür findet meist die wärmere Rückluft bzw. eine temperaturbedingte Mischung mit Frischluft Anwendung. Bei den heute relativ großen Luftvolumen im Keimkastenraum tritt hierbei kaum eine Anreicherung von CO_2 ein. Bei automatischem Frisch- und Rückluftverschnitt (s. Abschn. 1.5.3.3) ist die Temperatur die Regelgröße, ganz gleich ob die Kasten einzeln oder im Keimsaal angeordnet sind. Bei Einzelkasten kann, wenn ohnedies ein Kühlmaschineneinsatz erforderlich ist, während der letzten Keimtage vermehrt mit Rückluft gearbeitet werden, um die Atmung etwas einzuschränken. Außerdem ist die Rückluft bei Sommerbetrieb ohnedies kühler als die Außenluft, wie sie auch durch die Abkühlung eine volle Sättigung mit Feuchtigkeit erfährt.

Im Gegensatz zum alten Saladinkasten wird bei den neueren Ausführungen dauernd belüftet. Die Ventilatorleistung ist hier geringer, sie beläuft sich je nach Keimstadium auf 250–700 $m^3/(t\,h)$. Die Folge der ständigen Lüftung ist eine hohe Gleichmäßigkeit der Lufttemperaturen im Haufen, die jedoch in der untersten Schicht niedriger liegen als in der obersten. Unten tritt die kältere Luft ein; sie erwärmt sich im Haufen und strömt oben ab. Die Unterschiede sind jedoch gering und betragen bei sachgemäßer Auslegung der Belüftungsanlage nicht mehr als 2 °C. Ist die Differenz größer als 2 °C, so ist die Ventilatorleistung zu knapp, ist sie kleiner, so sind die geförderten Luftmengen zu groß. Durch drehzahlregulierte Ventilatoren kann die optimale Differenz von z. B. 2 °C leicht gesteuert werden.

Die *Haufenführung* bei der klassischen Mälzung ist folgende: Das Weichgut wird nass mittels einer Zentrifugalpumpe ausgeweicht. Es hat in der Regel eine Temperatur von 11–12 °C. Ein mehrmaliger Wenderlauf ebnet die Gerste ein. Am günstigsten ist es, den Haufen zunächst ohne Belüftung liegen zu lassen, um so das Abtropfen des überschüssigen Wassers und die Aufnahme des Haftwassers zu gewährleisten. Erst wenn die Haufentemperatur von selbst auf 13–14 °C ansteigt, was ein Zeichen für das Abtrocknen des Gutes ist, wird die Belüftung gleich mit vollständiger Befeuchtung eingefahren. Bei längeren Ruhezeiten kann es zweckmäßig sein, alle 1–2 h kurzzeitig (10–15 min) zu belüften, um die entstehende CO_2 zu entfernen. In der Regel dauert der Einzug des Haftwassers bei einem Ausweichgrad von 43 % je nach der Wasserempfindlichkeit der Gerste 16–24 h. Hierbei erhöht sich die Feuchte des Gutes um etwa 2 %. Die frühere Handhabung, mit unbefeuchteter temperierter Luft „abzutrocknen", führte zu einer Abkühlung des Haufens infolge der auftretenden Wasserverdunstung, eine Erscheinung, die eine verzögerte Ankeimung im Gefolge hatte.

Die Haufentemperatur wird in den ersten 3–4 Keimtagen von 13–14 auf 15–16 °C gesteigert, wobei die Temperatur in der unteren Schicht um 1,5–2 °C niedriger liegt als oben. Um ein gleichmäßiges Gewächs zu fördern, ist am 3./4. Keimtag ein dreimaliges Wenden empfehlenswert. Leicht lösliche Gersten werden mit einer Temperatur von 16–17 °C bis zum Haufenziehen geführt; bei schwer löslichen Gersten dagegen werden im Laufe einer 7-tägigen Keimung 19–20 °C angestrebt. Hierfür muss die Einströmluft entsprechend vorgewärmt und mit den höher werdenden Keimtemperaturen in Einklang gebracht werden. Es ist daher erforderlich, die Einströmluft je nach dem Keimtag, dem Fortschreiten des Gewächses und der Auflösung, täglich durch Variation des Gemisches aus Frisch- und Rückluft neu einzustellen. Das Wendeintervall wird in den späteren Keimstadien bei ausreichender Lüfterleistung von 12 über 16 auf 24 h ausgedehnt. Beim Durchgang des Wenders steigt, auch bei ständiger Lüftung, die Temperatur des Keimgutes um 1–2 °C an. Diese Erscheinung ist zum kleineren Teil auf die Auflösung von Wärmeinseln infolge ungleicher Belüftung zurückzuführen; hauptsächlich aber bewirkt der erhöhte Luftdurchtritt in der jeweiligen Wendezone eine verstärkte Atmung und Wärmeentwicklung des Haufens.

Keimtage	1	2	3	4	5	6	7
Temperatur °C							
Keimgut oben	12	13,5	14	15	16	17	18
Keimgut unten	12	12	12	13	14	15	16,5
Einströmluft	–	11,5	11,5	12,5	13,5	14,5	16
Frischluft %	25	75	75	60	50	40	30
Rückluft %	75	25	25	40	50	60	70
Grünmalzfeuchte %	42,5	45,0	44,5	44,0/46,0	46,0	45,5	45,0
Ventilatorleistung m^3/(t h)	300	350	450	500	500	430	370
Wendeintervall h	12	12	8	12	16	20	24

Die Erwärmung der Luft im Haufen, selbst wenn diese nur 2 °C beträgt, führt im Verein mit der Bewegung des Luftstromes zu einer Entfeuchtung des Keimgutes, die nach etwa 4 Keimtagen ein Spritzen erforderlich macht. Hierfür, aber auch um einer gezielten Erhöhung der Keimgutfeuchte willen, sind die Wenderwagen an beiden Seiten mit einem Spritzdüsensystem ausgestattet, das vor bzw. beim Wenden eine Befeuchtung gewährleistet. Auch fest verlegte Spritzsysteme über dem Keimbett sind anzutreffen, die jedoch infolge der fehlenden „Mischwirkung" des Wenders ihren Zweck nur unvollkommen erfüllen. Im Allgemeinen kann bei normalem Grünmalzgewächs mit einem Wenderdurchgang eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes um ca. 2 % erreicht werden. Die Abnahme der Keimgutfeuchte beträgt etwa 0,5–0,7 % pro Tag, wenn keine größeren Temperaturbewegungen (z. B. Abkühlen nach einer stärkeren Erwärmung) zu verzeichnen sind.

Das auf der Tenne übliche Greifen des Haufens ist im Keimkasten nicht durchgehend möglich. Lediglich die obere Schicht wächst bei unterbrochener Belüftung und bei längerem Wendeintervall etwas zusammen, während tiefer im Keimbett der steigende CO_2-Gehalt diese Erscheinung verhindert. Ebenso kommt es bei dauernder Belüftung nicht zur Schweißbildung, da die bei der Atmung auftretende Feuchtigkeit im Augenblick des Entstehens von der Luft weggeführt wird. Besonderes Augenmerk ist auf Spatzenbildung zu legen; diese kann an den Seitenwänden des Kastens, besonders an den halbkreisförmigen Ausbuchtungen der Stirnseiten auftreten, aber auch an irgendwelchen Stellen, an denen der Haufen warm wird.

Eine konventionelle Führung des Keimkastens ist im obenstehenden Schema aufgeführt.

Die *Keimung bei fallenden Temperaturen:* Die modernen Weichmethoden, wie z. B. die pneumatische Weiche, liefern nach 48–52 h Weichzeit ein gleichmäßig spitzendes, z. T. gabelndes Gut, das bei einem Wassergehalt von 41–42 % eine Temperatur von 15–18 °C aufweist. Gelingt es durch entsprechende Einrichtungen und Transportanlagen „trocken" auszuweichen, so wird ein sofortiges Belüften des Haufens mit konditionierter Luft erforderlich. Beim überwiegend geübten „nassen" Ausweichen wird trotz der erwähnten höheren Temperaturen der Haufen einige Stunden dem Abtropfen überlassen, da eine sofort einsetzende, intensive Belüftung den Abfluss des Wassers aus dem Gut hemmen würde. Sobald die Haufentemperatur ansteigt, wird die Belüftung (mit Konditionierung) begonnen, wobei die Temperatur des Weichgutes von 15–18 °C so lange beibehalten wird, bis die Maximalfeuchte durch Spritzen dargestellt ist. Erst dann wird auf 12–14 °C abgekühlt und diese Temperatur bis zum Ende der Keimzeit beibehalten.

Je nach Variation der Temperaturfolge und je nach Wahl der Keimgutfeuchte ist eine Anpassung an die Gegebenheiten der verschiedenen Gersten oder Malze möglich. Es resultieren eine höhere Extraktausbeute, eine bessere Auflösung und höhere Enzymkräfte, was in den Werten der VZ 45 °C und der α-Amylase-Aktivität seinen Ausdruck findet. Dabei ist es meistens möglich, die Keimzeit zu verkürzen, wie es das untenstehende Schema vermittelt.

Wie die Übersicht zeigt, beträgt die Keimgutfeuchte hier nach dem Ausweichen einschließlich des Haftwassers 42,5 %; dieser Wassergehalt wird beibehalten, bis alle Körner gleichmäßig gabeln (nach 20–24 h). Dann erfolgt das erste Spritzen auf einen Wassergehalt von ca. 45 % und 24 h später auf 48 %. Hier setzt dann die intensive Abkühlung des Haufens ein. Die geringeren Luftmengen im Lö-

Keimtage	1	2	3	4	5	6
Temperatur °C						
Keimgut oben	18	18	18/13	13	13	13
Keimgut unten	16,5	16,5	16/11	11	11	11
Einströmluft	16	16	15,5/10	10	10,5	10,5
Frischluft %	80	70	70	30	20	20
Rückluft %	20	30	30	70	80	80
Keimgutfeuchte %	42,5	42,5/45,0	45,0/48,0	48,0	47,7	47,5
Ventilatorleistung $m^3/(t\,h)$	350	500	500	400	350	350

sungsstadium bewirken nur mehr eine schwache Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes.

Nun hat sich erwiesen, dass die pneumatische Weiche am zweiten Tag – gerade in der wärmeren Jahreszeit oder bei unzulänglicher Weicheinrichtung – oftmals schwer zu führen ist (s. Abschn. 1.3.6.2). Auch erfährt das spitzende, ja z. T. gabelnde Gut bei nassem Ausweichen einen „Wasserschock", der durch die in der Ausweichleitung auftretenden Drücke noch verstärkt wird. Es ist daher vielfach günstiger, schon nach ca. 26 h mit der zweiten Nassweiche und einem Feuchtigkeitsgehalt von ca. 38 % auszuweichen, und nach der Ankeimung unter genau definierten Bedingungen z. B. bei 18 °C das erste, nach dem gleichmäßigen Gabeln das zweite Mal zu spritzen und die Maximalfeuchte nach weiteren 12 h einzustellen. Nach dieser 48–60 h währenden Phase wird dann, wie vorher geschildert, die Temperatur abgesenkt. Der nahtlose Übergang der einzelnen Stadien erlaubt es meist, trotz des Verlusts eines Weichtages, mit 6 Tagen Belegungszeit des Kastens auszukommen. Von Bedeutung ist jedoch, dass es in 48–60 h gelingt, mithilfe von 2–3 Spritzvorgängen den Wassergehalt des Gutes um 8–10 % anzuheben. Hierbei hilft bei den beiden ersten Gaben die Anwendung angewärmten Wassers (18–22 °C), eine geeignete Anordnung der Sprühdüsen und ein jeweils zweimaliger Wenderlauf. Um gleiche Bedingungen für die Wasseraufnahme zu schaffen, darf nur jeweils in einer Richtung Wasser aufgebracht werden. Die dritte Wassergabe erfolgt mit kaltem Wasser, um die Abkühlung des Haufens einzuleiten.

Der Effekt der Spritzdüsen kann durch „Pulsieren" gesteigert werden, das auch beim sog. „Beschwallen" hilfreich ist. Bei Einzelkastenaufstellung ist es möglich, den Kohlensäuregehalt der Haufenluft zu steigern, wobei unter der Voraussetzung dichter Schieber usw. CO_2-Gehalte von 4–8 % erreicht werden. Unter Berücksichtigung berufsgenossenschaftlicher Vorschriften lässt sich in der Lösungsphase das Wachstum schon mit 3–4 % CO_2 etwas eindämmen und somit Schwand sparen. Auch ist der Haufen leichter und unter Einsatz von weniger Kälte zu führen. Zu frühes Arbeiten mit höheren CO_2-Gehalten von 8–10 % verschlechtert jedoch die Auflösung und die Enzymkräfte des Malzes (s. Abschn. 1.4.1). Eine Anpassung der Ventilatordrehzahl an den geringeren Luftbedarf am Ende der Keimung spart Energie, Kornsubstanz und vermag sogar einige Analysenmerkmale wie z. B. die Vz 45 °C zu verbessern.

Durch die Anwendung künstlicher Kühlung und – in der kälteren Jahreszeit – durch temperaturabhängige Steuerung von Frisch- und Rückluftklappe kann die Haufenführung automatisiert werden (s. Abschn. 1.5.3.7). Es hat jedoch der weitgehende, bei hohen Räumen ausschließliche, Umluftbetrieb den Vorteil der einfacheren Automatisierung und der Darstellung einer gewünschten Kohlensäureatmosphäre. Die hiermit verbundene Schwandersparnis ist gegen etwas höhere Energiekosten in der Übergangszeit und im Winter aufzurechnen.

Das *Wiederweichverfahren* kann nur bei hierfür geeigneten Keimkästen angewendet werden. Es setzt eine entsprechende Stabilität des Kastens wegen der durch das Wiederweichwasser hervorgerufenen Gewichte sowie eine wasserdichte Kastenkonstruktion mit hochgesetzten oder mit Schleusen abgesicherten Ventilatoren voraus. Nach einer etwa eintägigen Weiche gelangt das Gut mit einem Wassergehalt von rd. 38 % in den Keimkasten. Es keimt bei Temperaturen von 16–18 °C sehr rasch und gleichmäßig, jedoch ist die Wurzelbildung infolge des niedrigen Wassergehaltes nur gering. Nach rund 48 h Keimzeit wird der gesamte Kasten geflutet. In Abhängigkeit von der Temperatur des Wassers (12–18 °C) beträgt die Wiederweichzeit zwischen 24 und 8 h Je kälter das Wasser

ist, umso mehr Zeit wird benötigt, um den Keimling zu „inaktivieren". Anschließend wird das Keimgut einer 48–60 h währenden Lösungsphase ausgesetzt; bei dem hohen Wassergehalt von 50–52 % nach der Wiederweiche verläuft die Lösung rasch und weitgehend, sogar bei niedrigen Temperaturen zwischen 12 und 14 °C. Das Wurzelkeimwachstum wird stets knapp sein, dagegen kann es bei längerer Lösungsphase zu einem starken Vorschieben des Blattkeims, ja sogar zu Husaren kommen. Auch diese Malze sind enzymreich, wenn auch manche Exo-Enzymaktivitäten (Peptidasen, Glucanasen) etwas schwächer entwickelt sind. Der Schwand liegt bei richtiger Durchführung des Verfahrens bei 5–6 % der Trockensubstanz.

Eine Art „Wiederweicheffekt" kann in den üblichen Keimkästen auch dadurch erzielt werden, dass zum Zeitpunkt der Wiederweiche der Wender jeweils im Abstand von ca. 150 min zwei Mal in derselben Richtung unter voller Bewässerung mithilfe der Spritzdüsen durch den Haufen läuft. Auf diese Weise gelingt es, im Laufe von 12–14 h mittels 4 × 2 Wenderpassagen den Wassergehalt des Haufens von 38 auf 50–52 % anzuheben und ähnliche Malzanalysendaten bei nur wenig höheren Schwandwerten als bei klassischer Wiederweiche zu erreichen. Ein „Beschwallen" des Keimgutes durch große, u. U. im Kasten selbst umgepumpte Wassermengen ist dann nutzlos, wenn nicht der Mischeffekt des Wenders für eine gleichmäßige Durchdringung aller Schichten sorgt. Wenn auch die Wiederweichtechnik Vorteile im Hinblick auf eine Beschleunigung der Keimung und eine Schwandersparnis bei steuerbarer Malzqualität erbrachte, so war doch das Trocknen von ca. 6 % mehr Wasser ebenso wenig zu vertreten wie der erhöhte Abwasseranfall oder eine in diesem Zusammenhang getätigte Wiederverwendung des Weichwassers.

Die geschilderten Verfahren zeigen, wie anpassungsfähig der moderne Saladinkasten mit Einzelbelüftung und künstlicher Kühlung ist und welche Möglichkeiten er bieten kann.

Das *Haufenziehen* soll selbst bei sehr großen Einheiten in wenigen Stunden (2–3) möglich sein. Ein mechanischer Grünmalztransport, bestehend aus Grünmalzelevator, Schnecken- oder Redlerförderern, wird entweder über *Kraftschaufeln* (Schrapper) oder über eigene Ausräumwagen beschickt. Nachdem die ursprüngliche Gerstenschüttung von z. B. 100 t durch die Grünmalzfeuchte ein Gewicht von 150–160 t aufweist, muss eine derartige Anlage eine Leistung von 50–80 t/h haben, um die Darre in einer erträglichen Zeit zu beladen. Kraftschaufeln benötigen zu viel Personal (2–3 Mann), die Arbeit ist bei großen Kästen anstrengend. *Ausräumwagen* sind nur bei Keimsälen wirtschaftlich; sie erfordern das Ausfahren des Wenderwagens, damit der Ausräumer in Tätigkeit treten kann. Seine Bedienung erfordert nur eine Person. Die neueste und wirtschaftlichste Lösung, die auch mit der Größe der Kästen Schritt hält, ist der *Ausräumwender*, der sich mit der üblichen Geschwindigkeit von 0,4 m/min ein bestimmtes Stück in den Haufen arbeitet und diesen portionsweise mit 10 m/min in die Gosse des Grünmalztransportes schiebt. Er arbeitet vollautomatisch und bedarf nur der Überwachung. Bei pneumatischem Grünmalztransport war das Einschaufeln des Gutes in Saugtrichter oder -rüssel mühsam und personalaufwendig. Die *Kochsche Ausräumung* nützt die Hubwirkung der Wenderspiralen aus, die das Grünmalz in die Querschnecke heben, die es ihrerseits in den Aufnehmer eines Teleskoprohres der Sauganlage schiebt. Auch hier sind hohe Förderleistungen mit nur einem Mann zum Anstecken der Rohre möglich. Auf ähnlichen Grundsätzen beruhen sog. „Ausräumsets", die leicht in bestehende Anlagen eingepasst werden können. Interessant – vorwiegend für mechanischen Transport – ist die *Wanderhorde*, die das Gut langsam über die Grünmalzgosse des Kastens schiebt. Sie läuft entweder am Kastenboden oder über der Kastendecke zurück und kann verschiedentlich automatisch gereinigt werden. Sie erlaubt bei entsprechend angeordneten Weichen auch ein „trockenes" Ausweichen des Gutes.

Die Reinigung der Keimkästen, namentlich der Tragbleche, des Wenders und der Spritztürme mit den Kanalsystemen, muss sorgfältig geschehen. Durch Hochdruckspritzen konnte diese Arbeit vereinfacht werden. Motorgetriebene Reinigungswagen reinigen den Bereich unter der Horde automatisch mit Lauge und besorgen auch die Nachspülung. Stützkonstruktionen erfordern zwei parallel laufende Einheiten. Ein ähnlicher Wagen kann auch für die Reinigung des Kastens oberhalb der Horde eingesetzt werden. Die Kosten für derartige Reinigungsgarnituren lassen es wünschenswert erscheinen, diese jeweils für mehrere Kästen einsetzen zu können. Dies erfordert aber bewegliche Frontseiten sowie eine Querverbindung von Kasten zu Kasten. Die maschinelle Pflege erstreckt sich auf die Ventilatoren, den Wendermechanismus und die Kühlanlage.

Weitere pneumatische Mälzungsanlagen beruhen praktisch alle mehr oder weniger auf dem Prinzip des Saladinkastens: Die Wanderhaufenmälzereien, die eine horizontale oder vertikale Fortbewegung des Haufens vorsehen, oder die „statischen" Systeme, die in einer Einheit alle Verfahrensschritte: Weichen, Keimen und Darren ermöglichen.

Runde *Keimkästen* in einer Ebene oder übereinander („Keimtürme“) angeordnet waren ursprünglich als Keimdarrkasten (s. Abschn. 1.6.2.3) geplant und sind bis zu den Energiekrisen auch als solche betrieben worden. Um der Energierückgewinnung willen wurde dann der Prozessschritt des Darrens abgetrennt. Seit den 1980er Jahren erstellte Anlagen dienen ausschließlich der Keimung. Sie werden in Größen bis zu 600 t/Einheit in Schalbetonbauweise erstellt, wobei die spezifische Beladung zwischen 450 und 580 kg/m^2 Fläche beträgt. Die Horden sind aus Edelstahl, ebenso ist der Raum unter der Horde um der leichteren Reinigung willen mit Edelstahl ausgekleidet. Die Horden sind entweder feststehend mit einem sich drehenden Wender oder drehbar mit feststehendem Wender. Die Drehhorden werden über mehrere Getriebemotoren in der Peripherie über einen Zahnkranz angetrieben, wobei z. B. bei 300 m^2 Hordenfläche zwei Drehgeschwindigkeiten von 60 und 120 min/Umdrehung in beiden Richtungen dem Wenden bzw. dem Auftragen und Abräumen dienen. Die Abdichtung der Horde gegenüber der Gebäudewand ist bei Drehhorden von großer Bedeutung. Die Drehgeschwindigkeit der Horde ist beim Wenden so zu veranschlagen, dass die Umfangsgeschwindigkeit der Horde außen nicht über 0,55 m/min beträgt. Sie verringert sich auf der Länge des Wenders bis zum Zentrum auf 0,15 m/min. Aus diesem Grunde müssen die Umdrehungszahlen der Wenderschnecken von außen nach innen von 12 auf 3,5 U/min verringert werden, um einen zu starken Keimabrieb oder gar eine Beschädigung des Gutes zu vermeiden. Am Wender ist ein heb- und senkbares Be- und Entladegerät mit querliegender Schnecke (im inneren Drittel als Bandschnecke ausgebildet) angebracht, das ein Be- und Entladen innerhalb von jeweils zwei Stunden ermöglicht.

Eine neuere Entwicklung ist es, runde, einstöckige Einheiten aus schon vorgefertigten Wandprofilen zu errichten. Diese sind bereits gekantet und lackiert und werden zu einem zylinderförmigen Gebäude zusammengefügt. Dabei sind alle notwendigen Öffnungen und Aussparungen in den einzelnen Elementen schon vorhanden: Für die Verbindung der Wandelemente untereinander, für deren Verbindung mit der Bodenplatte und den Dachsegmenten sowie für die Aufnahme der Einbauten. Die Wandprofile werden entsprechend der Krümmung des Behälterdurchmessers zusammengeschraubt und mit einer Edelstahlplattierung versehen. Der so entstehende Zylinder ist durch die Bodenplatte und durch einen Traufenring stabilisiert. In den fertigen Zylinder werden dann die Horden-Unterkonstruktionen und die Hordenböden eingebracht, bevor die Dachsegmente aufgesetzt sind. Der Wender mit Verteil- und Abräumschnecken wird eingebracht, bevor das letzte Dachsegment aufgesetzt ist. Die Anlage ist isoliert.

Die Belüftungseinrichtungen befinden sich in einem seitlich am Keimturm angeordneten Bauwerk, zusammen mit Treppenhaus und Aufzugschacht. Die Belüftungseinheiten mit Axial- oder Radialventilatoren, bei großen Anlagen meist deren zwei, sind auf eine Leistung von 600 m^3/(t h) ausgelegt und frequenzgesteuert auf beliebig geringere Tourenzahlen zu regulieren. Die Kapazität der Kühler ist 10 500 kJ/(t h) bzw. 2500 kcal/(t h). Eine Befeuchtung der Eintrittsluft ist trotz Rückluftverwendung (die Anordnung der Rückluftkanäle ist baulich aufwendig) unerlässlich.

Die Keimung läuft bei den runden Kästen – ganz gleich ob übereinander oder in einer Ebene gebaut – nach denselben Grundsätzen ab wie bei den rechteckigen Einheiten. Häufig werden zwei Weichtage in Trichterweichen oder in je einer Trichterweichengruppe und einer Flachweiche eingehalten; die Keimzeit ist auf 6 Tage, seltener auf 5 Tage veranschlagt.

Die Reinigung der großen Anlagen geschieht durch Hochdruckspritzen für Heiß- und Kaltwasser oder über eine, in jedem Kasten installierte automatische Reinigungsanlage, die auch eine Laugenbehandlung vorsieht.

Bei Drehhorden ist die automatische Reinigung, vor allem unter der Horde einfacher, da die Reinigungsvorrichtung fest installiert ist.

In großen Keimanlagen, wie Keimtürmen, können auch Roboter eingesetzt werden, die mittels Akku/Elektromotor angetrieben werden. Ein schwenkbarer Arm, der die Düsen trägt, beaufschlagt die zu reinigenden Flächen mit Hochdruckwasser, dem Reinigungs- und Desinfektionsmittel zugesetzt werden können. Die Anlage arbeitet vollautomatisch. Es ist aber auch hier eine Frage, wie lang ein derartiger Reinigungsvorgang dauert, da sich in Verbindung mit dem Abräumen und Beladen unweigerlich eine Verkürzung der Keimzeit ergibt. Es ist aber zu bedenken, dass Malz ein Lebensmittel ist und deshalb unter den hierfür verbindlichen Hygiene-Richtlinien gearbeitet werden muss.

1.5.3.4 Die *Wanderhaufenmälzerei* baut sich auf aus einer Reihe von Keimkästen, die mit ihren Längsseiten aneinanderschließen. Eine Keimstraße umfasst 7–9 Kästen, von denen jeder in zwei Halbtagesfelder unterteilt ist, sodass sich 14–18 eigens zu belüftende Abteilungen ergeben. Während der Keimzeit wandert der Haufen vom ersten Halbta-

gesfeld, auf welches ausgeweicht wird, zum letzten. Von hier aus gelangt der Haufen entweder über den Grünmalztransport zur Darre, oder aber der Wender des Wanderhaufens befördert ihn auf eine direkt anschließende, hinter einer Temperaturschleuse hordengleich angeordneten Darre. Der Boden des Wanderhaufens besteht aus den üblichen Hordenblechen oder Spaltsiebhorden. Die *Belüftung* kann als Längsbelüftung oder als Querbelüftung ausgeführt sein. Die *Längsbelüftung* beinhaltet für jede Keimstraße zwei Ventilatoren und zwei Kühltürme jeweils für zwei verschiedene Luftqualitäten, ggf. für Frisch- und Rückluft. Beide Luftarten werden in übereinanderliegende, parallel zum Keimsystem verlaufenden Kanäle geführt. Durch Schieber kann jedem Halbtagesfeld die gewünschte Lufttemperatur durch Mischen der beiden Luftqualitäten zugeführt werden. Bei *querbelüfteten Anlagen* verlaufen die Luftzuführungskanäle senkrecht zur Keimstraßenachse. Deshalb sind auch die Kühl- und Befeuchtungseinrichtungen an der Längsseite der Keimstraße angeordnet. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Einzelkühltürmen, die jeweils ein Tagesfeld versorgen, und zwischen Anlagen mit zentraler Luftaufbereitung. Bei Letzteren werden Frisch- und Rückluft getrennt, gereinigt, temperiert und befeuchtet. Von hier aus gelangt die Luft über Nachkühler, wo Frischluft und Rückluft je nach den Bedingungen der einzelnen Haufen vermischt werden. Die Nachkühler sind unterschiedlich groß und fassen jeweils mehrere Keimtage zusammen (1., 2./3., 4./5., 6./7./8. Keimtag). Die Querbelüftungssysteme ermöglichen die Versorgung mehrerer parallel liegender Keimstraßen.

Der *Wender* der Wanderhaufenanlage hat zugleich eine Wende- und Transportfunktion zu erfüllen, denn er befördert mit jedem Wendevorgang den Haufen um ein Halbtagesfeld weiter. Ist eine Darre direkt an die Keimstraße angeschlossen, so muss er im Bedarfsfalle etwa den doppelten Weg bestreichen können, eine Aufgabe, die dann durch entsprechende Klappenstellung gewährleistet wird. Der Wender besteht aus einem Rahmenwagen, der sich mit einer Geschwindigkeit von 0,33 m/min fortbewegt, die Leerlaufgeschwindigkeit beträgt das Achtfache (2,5 m/min).

In diesem Wagen ist hydraulisch heb- und senkbar ein über die gesamte Kastenbreite arbeitendes Dreiecksbecherwerk eingehängt. Die Neigung des Becherwerks an der aufnehmenden Flanke ist so eingestellt, dass sie dem mittleren Böschungswinkel des Gutes entspricht. Dieses wird dann entgegen der Wenderichtung genau um ein Halbtagesfeld weiterbefördert. Es muss damit zweimal am Tage gewendet werden, um auf den ersten beiden Halbtagesfeldern Raum zum Ausweichen zu gewinnen. Die Darre wird einmal täglich beschickt, d. h. es müssen zwei Partien gleichzeitig gezogen werden. Der Wendevorgang erfolgt vom Keimstraßenende zum Keimstraßenanfang, d. h. vom Althaufen zum Ausweichfeld. Die Leistung des Wenders ist so bemessen, dass eine Einheit für 3–4 Keimstraßen genügt. Die Wendearbeit ist gegenüber dem Saladinkasten anders: Das Dreieckpaternosterwerk übt eine Wurfbewegung aus ähnlich dem Haufenwidern auf der Tenne. Doch erzielt es keine Umschichtung, sondern nur eine gleichmäßige und intensive Vermischung des Gutes. Nun ist aber die sich beim Herabfallen des Keimgutes ausbildende Böschung derjenigen der aufnehmenden Kante entgegengesetzt. Es bildet sich also jeweils am Übergang von einem Haufen zum anderen eine Mischzone aus. Während die Böschung an der Aufnahmeseite konstant ist, hängt die sich beim Fall des Gutes ausbildende vom Wassergehalt und vom Gewächs des Grünmalzes ab. Sie schwankt zwischen 44° beim Nasshaufen und 65° beim Jung- bzw. Althaufen. Das Ausmaß der Mischzonen einer Keimstraße kann rund 35 % umfassen.

Der beschriebene Wender darf aus Stabilitätsgründen eine Kastenbreite von 5,6 m nicht überschreiten. Dies beschränkt auch die Größe einer Tagesleistung auf 15 t pro Keimstraße. Neuere Wenderkonstruktionen mit nebeneinanderliegenden Förderschnecken erlauben eine größere Breite und damit eine Erhöhung der Tagesleistung auf ca. 50 t. Die Vermischung des Keimgutes unterschiedlicher Stadien ist hier ungleich geringer, da die Böschung bei der Aufnahme des Gutes der sich beim Wurf bzw. Fall ausbildenden nicht mehr entgegengesetzt ist.

Die Keimbedingungen im Wanderhaufen entsprechen denen eines Keimkastens, der sich in einem Keimsaal befindet. Die Temperaturdifferenz zwischen der obersten und untersten Schicht liegt wie dort bei 1,5–2 °C. Wegen der eintretenden Vermischung ist es zweckmäßig, die Haufentemperaturen am 3./4. Keimtag auf 17 °C zu steigern, um eine gute cytolytische Auflösung zu erzielen. Die Feuchtigkeitsverhältnisse entsprechen ebenfalls den Bedingungen der Kastenmälzerei. Trockenes Ausweichen ist möglich. Eine stufenweise Erhöhung der Keimgutfeuchte ist infolge der sehr intensiven Mischwirkung besonders des Schneckenwenders leicht darzustellen. Eine Anreicherung von CO_2 im Haufen ist unter den Gegebenheiten des Keimsaales nicht möglich. Der Wanderhaufen liefert Malze von einwandfreier Auflösung. Sein Hauptvorteil liegt in der einfachen Arbeitsweise und dem geringen Personalbedarf. Eine automa-

tische Temperaturregulierung ist über die einzelnen Luftkühler gewährleistet.

1.5.3.5 Der *Umsetzkasten System Lausmann* ist ebenfalls ein „Wanderhaufen". Die in einer Reihe direkt nebeneinanderliegenden Keimkästen von quadratischer oder rechteckiger Grundfläche verfügen über ein heb- und senkbares Hordensystem. Die Bewegung derselben wurde bei älteren Anlagen mit Wasser- oder Öldruckzylindern vorgenommen, bei neueren erfolgt sie mit synchron angetriebenen Schraubenspindeln, die selbst bei großen Einheiten eine gleichmäßig horizontale Bewegung der Horden ermöglichen. Durch das Anheben der Horde ragt das Keimgut über die Trennwand zu den angrenzenden Keimkästen hinaus und wird mittels eines besonders konstruierten Wenders in die nächste Kasteneinheit bzw. auf die Darre befördert. Der Wender, der auf dem Fördersystem des Kratzers beruht, hat eine Ausdehnung, die zwei Kästen umfasst, damit das gewendete Grünmalz auch völlig eben geräumt werden kann. Die beim Wenden beschickte Horde wird abgesenkt. Eine geringe Voreilung von z. B. 20 cm erbringt eine gute Umschichtung des Gutes, hat aber im zuerst beschickten Drittel des Kastens eine gewisse Pressung und damit hier einen geringen Luftdurchsatz zur Folge. Eine größere Voreilung der Horde von z. B. 70 cm vermindert die Pressung, schafft eine gleichmäßige Belüftung, doch dauert es einige Zeit, bis sich die im zuerst beschickten Drittel des Kastens vorliegenden höheren Temperaturen ausgeglichen haben. Dies kann bei neueren Konstruktionen vermittels einer etwas höheren Keimgutschicht durch Abkippen einer Hordenhälfte weitgehend eliminiert werden. Auch beim Beladen einer Anschlussdarre ist eine derartige Anpassung erforderlich, abgesehen davon, dass auch die Fläche derselben um 75 % größer sein muss als der mit 600–620 kg/m^2 beladene Keimkasten.

Durch das beschriebene Wenden liegt das Gut sehr locker im Kasten. Hierdurch wird nur ein Wendevorgang pro Tag erforderlich. Das gleichzeitige, durch eine genügende Zahl von Düsenreihen erfolgende Spritzen erlaubt einen Anstieg der Keimgutfeuchte um bis zu 6 % pro Wendevorgang. Die hierdurch besonders stark einsetzende Wärmeentwicklung im Gut muss durch eine entsprechende Auslegung der Ventilatoren und Verdampfer für den 2., 3. und 4. Keimtag Rechnung getragen werden. Nachdem jedoch hier wie beim Wanderhaufen (s. Abschn. 1.5.3.4) an jedem Tag ein jeweils spezifisches Keimstadium vorliegt, können Belüftung und Kühlung unter Zugrundelegung von insgesamt 7 Weich- und Keimtagen die unten aufgeführten Daten haben.

Die Lüfter verfügen über polumschaltbare Motoren, die bei geringerem Luftbedarf auf 2/3 der Leistung geschaltet werden können. Neue große Anlagen verfügen über frequenzgesteuerte Ventilatoren. Durch entsprechend tiefe Anordnung der Hubzylinder z. B. in Kasten 2 und 3 kann die Horde so weit abgesenkt werden, dass dort ein Wiederweichverfahren bei relativ geringem Wasseraufwand durchgeführt werden kann. Einem ähnlichen Zweck wie dem in Abschn. 1.5.3.3 geschilderten soll auch die verschiedentlich eingebaute „Beschwallung" dienen, die über ein Netz von großen Düsen eine große Menge Wasser in 15–25 min aufzubringen gestattet. Nachdem jedoch hier kein gleichzeitiger Wendeeffekt gegeben ist, fällt diese Befeuchtung nicht effizient genug aus. Die Anlagen werden heute bis zu 60 t/Kasten gebaut; sie sind wirtschaftlich zu betreiben und gestatten die gezielte Einhaltung der verschiedenen Keimungsparameter. Lediglich die Kohlensäureverhältnisse entsprechen denen des Keimsaales.

Kasten	1	2	3	4	5	6
Lüfter m^3/t, h	450	600	750	750	600	450
Verdampfer kcal/t, h	1500	2000	2500	2500	1500	1000

1.5.3.6 *Andere Mälzungssysteme*: Bis zur 7. Auflage dieses Buches wurde eine Reihe von Mälzungssystemen besprochen, die in den 1960er- und 1970er-Jahren entwickelt wurden, die aber meist aus dem Grund zu kleiner Chargen nicht mehr weiter betrieben wurden. Es sind dies der Keimturm (Optimälzer) oder kombinierte Weich-/Keim-/und Darrbehälter (z. B. die Poppsche Zelle). Sie haben zweifellos einen wertvollen Beitrag zum heutigen Stand der Mälzereitechnologie geleistet. Sie können in den früheren Auflagen nachgelesen werden.

Auch das Kohlensäurerastverfahren nach Kropff ist nicht mehr anzutreffen, da es eine eigene Kastenkonstruktion, den „Lösungskasten" erforderte, der nach ca. 4 Tagen klassischer Keimung beschickt wurde und das Gut 2–3 Tage lang einer „Kohlensäurerast" aussetzte, die allerdings eine täglich zweimalige Entfernung der Kohlensäureatmosphäre erforderte, um eine „intramolekulare Atmung" mit einer Zersetzung des Mehlkörpers zu vermeiden. Wohl konnten 2–4 % an Schwand eingespart

werden, doch war das Beschicken und Entleeren des „Kropff-Kastens“ arbeitsaufwendig. Die Größe eines Kastens war auf ca. 15 t beschränkt. Die klassische Arbeitsweise mit diesem System ist ebenfalls in früheren Auflagen ausführlich geschildert.

Bei Einzelkastenaufstellung ist eine gezielte, maßvolle Kohlensäureanreicherung von ca. 4 % selbst mit großen Einheiten erzielbar (s. Abschn. 1.5.3.3).

1.5.3.7 *Neue statische Systeme:* Hier sind zwei unterschiedlich arbeitende Anlagen auf dem Markt.

Eine Keim- und Darrtrommel, die von einer eigenen Weiche aus beladen wird und auf dem System der Kastenkeimtrommel (s. Abschn. 1.5.3.2) aufbaut. Die Arbeitsweise ist wie dort beschrieben. Beim Darren wird nach dem Prinzip der Einhordendarre verfahren. Es können helle und dunkle Malze erzeugt werden. Die Trommel ermöglicht auch die Herstellung von Karamellmalzen. Bisher sind Anlagen bis zu 10 t pro Trommel ausgeliefert worden.

Eine Weich-, Keim- und Darranlage in einem Behälter. Das Gerät verfügt über die üblichen Anlagen zur Luftklimatisierung für Weichen und Keimen Es ist mit einem Schnecken- bzw. Schraubenwender ausgestattet. Zum Darren ist ein Lufterhitzer vorhanden, der mehrere derartige Einheiten bedienen kann. Auch hier können neben hellen und dunklen Malzen die verschiedenen Typen von Karamellmalzen hergestellt werden.

1.5.3.8 *Der Einsatz von Starterkulturen:* Wie schon in Abschn. 1.4.1.8 beschrieben, enthalten Gerste oder andere vermälzbare Getreidearten, je nach Witterungsbedingungen bei Aufwuchs und Ernte eine mehr oder weniger starke Mikroorganismenflora. Um nun den „Besatz“ an Schimmelpilzen, Bakterien und Hefen zu verringern, wird eine Behandlung des Weich- und Keimgutes mit „Starterkulturen“ mit bestimmten Lactobazillenstämmen vorgeschlagen. Die hierbei erhaltene Milchsäuregärung wird schon in der Lebensmittelindustrie zur natürlichen Konservierung von Lebens- und Futtermitteln angewendet. Starterkulturen von *Lactobacillus plantarum* und *Pediococcus pentosaceus* zum 1. und 2. Weichwasser in einer Menge von 4 bzw. 8 % erzielten eine Verringerung des Anteils der fusarienbefallenen Körner sowie einen niedrigeren Gehalt an Toxinen, wie z. B. an Zearalenon und Desoxynivalenol (DON). Auch das den Hefen zugeordnete *Geotrichium candidum* erzielte ähnliche Effekte. Der Zusatz zur Weiche ist deshalb wichtig, weil hier bereits eine starke Vermehrung an Mikroorganismen beginnt. Neben Schimmelpilzen wird auch die Bakterienflora verringert. Eine besonders günstige Wirkung entwickelt der bekannte Stamm *Lactobacillus amylolyticus*, der selbst über extrazellulare Enzyme verfügt. Damit ist ein kompetitiver Effekt mit den Enzymen der ursprünglichen Organismenflora gegeben, bei dem aber die Organismen der Starterkulturen dominieren.

Zusammenfassend ist zu diesem, immer noch in der Weiterentwicklung befindlichen Thema festzustellen:

Die Starterkulturen können von Getreide bzw. den hieraus hergestellten Malzen isoliert und propagiert werden; die Betriebshygiene beim Weichen und bei der folgenden Keimung ist deutlich besser; die Malzanalysen sind durch die (letztlich nur leichte) pH-Absenkung im Malz günstiger und gleichmäßiger; der Mälzungsschwand ist durch eine gewisse Inhibition des Wurzelkeimwachstums niedriger. Eine Verringerung der Gushing-Neigung des Malzes konnte mangels Material bisher noch nicht festgestellt werden.

1.5.3.9 Die *Beeinflussung der Keimung durch besondere Methoden*: Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Verwendung keimhemmender Stoffe (Keimungsinhibitoren) und dem Einsatz von Wuchsstoffen (Aktivatoren).

Keimhemmende Stoffe spielen in Deutschland keine Rolle. Der Einsatz von Salpetersäure oder salpetersaurem Harnstoff sollte das Wurzelkeimwachstum einschränken. Er hat nur geschichtliches Interesse. Im Ausland konnte sich Kaliumbromat (100–300 mg/kg Gerste) als Proteaseninhibitor da und dort einführen. Bei Zusatz zum letzten Weichwasser kann eine Schwandersparnis um ca. 2 % erzielt und die Eiweißlösung reduziert werden. Auch das z. B. bei Flutweichverfahren hitzige Wachstum erfährt eine Dämpfung.

Der Zusatz von Enzymen, wie z. B. der Endo-β-Glucanase bewirkt bei schwerer löslichen Gersten (mehrzeiligen Wintergersten) eine Verbesserung der cytolytischen Lösung. Die Glucanasen, die von Schimmelpilzen gewonnen werden, kommen aber erst am letzten Keimtag zum Zusatz, oder gar mittels einer Dosierschnecke beim Haufenziehen. Da diese Enzyme stabiler sind als die korneigenen, kommen sie voll beim Maischen zur Wirkung.

Zu den *Keimungsaktivatoren* zählt die Gibberellinsäure, die auch im keimenden Korn vorhanden ist. Der in Mengen von 0,01–0,25 mg/kg Gerste zugesetzte Wuchsstoff bewirkt eine rasche und vermehrte Enzymbildung. Als Folge einer verstärkten Enzyminduktion verzeichnen die fertigen Grün-

malze eine sehr weitgehende cytolytische und proteolytische Lösung, sodass die Keimzeit von 7 auf 4–5 Tage verkürzt werden kann. Vor allem bei höheren Gaben führt die sehr starke Bildung von niedermolekularen Abbauprodukten zu einer übermäßigen Farbebildung beim Darren. Am logischsten ist der Zusatz der Gibberellinsäure zum Weichwasser, doch wird hier die 2 1/2-fache Menge benötigt wie beim Aufsprühen nach dem Ausweichen des Gutes, um den gleichen Effekt zu erzielen. Kleine Mengen von 0,01–0,03 mg/kg dienen der Verbesserung schwerlöslicher Gersten, Dosagen von 0,06–0,10 mg/kg (gegeben im Keimkasten) der Verkürzung der Keimzeit. Bei einer 4- bis 5-tägigen Keimung halten sich die Veränderungen im Malz, also auch der Kongresswürzefarbe, in einem normalen Rahmen. Die Kochfarbe (s. Abschn. 1.8.3.6) erfährt jedoch selbst bei kleinen Dosagen eine deutlichere Erhöhung als bei unbehandeltem Malz. 0,15–0,25 mg/kg vermögen die mangelnde Keimenergie einer Gerste auszugleichen. Wuchsstoffe erbringen keine oder nur eine geringe Schwandersparnis. Dagegen kann eine Kombination von 0,25 mg Gibberellinsäure und 100 mg Kaliumbromat pro kg Gerste eine Verringerung des Mälzungsschwandes, eine gezielte Beeinflussung der Auflösung neben einer Verkürzung der Keimzeit bewirken. Auch in Verbindung mit warmer Wiederweiche bei 40 °C kann Gibberellinsäure verfahrenstechnische Vorteile erbringen.

Besonderes Interesse gewinnt die Gibberellinsäureverwendung bei vorherigem „Abschleifen" der Gerste. Hierbei werden 0,5 bis 1,0 % der Kornumhüllung entfernt; die Verletzung der Frucht- und Samenschale kann ein gleichmäßigeres Eindringen der Gibberellinsäure in das Korninnere bewirken, sodass die Enzymbildung und die Auflösung rascher voranschreiten. Durch die Beschädigung der Frucht- und Samenschale lassen sich auch die Mälzungseigenschaften frisch geernteter Gersten verbessern. Die Keimzeit wird auf 50–40 % verkürzt. Ein Nachteil neben dem Verlust an Kornsubstanz ist es, dass der Lösungsgrad während der Keimung nur sehr schwer abgeschätzt werden kann, wodurch die sehr intensive Enzymwirkung u. U. beim folgenden Schwelkprozess eine nachträgliche Überlösung bewirkt. Am besten ist es, die Keimung zum günstigsten Zeitpunkt abzubrechen, z. B. beim Einsatz in Keimdarrkasten. Auch kann das Gut beim Transport sehr leicht beschädigt werden. Eine weitere Beschleunigung erfährt dieser Prozess durch Anwendung von leicht angesäuertem Weichwasser (ca. 0,01 n H_2SO_4).

Es hat sich jedoch gezeigt, dass das Abschleifen von 1–2 % der Gerstenmenge auch ohne Gibberellinsäurezusatz positive Effekte hat: Weitgehende Eliminierung der Wasserempfindlichkeit, intensives, rasches Wachstum, kräftige Enzymentwicklung und -wirkung und Einsparung von mindestens 24 h Keimzeit. Der Abrieb der Spelzen äußert sich in einer höheren Extraktausbeute des Malzes (was sogar die Verarbeitung mehrzeiliger Wintergersten ermöglichte) und hohen Lösungswerten, die aber auch eine stärkere Zufärbung im Gefolge haben. Dies ist auch bei der kombinierten Anwendung mit Gibberellinsäure der Fall. Die derzeit industriell verfügbaren Abschleifapparate haben eine Leitung von 8 t/h. Größter Wert muss darauf gelegt werden, dass *alle* Körner bearbeitet sind. Hier ist noch Entwicklungsarbeit zu leisten.

Durch Quetschen der auf 37–39 % geweichten Gerste (Zweiwalzen-Mühle, Spaltweite 1,8 bis 2,0 mm) wird auf die Aleuron- und Mehlkörperzellen eine Kraft ausgeübt, die ein Brechen von Zellwandstrukturen zur Folge hat und die eine gleichmäßigere Verteilung von Wasser und sofort nach der Quetschbehandlung zugesetzter Gibberellinsäure (0,25–0,75 ppm) – bewirkt. Nach 5-tägiger Keimung bei mind. 40 % Feuchtigkeit resultierten Malze, die der Spezifikation entsprachen. Das Verfahren lieferte ohne Gibberellinsäure trotz angewandter höherer Keimgutfeuchte keine befriedigenden Ergebnisse.

Die Verwendung von Gibberellinsäure ist in Deutschland nicht gestattet. Sie kann mittels immunologischer Methoden auch in geringsten Dosagen nachgewiesen werden.

Eine Methode zur Aufbesserung des Malzes stellt ein Zusatz von Zuckerlösung gegen Ende der Keimung dar. Die so behandelten „Glucose"-Malze haben höhere Extraktwerte und verbesserte Lösungseigenschaften.

Zu den besonderen Keimmethoden sind die verschiedenen Weiterentwicklungen des Wiederweichverfahrens zu zählen (s. Abschn. 1.5.3.3). Eine Wiederweiche von 3 h bei 30 °C dämmt das Wurzelkeimwachstum deutlich ein. Es gelingt hier, die Gesamtweich- und -keimdauer auf 96–110 h zu reduzieren und den Mälzungsschwand auf nur 4 % abzusenken.

In Verbindung mit Gibberellinsäure kann eine Abkürzung der Weich- und Keimzeit auf 84–96 h bei Anwendung des Mehrfachweichverfahrens erreicht werden, wenn die Wiederweichtemperaturen bei 40 °C liegen. Die hierdurch bewirkte Inhibition des Wurzelkeimwachstums erlaubt eine entsprechende Absenkung des Schwandes. Die Umsetzungen im Malz können einmal durch die Gibberellinsäurekonzentration, zum anderen durch die Bemessung der inaktivierenden Warm-

wasserweiche gesteuert werden. Derartige Methoden machen ein Bewegen oder Wenden des Keimgutes überflüssig; sie können daher hauptsächlich in statischen Anlagen Anwendung finden.

1.5.4 Das fertige Grünmalz

Am Ende des Keimprozesses ist das Grünmalz nach seinen äußeren Eigenschaften und nach seiner Mehlkörperbeschaffenheit zu beurteilen. Hierdurch ist es möglich, Rückschlüsse über den Ablauf des Mälzungsprozesses und die Zweckmäßigkeit der angewendeten Maßnahmen zu ziehen.

Der *Geruch* des Grünmalzes soll frisch und gurkenartig sein. Ein säuerlicher, obstartiger Geruch lässt auf fehlerhafte Behandlung der Gerste (bei der Lagerung verdorbene Ware) bei der Weiche (Totweiche, intramolekulare Atmung) oder bei der Keimung (falsch geführte Wiederweiche, zu häufiges Spritzen, zu intensive CO_2-Rast bei intermittierender Belüftung, ungleichmäßige Belüftung bei verlegten Horden) schließen. Ein dumpfer, schimmeliger Geruch deutet auf die Verarbeitung verschimmelter Gerste, ungenügender Reinigung derselben in der Weiche oder auf eine Sekundärinfektion in der Keimanlage hin. Letzteres ist selten, wenn nicht Gerste mit vielen verletzten Körnern oder eigens abgeschliffene oder gequetschte Gerste zur Verarbeitung kam. Auch aufgerissene Körner können einen Infektionsschub erfahren. Dumpfer „abgestandener" Geruch kann auch durch einen höheren Anteil an abgeriebenen Wurzelkeimen entstehen, die, da sie sich zwischen die Grünmalzkörner setzen die gleichmäßige Belüftung des Haufens erschweren.

Aus diesem Grunde ist das *Aussehen des Keimgutes* täglich bzw. des Grünmalzes zu prüfen, wobei vor allem dem Organismenbefall Aufmerksamkeit zukommt: grüne Schimmelrasen durch *Penicillium-*, schwarze durch *Rhizopus-* oder rote durch *Fusarien-*Arten, deren Auftreten auf der Kornoberfläche, im Mehlkörper oder an beschädigten Stellen.

Ein Auszählen von (Gushing-)„relevanten" Körnern kann schon ab 0,5 % Befall eine Sonderbehandlung der Partie erfordern.

Das *Gewächs des Wurzelkeims* soll gleichmäßig entwickelt und frisch sein; braune, verwelkte Keime deuten auf Wasserverlust durch unzweckmäßige Haufenführung hin. Keimabrieb stärkeren Ausmaßes lässt auf eine unbefriedigende Arbeitsweise des Wenders oder einen zu häufigen Wenderlauf schließen. Keimabrieb hat eine übermäßige Entwicklung des Blattkeims zur Folge.

Das Gewächs des Wurzelkeims ist täglich zu überprüfen und das Ergebnis in der Kontrollkarte festzuhalten. Dasselbe gilt für Ausbleiber.

Der *Blattkeim* soll ebenfalls eine möglichst gleichmäßige Entwicklung zeigen. Husaren sind unerwünscht; sie lassen sich jedoch bei ungleichmäßigen Gerstenpartien, bei häufigem Spritzen und bei Wurzelkeimabrieb nicht immer vermeiden. Im Gegensatz zu Husaren, die durch falsche Haufenführung (Warmwerden des Haufens, Schwitzwassereinwirkung, Spatzenbildung) hervorgerufen werden, zeigen diese Körner eine trockene Mehlkörperauflösung. Beschädigte Körner haben meist ein abnormales Blattkeimwachstum, d. h. vermehrten Husarenanfall zur Folge.

Die *Auflösung*, d. h. die Zerreiblichkeit des Korns soll trocken und mehlig sein. Verspätet keimende Körner sind meist nur unzulänglich gelöst; schwer lösliche oder mit zu niedriger Feuchtigkeit geführte Körner zeigen oftmals in den Randzonen, besonders auf der Bauchseite eine „speckige" Beschaffenheit. Die Auflösung soll bei allen Körnern möglichst weitgehend gediehen sein (Homogenität). Eine schmierige oder teigige Auflösung kann von zu spätem oder zu starkem Spritzen herrühren. Derartige Körner neigen zu Geruchsfehlern, sie sind schwer zu trocknen und geben glasige, beim Maischen schwer aufschließbare Malze.

Der *Wassergehalt* des Grünmalzes vor dem Haufenziehen sollte ermittelt werden, um nach Kenntnis der Maximalfeuchte auch über eine mögliche Entfeuchtung zu erfahren. Dieser Wert ist auch für die Berechnung des Wasserentzugs beim Darren wichtig.

Die visuelle Kontrolle des Haufens in jedem Stadium des Wachstums gibt – selbst bei voll automatisierten Anlagen – Aussagen über allfällige Korrekturmaßnahmen. Die Beurteilung des fertigen Grünmalzes wiederum ist eine wertvolle Kontrolle.

1.6 Das Darren des Grünmalzes

1.6.1 Die Vorgänge beim Darren

Das wasserhaltige Grünmalz ist leicht verderblich und muss deshalb durch einen entsprechenden Wasserentzug in einen lagerfesten Zustand übergeführt werden. Außerdem sollen die chemisch-biologischen Umsetzungen zu einem Abschluss gebracht und die Zusammensetzung des Malzes festgelegt werden. Daneben ist es der Zweck des Darrens, den rohfruchtartigen Geruch und Geschmack des Grünmalzes zum Verschwinden zu bringen und dem Malz ein je nach Typ charakteristisches Aroma und eine bestimmte Farbe zu verleihen. Außerdem ist die Entfernung der Wurzeln notwendig, da

sie einen bitteren Geschmack hervorrufen und darüber hinaus zu einem Wasseranzug des getrockneten Malzes führen.

Diese Ziele werden durch das Trocknen und Darren des Malzes erreicht. Beim Entwässerungsprozess sind zwei Stufen zu unterscheiden:

Das *Schwelken*, d. h. die Entwässerung des Grünmalzes bei niedrigen Temperaturen bis auf einen Wassergehalt von ca. 10 %. Sie ist bis zum sog. „Hygroskopizitätspunkt" bei 18–20 % Feuchtigkeit leicht durchführbar. Die Trocknung auf 10 % erfolgt zwar zögernder, sie ist aber doch noch auf einfachem Wege möglich. Dieses Stadium ist bei Hochleistungsdarren am sprunghaften Ansteigen der Ablufttemperaturen, dem „Durchbruch", erkennbar, bei Zweihordendarren am leichten Durchtreten der Malzschicht und dem Abfallen der Wurzelkeime. Helle und dunkle Malze werden verschieden rasch geschwelkt.

Das *eigentliche Trocknen*, wobei die Entwässerung des hellen Malzes bis auf 3,5–4 %, bei dunklem bis auf 1,5–2 % geführt wird. Dieser Wasserentzug ist mit fortschreitender Trocknung immer schwieriger, da ihm Kapillar- und Kolloidkräfte entgegenwirken. Hierfür sind Temperaturen von 80–105 °C erforderlich.

Beim Entwässern erleidet das Korn physikalische und chemische Veränderungen.

1.6.1.1 Die *physikalischen Veränderungen* erstrecken sich auf Wassergehalt, Volumen, Gewicht und Farbe des Kornes. Die Erniedrigung des Wassergehaltes von 41–48 auf 1,5–4 % muss so vorgenommen werden, dass das Grünmalzkorn nicht zu viel Volumen verliert. Durch die Wasseraufnahme ist das Korn prall; durch die weitgehende Auflösung wurden im Korninnern feine Hohlräume gebildet, die beim Trocknen und Darren erhalten werden sollen, wodurch das Malz gegenüber der Gerste eine scheinbare Zunahme des Volumens um 16–23 %, im günstigen Falle sogar über 24 % verzeichnet. Dieses Ziel kann nur bei vorsichtiger Entwässerung unter Anwendung hoher Luftmengen und niedriger Temperaturen möglich sein. Nur so wird das Malz mürbe, enzymstark und leicht zu schroten sein. Bei zu raschem Trocknen und bei Einwirkung hoher Temperaturen auf das noch feuchte Korn zieht es sich zusammen, wird hart und schwer (Kontrolle durch das Hektolitergewicht bzw. spezifisches Gewicht) und gibt beim Maischen den Extrakt nur unvollkommen her. Gut gelöste Malze neigen weniger zum Schrumpfen als schlecht gelöste. Durch das Trocknen verringert sich das Gewicht des Grünmalzes: 100 kg Gerste ergeben etwa 160 kg Grünmalz. Daraus entstehen ca. 80 kg Darrmalz. Es muss demnach eine Wassermenge entzogen werden, die dem Gewicht des fertigen Darrmalzes entspricht. Das Grünmalz besteht zur Hälfte aus Wasser. Die Farbe verändert sich vom Grünmalz (2,0–2,5 EBC-Einheiten) auf 2,5–4 bei hellen, 5–8 bei „Wiener" und 9,5–21 EBC-Einheiten bei dunklem Malz. Geruch und Geschmack gehen dieser Farbebildung etwa parallel. An dieser Entwicklung sind jedoch chemische Umsetzungen beteiligt.

1.6.1.2 Die *chemischen Veränderungen* des Grünmalzes durch das Darren entstehen entweder durch ein weiteres natürliches Wachstum, solange der Keimling noch lebt, oder durch Reaktionen nach Aufhören des Wachstums, die als enzymatische Vorgänge weiterlaufen. Schließlich finden nach weitgehender Trocknung oder nach eingetretener Wärmestarre des Korns noch rein chemische Umsetzungen unter dem Einfluss von Wärme und Wassergehalt statt, wobei sich die Farbe des Mehlkörpers verändert.

Solange die Feuchtigkeit im Gut nicht unter 20 % fällt und die Temperatur nicht über 40 °C steigt, ist weiteres Wachstum feststellbar, das sich in der Länge des Blattkeimes äußert. Die Enzyme bewirken ein Fortschreiten der Auflösung, die sich auch in einer Erhöhung der Menge des löslichen Stickstoffs und niedermolekularer Stärkeabbauprodukte äußern kann, wenn bei bestimmten Wassergehalten entsprechende Grenztemperaturen überschritten werden, so z. B. bei 43 % 23–25 °C, bei 34 % 26–30 °C, bei 24 % 40–50 °C. Es gilt also bei hellen Malzen eine Trocknung auf niedrige Wassergehalte zu erzielen, bevor die entsprechende Grenztemperatur erreicht wird.

Bei Temperaturen von 40–70 °C wirken die verschiedenen Enzymgruppen und führen die Abbauvorgänge fort, bis entweder der sinkende Wassergehalt der Enzymwirkung ein Ende bereitet oder höhere Temperaturen eine Inaktivierung der Enzyme bewirken. Nachdem zu dieser Zeit kein weiteres Keimlingswachstum mehr gegeben ist, werden auch die Abbauprodukte nicht mehr zum Aufbau neuer Gewebe verbraucht. So häufen sich im Korn die verschiedenen Zucker (Glucose, Fructose, Maltose, Saccharose) an. Der freie Aminostickstoff als Gesamtheit aller Aminosäuren nimmt beim Schwelken (12 h 50 °C) in der Oberschicht stets deutlich zu, während seine Freisetzung in den unteren Schichten nur etwa 4 h lang anhält. Dagegen bewirkt eine Schwelke bei 65 °C in allen Schichten eine Zunahme. Beim Abdarren (80 °C) treten Verluste um rund 25 % ein. Die einzelnen Aminosäuren lassen ein jeweils spezifisches Verhalten er-

kennen: So nehmen z. B. Glycin, Alanin und Arginin beim Schwelken deutlich zu, Glutaminsäure und die Amide erfahren von Anbeginn des Schwelkens eine stete Abnahme. Die aromatische Aminosäure Prolin verhält sich ähnlich wie Glycin. Die Amine Histamin, Hordenin, Tyramin und Tryptamin nehmen mit steigender Abdarrtemperatur ab. Hordenin spielt bei der Bildung von Nitrosaminen eine Rolle. Bei Wassergehalten unter 10 % hören auch diese Reaktionen auf, da die Enzyme entweder nicht mehr weiterwirken können, inaktiviert oder gar abgetötet werden. Der Verlust an Enzymen ist umso erheblicher, je feuchter das Malz in höhere Temperaturen gelangt. Nachdem die Enzyme bei trockener Hitze weniger stark leiden als bei feuchter, wird das helle Darrmalz immer mehr Enyzme enthalten als das dunkle, obwohl die Verhältnisse beim Grünmalz durch die weitergehende Auflösung des dunklen umgekehrt sind.

Die Stärke erfährt während des Schwelkens und Darrens ebenfalls eine Veränderung: So erhöht sich die Verkleisterungstemperatur mit steigender Schwelktemperatur geringfügig, während sie bei einer Erhöhung der Abdarrintensität von 5 h 65 °C auf 3 h 90 °C abnimmt.

Von den einzelnen Enzymen wird die β-Amylase wesentlich stärker geschädigt als die α-Amylase, die infolge einer Aktivitätssteigerung beim Schwelken trotz der Verluste beim Abdarren im fertigen Malz auf dem Aktivitätsniveau des Grünmalzes bleibt. Die Endo-Peptidasen zeigen während der Schwelkphase bei 50 °C einen Anstieg ihrer Menge und ihrer Wirksamkeit. Beim Abdarren ist – selbst bei hohen Temperaturen – keine nennenswerte Schädigung dieser Enzyme gegeben. Die Exopeptidasen erfahren während des Schwelkens eine beträchtliche Erhöhung ihrer Aktivität; nur die Dipeptidase wird so stark inaktiviert, dass der Darrmalzwert unter dem des Grünmalzes zu liegen kommt. Amino- und Carboxypeptidasen dagegen weisen im Darrmalz stets eine höhere Aktivität auf als im Grünmalz. Die Endo-β-Glucanase wird während des Abdarrens nicht wesentlich geschädigt, während die Exo-β-Glucanase ab 50 °C zunehmend inaktiviert wird und bei hellem Darrmalz einen Verlust um 2/3 des Ausgangswertes erleidet. Die Polyphenoloxidasen und Peroxidasen zeigen eine starke Temperaturempfindlichkeit; sie werden während des Darrprozesses bei Temperaturen über 80 °C deutlich inaktiviert, eine Erscheinung, die dann zu höheren Anthocyanogenwerten in Würze und Bier führt.

Die Katalasen werden beim Schwelken zunehmend geschädigt, bei 80 °C Abdarrtemperatur ist keine Katalase-Aktivität mehr nachweisbar. Die Lipoxygenasen wirken wohl schon von Beginn des Schwelkens an, doch zeigen sie bei 60 °C ihre maximale Aktivität. Bei Abdarrtemperaturen von 80 °C liegt noch eine Restaktivität vor, die aber bei 90 °C rasch abnimmt.

Die *chemischen Veränderungen bei höheren Temperaturen* werden bei den Stickstofffraktionen offenkundig. Unter dem Einfluss von Wassergehalt und Temperatur erfahren höhermolekulare Abbauprodukte eine Dispersitätsvergröberung, die zum Koagulieren, d. h. zum Unlöslichwerden eines Teils dieser Fraktion führt. Wenn auch beim hellen Malz diese Veränderungen weniger deutlich sind als beim dunklen, so spielen diese doch für Geschmack, Schäumvermögen und Stabilität des Bieres eine Rolle. Helles Malz muss deshalb mindestens bei 80 °C abgedarrt werden, bei dunklem Malz ist im Bereich von 100–105 °C eine kräftige Koagulation zu verzeichnen. Am auffallendsten sind jene chemischen Veränderungen, die eine kräftige Zufärbung des Mehlkörpers und ein deutliches, angenehmes Röstaroma vermitteln, wie sie das typische „dunkle“ Malz besitzt.

Diese *Farbe- und Aromabildung* ist eine Reaktion, die bei Temperaturen über 100 °C und bei einem Wassergehalt von etwa 5 % zwischen den im Grünmalz vorhandenen Zuckern und Eiweißabbauprodukten wie Aminosäuren, Di- und Tripeptiden eintritt. Die Aminogruppe der Aminosäuren usw. reagiert mit der Carbonylgruppe des Zuckers zu einem N-substituierten Glycosylamin, dann als zweitem Schritt über eine Schiffsche Base zu einem N-substituierten Aminodesoxyketon, das mit seiner Enolform im Gleichgewicht steht. Bis hierher sind die Reaktionen reversibel und die entstehenden Produkte farblos. Von hier aus sind zwei Reaktionsfolgen, ausgehend von der Enol- oder Ketoform, möglich. Ein wichtiges Zwischenprodukt des ersten Weges ist dabei das 3-Desoxy-D-Glucoson, das einerseits entweder selbst oder über reaktionsfähige Zwischenverbindungen mit Carbonylgruppen zu den Melanoidinen des Typs A weiterreagieren kann, andererseits über Wasserabspaltung Hydroxymethylfurfural bildet. Dieser sehr reaktionsfreudige Aldehyd kondensiert wiederum mit Aminosäuren und bildet dann Melanoidine des Typs B. Von der Ketoform des erwähnten Aminodesoxyketons verläuft die Reaktion über ein ungesättigtes Hexoson, das mit Aminosäuren zusammen ebenfalls zu einem Melanoidin des Typs A kondensiert. Daneben entstehen eine Reihe reaktionsfähiger niedermolekularer Zersetzungsprodukte mit Carbonylgruppen, z. B. aus dem Strecker-Abbau von Aminosäuren Aldehyde, deren Kohlenstoffgerüst durch Abspaltung von Kohlendioxid und Ammoniak um ein C-Atom kleiner ist als das der ur-

sprünglichen Aminosäure. Diese Substanzen, die ein jeweils typisches Aroma entwickeln, sind sehr reaktionsfreudig, indem sie mit anderen Aldehyden, mit Spaltprodukten von Zuckern, mit Furfural, mit anderen Dehydratationsprodukten oder mit Aldiminen und Ketiminen zu braunen Farbstoffen kondensieren. Bei der Bildung von Melanoidinen entstehen auf verschiedenen Wegen Zwischenprodukte, die den Reduktonen zugeordnet werden können.

Der antioxidative Effekt hängt nicht nur von den Reaktionspartnern (Aminosäuren, Peptiden, Zuckern) ab, sondern auch vom Molekulargewicht der Maillard-Produkte. Während solche unter 1 kDa nur eine ganz geringe Wirkung zeigen, ist diese bei 5 kDa am höchsten. Nachdem die höhermolekularen Melanoidine erst bei stärkerer thermischer Belastung (Temperatur, Zeit) entstehen, besteht zwischen der Farbe, dem Aroma und der antioxidantischen Aktivität ein enger Zusammenhang. Es können aber auch verschiedene dieser Antioxidantien unter bestimmten Bedingungen wie Konzentration, Anwesenheit von Sauerstoff oder Metallionen zu Prooxidantien werden und dadurch Oxidationsreaktionen fördern. Es können auch Produkte, die im Laufe der Maillard-Reaktion erst gebildet werden, sowohl antioxidativ als auch prooxidativ wirksam sein. Die gilt besonders für frühe Maillard-Produkte vor der Amadori-Umlagerung, durch die freie Radikale entstehen.

Aminosäuren sind umso reaktionsfreudiger, je weiter die Carboxyl- und die Aminogruppe voneinander entfernt sind. Sie vermitteln einen jeweils typischen Geruch und Geschmack, so z. B. Glycin eine starke Färbung bei schwachem Aroma, Alanin weniger Farbe bei ähnlichem Geschmack, Valin dagegen reagiert langsam unter Bildung bräunlicher, angenehm aromatischer Melanoidine. Leucin ebenfalls langsam reagierend, färbt nur schwach, vermittelt aber ein deutliches brotartiges Röstaroma. Um diese Aminosäuren noch zur Reaktion zu bringen, ist es notwendig, bei dunklem Malz Abdarrtemperaturen von 100–105 °C 5–6 h lang einzuhalten.

Es ist jedoch auch erforderlich, dass die niedermolekularen Reaktionsprodukte des Stärke- und Eiweißabbaues in ausreichender Menge vorliegen. Dies ist einer der Gründe, warum die dunklen Grünmalze sehr weitgehend gelöst und beim Schwelkprozess noch längere Zeit bei hohen Feuchtigkeitswerten im Bereich von Temperaturen zwischen 40 und 60 °C gehalten werden. Es ist jedoch bei manchen Gersten nur schwer möglich, diese Abbauprodukte in gewünschten Mengen zu erzeugen. Die natürliche Färbefähigkeit der Gerste und des Grünmalzes ist hierfür Voraussetzung. Vor allem sehr eiweißarme Gersten eigenen sich weniger gut zur Herstellung dunkler Malze.

Durch einfaches Erhitzen des Grünmalzes werden nicht die gewünschten aromatischen und färbefähigen Stoffe gewonnen, sondern u. U. brenzlig und bitter schmeckende Assamare, die den Geschmack des Bieres beeinträchtigen können.

Temperaturführung und Raschheit dieses Prozesses haben einen Einfluss auf die Aromastoffe des fertig gedarrten Malzes. Dies ist einmal durch die Bildung von Vorläufersubstanzen, aber auch durch die zeitweise Förderung und anschließende Schwächung von Enzymen zu erklären. So haben niedrigere Anfangstemperaturen beim Schwelken (35–50 °C) nicht nur höhere Extraktgehalte, sondern auch eine höhere VZ 45 °C zur Folge, auch ist die TBZ bei schonender Trocknung günstiger, d. h. niedriger. Hier ist auch eine Parallele zur Bildung der Strecker-Aldehyde und des 2-Furfurals gegeben. Eine forcierte Trocknung wie z. B. eine konstante Schwelktemperatur von 65 °C vermittelt mehr färbende und geschmacksintensive Substanzen. Die Fettabbauprodukte wie z. B. Hexanal, Heptanal, u. a. werden bei höheren Schwelktemperaturen entweder weniger stark gebildet oder verstärkt ausgetrieben. Die höchsten Werte an diesen Substanzen und gleichzeitig die niedrigsten Gehalte an Strecker-Aldehyden erreicht ein überlanges Schwelken (20 h bei 50 °C mit 50 % der Lüfterleistung) wie es bei Keim/Darrkästen Verwendung findet. Während dieser langen Zeit werden auch die höchsten Mengen an ungesättigten Carbonylen gebildet.

Mit Erhöhung der Abdarrtemperatur nehmen bei ein und demselben („hellen“) Schwelkverfahren die Strecker-Aldehyde, 2-Furfural, einige Furane und Alkohole exponentiell zu; die aus dem Lipidstoffwechsel stammenden Substanzen lassen kein einheitliches Verhalten erkennen. Pentanal, Octanal, (*E*,*E*)-2,4-Octadienal sowie Ketone (2-Pentanon, 2-Hexanon, 2-Heptanon und 2-Decanon) nehmen ab einer Abdarrtemperatur von 85 °C weiter zu, die meisten anderen Aromastoffe aus dem Lipidstoffwechsel werden bei höheren Abdarrtemperaturen aus dem Malz ausgetrieben, wie z. B. auch das γ-Nonalacton.

Bei hohen Darrtemperaturen bilden sich aus Zuckern heterocyclische Verbindungen. Durch intermolekulare Umlagerungen, durch Enolisierung entsteht aus dem Zucker als Zwischenprodukt ein Endiol. Von diesem wird ein Molekül Wasser abgespalten, die resultierende Dicarbonylverbindung ist ein Reaktionspartner für Aminosäuren. Reagiert eine schwefelhaltige Amino-

säure, z. B. Cystein, mit der Dicarbonylverbindung, so entsteht über einige Zwischenschritte das 2-Acetylthiazol. Analog den ersten Schritten der Maillard-Reaktion verläuft auch die Bildung von Pyrazinen (aus zwei Aminoketonen) oder Oxazolen (Umsetzung von Aminoketonen mit organischen Säuren). Pyrrole entstehen aus Dicarbonylen und 1-Amino-1-desoxy-Ketosen. Bei der Umsetzung von Prolin mit reduzierenden Zuckern entstehen u. a. Pyrrol. Acylpyrrolidine, 1-Acetylpyridin sowie das sog. Malzoxazin.

Sauerstoff-Heterocyclen wie *y*-Pyrone, Maltol, Isomaltol und Furaneol enthalten kein Stickstoffatom. Viele dieser Substanzen sind geruchs- und geschmacksintensiv, wobei die Aromanoten von brot-, kartoffel-, popcorn- nach pilzartig reichen können. Manche, z. B. die Prolinderivate, verleihen auch einen Bittereindruck.

Je nach der Zusammensetzung der Heterocyclen, der Stellung und Zahl der Methylgruppen am Kohlenstoffring, wird das Aroma und dessen Schwellenwert bestimmt. Dieser kann zwischen 10 000 und 0,002 ppb liegen.

Es sind also diese Substanzen nicht immer angenehm. Beim dunklen Malz sind die Produkte der Maillard-Reaktion, also auch die Heterocyclen erwünscht, beim Würzekochprozess, z. B. bei höheren Temperaturen oder übermäßiger thermischer Belastung vor und nach dem Würzekochen (s. Abschn. 2.5.5.4), können sie im späteren Bier auch Fehlaromen hervorrufen.

Mit einer Erhöhung der Abdarrtemperatur von 70 auf 85 °C zeigen die N-Heterocyclen bereits eine deutliche Zunahme, vor allem die Pyrazine und 2-Acetylpyrrol. Die weitere Steigerung von 85 auf 100 °C erbringt eine weitere Erhöhung um 60–300 %. Bei einem Schwelkverfahren für dunkles Malz und einer Abdarrtemperatur von 100 °C ist die Mehrung dieser Substanzen noch größer, was seinen Grund im größeren Anfall an Aminosäuren und Zuckern beim „warmen Schwelken" hat.

Als Folge der Melanoidinbildung nehmen Invertzucker und Aminosäuren, aber auch niedere Peptide während des Darrens ab. Nachdem die Melanoidine sauer reagieren, nimmt aus diesem Grunde der pH von Malzauszug oder Kongresswürze bei höheren Abdarrtemperaturen ab. Zur Säurebildung trägt auch die Wirkung der Phosphatasen bei, die anorganisches Phosphat aus organischen Phosphorverbindungen freisetzen, darüber hinaus tritt bei höheren Abdarrtemperaturen auch eine Fällung von sekundären und tertiären Phosphaten ein, was sich in einer verringerten Pufferung der Malze äußert.

Beim Darren erfahren auch organische Schwefelverbindungen eine Veränderung. Das bei der Keimung gebildete *S*-Methylmethionin (SMM) zerfällt durch die Hitzeeinwirkung beim Darren, wobei Dimethylsulfid (DMS) abgespalten wird. Dieses DMS ist jedoch sehr oxidationsempfindlich und kann mit Sauerstoff zu Dimethylsulfoxid (DMSO) oxidieren. Dieser hochsiedende (189 °C) Vorläufer kann sowohl durch starke thermische Belastung als auch durch Hefen und gewisse Bakterien zu DMS umgewandelt werden.

Dimethylsulfid: Schwelkverfahren, die mit höheren Temperaturen arbeiten, treiben zunächst mehr *S*-Methylmethionin aus der Grünmalzschicht aus, doch erreichen die Verfahren mit niedrigeren Anfahrtemperaturen im Darrmalz die niedrigsten Werte. Außerdem wird bei höheren Schwelktemperaturen aus DMS mehr schwerflüchtiges Dimethylsulfoxid gebildet, das sogar bei hohen Abdarrtemperaturen weiter gesteigert wird. Jedes Malz enthält neben DMS-P, freiem DMS auch DMSO; höher abgedarrte Malze folglich weniger DMS-P, wenig DMS, aber mehr DMSO. Bei einer normalen Abdarrtemperatur von z. B. 80 °C weist das Malz 11 ppm DMS-P und 20 ppm DMSO auf, bei 90 °C Abdarrung nur mehr 6 ppm DMS-P, jedoch 30 ppm DMSO. Während DMS-P von der Brauereihefe nicht metabolisiert wird, können einige Kulturhefen kleine Mengen an DMSO durch eine entsprechende Reduktase zu DMS reduzieren. Der Anstieg bei Gärung und Lagerung beträgt, wenn überhaupt, nur 5–10 ppb. Wildhefen und einige Bakterienarten enthalten DMSO-Reduktase und können beträchtliche Mengen an DMS freisetzen, sodass das Bier ungenießbar wird.

Die Malze aus den neuen Gerstensorten bringen zum Teil hohe Gehalte an DMS-P in den Abdarrprozess ein. Durch hohe Abdarrtemperaturen kann der DMS-P-Gehalt wohl abgesenkt werden (s. oben), doch schreitet damit auch die Bildung von Farb- und Aromastoffen einher. Es lässt sich anhand einer Arrhenius-Darstellung ablesen, dass bei einer Abdarrung von 5,5 h bei 84 °C eine TBZ von 13 und ein DMS-P-Gehalt von 7 ppm erreicht werden. Dieselben Werte werden in 3 h bei 90 °C vermittelt. Es gibt sich hier ein „Arbeitsfenster", wonach für eine gewisse Vorgabe an DMS-P und TBZ Zeiten und Temperaturen abgelesen werden können. Diese müssen allerdings für jede Darre erarbeitet werden, denn es spielen die Höhe der Malzschicht, die Ventilatorleistung und damit der Temperaturverlauf in den einzelnen Malzschichten eine Rolle.

In der Regel werden bei hellen Malzen Grenzwerte für den DMS-Vorläufer auf 5–7 ppm festgelegt.

Hierfür ist bei hellen Malzen (Farbe < 3,5 EBC) in der Regel eine Abdarrtemperatur von 83 °C ausreichend, um einen zu starken Anstieg der TBZ (über 14 in der Kongresswürze, s. Abschn. 1.8.3.12) zu vermeiden.

Schwelkverfahren mit hohen Temperaturen bzw. einer hohen thermischen Belastung beim Schwelken wirken sich negativ auf die Malz- und Bierqualität aus. Diesem Nachteil kann durch ein Schwelkverfahren mit innerhalb von 12 h stufenlos ansteigenden Temperaturen von 50 auf 70 °C (1,7 °C/h) begegnet werden, dessen Biere sowohl im frischen als auch im gealterten Zustand am besten abschnitten.

Abdarrtemperaturen zwischen 80 und 88 °C führten zu einer etwa gleich guten Bewertung im frischen wie auch gealterten Bier. Dabei muss naturgemäß bei steigenden Abdarrtemperaturen ein stärker malziger Geschmack der Biere berücksichtigt werden. Die Auswirkungen von z. B. höheren Gehalten an Strecker-Aldehyden und niedrigeren Werten an Fettabbauprodukten bei höheren Abdarrtemperaturen scheinen sich dabei auszugleichen. Erst ab 88 °C erweist sich der Anstieg der Strecker-Aldehyde für helle Malze als negativ.

So enthalten hoch, bei 90–100 °C abgedarrte Malze weniger DMS-Vorläufer als niedrig gedarrte. Doch hängt der Gehalt an diesem und damit die Bildung von freiem DMS bei der Gärung von der Intensität des Darrens und Würzekochens, aber auch schon ursächlich von Gerstensorte, Klimabedingungen, von den Keimungsparametern und der damit erzielten Eiweißlösung ab.

Die Polyphenole werden beim Schwelken durch die Wirkung von Oxidasen etwas verringert. Mit steigender Abdarrtemperatur tritt eine vermehrte Inaktivierung von Peroxidasen und Polyphenoloxidasen ein, sodass die aus derartigen Malzen stammenden Kongresswürzen höhere Polyphenolgehalte, besonders höhere Anthocyanogenwerte aufweisen, wodurch sich der Polymerisationsindex erniedrigt. Der Gehalt an Tannoiden nimmt zu (s. Abschn. 1.1.2.6). Polyphenole können auf diesem Wege, aber auch durch Reaktion mit Maillard-Produkten färbende Substanzen bilden.

Der Grenzwert für helle Malze liegt hier zwischen 80 und 85 °C, darüber wird die Zufärbung beim weiteren Brauprozess für helle Biere zu intensiv.

Die Lipide werden am Beispiel der hauptsächlich vorkommenden Triglyceride durch die Lipasen in zwei Optimalbereichen während des Schwelkens wie schon bei der Keimung zu langkettigen gesättigten und ungesättigten Fettsäuren abgebaut. Besonders bei niedrigen Schwelktemperaturen erfahren sie durch die Lipoxygenasen eine Oxidation zu Hydroperoxiden und schließlich durch eine Autoxidation zu geschmacksstarken Carbonylen, Ketonen, Alkoholen, Lactonen und Furanen. Diese flüchtigen Substanzen spielen als Aromastoffe, vor allem auch bei der Bieralterung eine Rolle. So nehmen die als Fettabbauprodukte entstehenden Aldehyde wie z. B. Hexanal oder (*E*,*E*)-2,4-Decadienal beim Schwelken mit niedrigen Temperaturen zu, bei höheren (65 °C) dagegen ab. Bei ein und demselben Schwelkverfahren führen hohe Abdarrtemperaturen z. B. von 88–90 °C zu niedrigen Gehalten an diesen Aldehyden.

Phosphate und Oxalate nehmen mit steigender Abdarrtemperatur bei Gerstenmalz deutlich ab, während sie beim Weizenmalz kaum eine Veränderung erfahren.

Die Abtötung bzw. Inaktivierung eines Teils der Enzyme beim Darren bringt es mit sich, dass auch die Extraktausbeute eine Beeinflussung erfährt: Je höher, länger und bei umso höherem Anfangswassergehalt ausgedarrt wird, umso niedriger wird die Ausbeute. Frisch abgedarrte Malze geben den Extrakt schlechter her als abgelagerte, da den Kolloiden beim Darren zum Teil das Hydratationswasser entzogen wurde, eine Erscheinung, die auch das opalisierende Ablaufen der Kongresswürzen bewirkt. Im Laufe der Lagerung des Malzes erfolgt bei geringer Wasseraufnahme wieder eine Quellung bereits dehydratisierter Kolloide. Die bei höheren Abdarrtemperaturen stärkere Inaktivierung der α-Amylase, vor allem aber der β-Amylase hat auch eine Verringerung des Endvergärungsgrades der Kongresswürze zur Folge.

Bei Darren, die mit schwefelhaltigen Brennstoffen (z. B. Koks) direkt beheizt werden, ergibt sich eine Aufhellung des Malzes, die weniger auf eine Bleichwirkung des Schwefeldioxids als vielmehr auf eine Blockierung reaktionsfähiger Endgruppen, vor allem der Aldehyde, der Zucker oder deren Reaktionsprodukte zurückzuführen ist.

Heizöle mit höherem Schwefelgehalt können zu einer „Tigerung“ des Malzes führen, zu schwarzen Flecken auf der Spelze, die zwar belanglos sind, aber dennoch beanstandet werden. Empfehlenswert sind schwefelarme Heizöle (unter 0,5 % Schwefel). Speziell gestaltete Feuerungen gestatten heute sogar die Verbrennung schwefelreicherer Heizöle. Es kann jedoch der pH des Malzes so weit abfallen, dass seine weitere Verarbeitung Schwierigkeiten bereitet.

Beim Schwelken und Darren mit direkt beheizten Darren kommt es zur Bildung von Nitrosaminen im Malz, die ohne Veränderung ins Bier übergehen. Ihre Vorläufer sind die bei der Kei-

mung entstehenden Amine (Dimethylamin, Ethylamin, Tyramin, Hordenin, Gramin und andere) und die bei hohen Flammentemperaturen resultierenden Stickoxide, die summarisch als NO_x bezeichnet werden, die aber hauptsächlich aus NO und NO_2 bestehen, wobei vor allem Letzteres die Amine beim Schwelken nitrosiert. Die Nitrosoverbindung wird dann zu Nitrosodimethylamin gespalten (NDMA, vereinfacht als „Nitrosamin" bezeichnet). Der Schwefelgehalt des Heizmittels bewirkt durch Blockierung der Nitrosierungsreaktion eine z. T. sehr weitgehende Verminderung des NDMA. Auch sog. „Nieder-NO_x-Brenner", die eine Erhöhung des Verhältnisses Heizgas : Verbrennungsluft auf ca. 1 : 1,8 erreichen, erbringen eine Verringerung, die jedoch nicht immer den technischen Grenzwert von 2,5 ppb erreicht. Die beste Lösung sind indirekte Heizsysteme, die aus dieser Problematik heraus neu entwickelt wurden.

Der Verdacht, dass direkt beheizte Darren die Bildung von *polycyclischen, aromatischen Kohlenwasserstoffen* (PAK) begünstigen, konnte bei Verfolg von 3,4-Benzpyren nicht bestätigt werden. Es zeigte sich vielmehr, dass die Umweltbedingungen für den PAK-Gehalt eines Malzes von Bedeutung sind.

Beim Erhitzen von Lebensmitteln entstehen noch weitere toxische Substanzen wie z. B. Chlorpropanole, Acrylamide und Furane. Sie können von einfachen Vorläufern wie z. B. Aminosäuren, Lipiden und Zuckern entstehen, die in den Rohstoffen des Bieres bzw. den entstehenden Zwischenprodukten vorkommen. Wenn sich auch diese Toxine in der Nahrungsmittelkette nicht akkumulieren, so sind sie doch als Krebserreger bei Tieren bekannt. Damit könnten sie auch eine, bisher nicht quantifizierte Bedrohung der menschlichen Gesundheit darstellen.

Chlorpropanol bzw. seine weit verbreitete Komponente 3-Chlor-propan-1,2-diol (3-MCPD) kann z. B. bei hohen Darrtemperaturen oder bei Röstvorgängen entstehen. Nachdem aber der Anteil an Spezialmalzen in den meisten Bieren sehr gering ist, konnte bisher diese Substanz bzw. von ihr stammende Ester nicht festgestellt werden.

Acrylamide entstehen ebenfalls beim Erhitzen von Malzen, allerdings schon bei niedrigeren Temperaturen als 3-MCPD. Ab 170 °C (Röstmalze) tritt wieder ein Abbau der Acrylamide ein. Untersuchungen zeigten, dass helle Biere (Farbe unter 10 EBC) die niedrigsten Gehalte hatten. Der Durchschnitt lag bei 2,4 ppb, der Höchstwert bei 11,2 ppb. Eine Korrelation zur Bierfarbe ergab sich nicht. Das Malz spielt hierbei generell eine Rolle, ebenso der Brauprozess, bei dem eine Zunahme um 30 % erfolgte, wiederum gefolgt von einer Abnahme um 50 %.

Furan ist eine geschmacksstarke flüchtige Verbindung. Sie wird aber im Laufe der Würzebereitung, z. B. beim Kochen ausgetrieben. Die Maximalwerte im Bier lagen unter 20 ppb.

Der *Schwefeldioxidgehalt* des Malzes liegt bei Verbrennung von Flüssiggas oder Erdgas bei 1,5–8 ppm, bei Leichtöl (Schwefelgehalt 0,2–0,5 %) bei 5–10 ppm, bei Koks (ca. 0,9 % S) bei 20–33 ppm. Der SO_2-Gehalt des Malzes hat aufgrund sorgfältiger Untersuchungen keinen Einfluss auf den Schwefeldioxidgehalt des Bieres. Der Schwefelgehalt des Heizöls bewirkt eine sehr weitgehende Verminderung der Nitrosamine, ebenso sind Maßnahmen wie eine Erhöhung des Verhältnisses Gas : Verbrennungsluft auf 1 : 1,8 (z. B. bei gasbeheizten Darren) erfolgreich.

1.6.2 Die Darren

Zum Entwässern und Darren des Grünmalzes werden *Malzdarren* verwendet. Die verschiedensten Konstruktionen werden entweder durch Heißluft oder durch Heizgemische auf indirektem oder direktem Weg beheizt. Die wesentlichen Darrkonstruktionen sind nach Anordnung der Horden und der Beladungshöhen: Horizontal oder Plandarren mit 1, 2 oder 3 Horden, Vertikaldarren (alt für Chargenbetrieb oder neu für kontinuierlichen Betrieb); heutzutage überwiegend Hochleistungsdarren mit einer Horde oder zwei über- oder nebeneinanderliegenden Horden. Auch eine Anordnung von drei nebeneinanderliegenden Horden (Triflex-Darre) ist bekannt. Dazu kommen kombinierte Systeme, wie sie sich aus den verschiedenen Typen der Keimdarrkasten ableiten lassen. Nach der Beheizungsart ist einzuteilen in mittelbare Heizung, wobei die Trocknungsluft an Heizsystemen erwärmt wird, und in unmittelbare Heizung, bei der die Verbrennungsgase direkt durch das Grünmalz streichen.

Das Thema der Bildung von Nitrosodimethylamin (NDMA, s. Abschn. 1.6.1.2) bewirkte, dass die ursprünglich in der Mehrzahl direkt beheizten Darren auf eine indirekte Beheizung mit neu entwickelten Wärmeerzeugern umgestellt wurden. Alle ab 1980 errichteten Darren weisen eine indirekte Heizanlage auf. Eine weitere Unterteilung erfolgte nach der Art des Heizmittels (Dampf oder Heizheißwasser), bei den indirekt beheizten Darren ist die Art des Heizmittels weniger von Bedeutung, doch ist für den Fall von Undichtigkeiten im System der gleiche Reinheitsgrad zu verlangen wie bei direkter Beheizung. Dabei spielt neben dem Vermei-

den einer Kontamination des Malzes mit Schadstoffen auch das Ziel einer möglichst geringen Umweltbelastung eine große Rolle.

1.6.2.1 Die *Einhordenhochleistungsdarren* sind die überwiegend anzutreffende Darrkonstruktion. Sie sind durch eine hohe Malzschicht von 0,6–1 m und durch eine hohe Beladung von 250–400 kg/m^2 = Gerste als Grünmalz = 200–320 kg/m^2 Fertigmalz gekennzeichnet. Auf der wenderlosen Horde wird sowohl der Schwelk- als auch der Darrprozess durchgeführt. Die Darre besteht aus folgenden Elementen: Der *Horde*, aus besonders tragfähigem Profildraht, der widerstandsfähig gegen seitliche Verformungen ist und der eine große freie Durchgangsfläche von 30–40 % aufweist. Um eine glatte, ebene Oberfläche zu erzielen, sind die einzelnen nebeneinanderliegenden Hordenfelder auf einem Unterstützungsrost aus Netzeisen und dieser wiederum auf Profileisen angeordnet. Die Horde ist so im Mauerwerk verankert, dass sie bei Temperaturänderung eine gewisse Bewegungsfreiheit hat. In den meisten Fällen sind die Horden als Kipphorden ausgebildet, die ein- oder zweiteilig sein können. Die erstere Konstruktion erfordert eine größere Raumhöhe, erlaubt jedoch die Anordnung der Malzgosse an der Wand der Darre. Die Letztere macht eine Gosse in der Mitte des Druckraumes erforderlich. Verschiedentlich ist um die Horde ein Gang gelegt.

Die *Belüftung der Darre* erfolgt über einen entsprechend bemessenen Ventilator, der in der Ebene des *Schürraumes* oder des Heizregisters angeordnet ist. Er zieht die Luft entweder vom Frischluftschacht oder vom Rückluftkanal an und drückt sie in den darüber befindlichen Druckraum. Von dort durchdringt die Luft das auf der Horde liegende Gut und wird in den Abluftkamin abgeführt. Dieser bildet mit dem Rückluftkanal einen gemeinsamen Schacht; die Wegeführung der Luft wird durch eine dicht schließende Rückluftklappe oder einen ebensolchen Pilzschieber bewirkt.

Der *Schürraum* wird zugfrei gestaltet. Bei indirekt beheizten Darren findet sich anstelle des Heizofens das Heizsystem (Thermoblock, Kalorifere für Dampf oder Heißwasser). Hier sind meist die Kontrollinstrumente für die Darre installiert, wenn diese nicht von einer zentralen Schaltwarte aus gesteuert wird.

Der *Druckraum* soll eine Entspannung der vom Ventilator geförderten Luftmenge und ihre gleichmäßige Verteilung unter dem Malz bewirken. Seine Höhe hängt ab von der Fläche der Darre sowie von den Einbauten, die meist die von der Kipphorde beschickte Malzgosse sowie die Transporteinrichtungen für das Darrmalz einschließen. Je geringer die Höhe des Druckraumes und umso mehr Einbauten gegeben sind, desto schwieriger ist eine gleichmäßige Verteilung der Luft und damit eine gleichmäßige Temperaturführung. Zwischen der Ausblasöffnung des Ventilators und der Horde befindet sich ein Verteilerschirm, der die direkte Strahlwirkung der eingeführten Warmluft vom Gut fernhält und auch ein Herabfallen von Malzkeimen in die Ventilatorausblasöffnung verhindert. Zur gleichmäßigen Verteilung der Luft hat sich ein Gitterrost oder eine Lochblechprallplatte auf der Ausblasöffnung des Ventilators bewährt.

Der *Ventilator*, meist ein Gehäuseventilator, muss, um die notwendigen Mengen an Trocknungsluft zu liefern, je nach der Höhe der Malzschicht Drücke von 60–200 mm erzeugen. Auch Heizregister, Kaloriferen usw. rufen zusätzliche Druckverluste hervor. Die Lüfter sind als Hochleistungsventilatoren ausgebildet; sie leisten für eine Prozesszeit von 20 h pro kWh 2500–3000 m^3 Luft. Bei hellem Malz wird eine Luftleistung von 4000–4800 (–5000) m^3/t Malz und pro Stunde benötigt, die dann während des Abdarrens auf 2300–2700 m^3/t zu drosseln ist. Diese Regulierung kann vorgenommen werden durch Drosseln des Frischluftschiebers, des Abluftschiebers oder durch Verminderung der Motorendrehzahl über einen Regulierwiderstand, mithilfe eines Repulsionsmotors oder neuerdings über einen Frequenzregler. Der unterschiedliche Luftbedarf der Darre bei Winter- und Sommerbetrieb kann auch durch die Wahl verschieden großer Keilriemenscheiben dargestellt werden. Verschiedentlich wird bei Darr-Neubauten je nach dem Beladerhythmus auch eine längere Schwelk- und Darrzeit vorgesehen. Bei 30–32 h Zyklus kann eine etwas stärkere Beladung von 500 kg Gerste als Grünmalz oder mehr gewählt werden. Die Ventilatorleistung beträgt 3200 m^3/(t h).

Von den Heizeinrichtungen für Darren sollen nur diejenigen für indirekte Beheizung besprochen werden. Die Anlagen für direkte Beheizung können aus den früheren Auflagen dieses Buches entnommen werden. Heute werden in den Mälzereien die für die Darren eigens neu entwickelten Wärmeerzeuger vorwiegend mit Industriebrennstoffen wie Heizöl, Erdgas und Flüssiggas beheizt.

Bei flüssigen Brennstoffen wird nach DIN 51603 vorwiegend Heizöl EL verwendet, das ohne Vorwärmung in Verdampfungs- oder Zerstäubungsbrennern verbrannt werden kann. Der Heizwert liegt bei Hi (ohne Einbeziehung der Kondensationswärme des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes) bei 42 700 kJ (10 200 kcal). Der Heizwert Hs dagegen gibt die Wärmemenge an, wenn der gesamte

Wasserdampf kondensiert. Er liegt dann bei Heizöl EL bei 45 400 kJ (10 845 kcal).

Die meist verwendeten gasförmigen Brennstoffe liegen in unterschiedlicher Qualität vor: Erdgas L hat Brennwerte Hi/Hs von 8,8/9,8 kWh/m^3 Gas, Erdgas H von 11,1/14,0 kWh/m^3 Gas. Das Flüssiggas weist Heizwerte von 34,4/37,4 kWh/m^3 oder 45 800/49 800 kJ/kg (10 940/11 900 kcal/kg) Gas auf. Erdgas und Flüssiggas sind sehr rein, während das früher angebotene Ferngas eine Reihe von Nebenprodukten wie Teer, Benzol, Ammoniak und Schwefel enthielt, die durch sorgfältige Aufbereitung entfernt werden mussten.

Bei der indirekten Beheizung werden nun die geschilderten Heizmaterialien in entsprechend dimensionierten Heizöfen mit großen Heizflächen verbrannt. An diesen erwärmt sich die Luft vor dem Ventilator. Die Temperatur im Feuerungsraum beträgt dabei ca. 750 °C. Das Abgas der Brenner (Rauchgas) wird anschließend in sog. Profilkassetten geführt, die in mehreren Abteilungen die Wärme an die senkrecht dazu im Gegenstrom vorbeistreichende Trocknungsluft abgeben. Die Heizfläche aus Edelstahl ist dabei so groß bemessen, dass die Rauchgase beim Schwelken bis auf unter 50 °C abgekühlt werden. Dabei kondensiert das im Brennstoff enthaltene Wasser. Die Kondensationswärme wird ebenfalls zum Anwärmen der Prozessluft genutzt und erhöht so die Verwertung des Brennstoffs, sodass meist angenähert mit dem Brennwert Hs des eingesetzten Heizmaterials gerechnet werden kann. Es ist damit möglich die Wirkungsgrade der früher direkt mit Gas beheizten Darren zu erreichen bzw. zu überbieten, da das im Gas enthaltene Wasser die Feuchte der Trocknungsluft etwas erhöhte, was sich vor allem bei den niedrigeren Wassergehalten des Schwelkmalzes am Ende des Trocknungsprozesses auswirkte.

Einfacher sind Heizsysteme, die von *Heißwasser* (ca. 110 °C zum Schwelken und 160 °C zum Darren) oder *Dampf* durchströmt werden. Zum Schwelken ist auch Abdampf mit 1,5–2 bar (Überdruck) verwendbar. Zum Darren sind allerdings höhere Dampfdrücke erforderlich.

Diese Einhordendarren haben sich in den verschiedensten Bauarten bewährt. Sie sind einfach zu bedienen; der Darrablauf kann durch Programme vollautomatisch gesteuert werden. Der Darrvorgang nimmt – bei hellem wie bei dunklem Malz – 18–21 h in Anspruch.

Der Kraftbedarf hängt stark von der Beladungshöhe ab, er ist bei direkter Beheizung geringer (25–40 kWh) als bei indirekter (33–48 kWh pro Tonne fertiges Malz). Der Wärmeverbrauch unterscheidet sich in ähnlicher Weise: Bei direkter Beheizung oder den oben geschilderten Heizöfen mit niedrigen Abgastemperaturen $3{,}35–4{,}40 \times 10^6$ kJ/t bzw. $0{,}8–1{,}05 \times 10^6$ kcal/t, bei indirekter Beheizung mittels Heißwasser oder Dampf (bedingt durch die Verluste der Dampfkessel) $4{,}0–4{,}6 \times 10^6$ kJ/t bzw. $0{,}95–1{,}1 \times 10^6$ kcal/t Fertigmalz.

1.6.2.2 *Zweihorden-Hochleistungsdarren:* Der Wunsch nach einer besseren Wärmeausnutzung der Darrabluft bzw. deren Energie direkt für die Schwelke verwenden zu können, führte zur Wiedereinführung von Mehrhordendarren, wie sie in Abschn. 1.6.2.6 geschildert sind, jedoch mit einer wesentlich höheren Beladung. Die Horden können nun übereinander oder nebeneinander angeordnet sein. Bei Letzteren handelt es sich um sog. „Luftumkehrdarren", d. h. das Gut verbleibt bei diesen die gesamte Schwelk- und Darrzeit auf derselben Horde, während bei den Zweihorden-Hochleistungsdarren am Ende des Schwelkens von der oberen auf die untere Horde umgeladen werden muss.

Bei diesen *Zweihordendarren mit übereinander angeordneten Horden* handelt es sich überwiegend um solche mit runden Horden, die entweder drehbar (Drehhorden) mit feststehender Be- und Entladevorrichtung oder stationär mit einer umlaufenden Be- und Entladeschnecke sind. Die spezifische Schüttung beträgt 350 kg Fertigmalz/m^2 (435 kg Gerste als Grünmalz); die Drehhorde wird über einen peripheren Zahnkranz mit Getriebemotoren bewegt. Die Luftführung geschieht wie folgt: Die Darrluft wird bei einer Konstruktion vom Frischluftkanal über einen Kreuzstromwärmetauscher (s. Abschn. 1.6.5.2) und den großflächigen Wärmetauscher (Heizofen) vom Darrventilator, der zwischen den Horden angeordnet ist, durch die Darrhorde gesaugt und von hieraus – ggf. unter Zusatz von leicht vorgewärmter Frischluft (Kreuzstromtauscher) – durch die Schwelkhorde gedrückt. Bei einer vorgesehenen Schwelk- und Darrzeit von jeweils 20 h hat der Ventilator eine Leistung von 3200 m^3/(t h) zu erbringen, wobei durch Frequenzregelung eine Reduzierung auf ca. 50 % wünschenswert ist. Der Wärmebedarf liegt – begünstigt durch den Kreuzstromtauscher bei $2{,}1–2{,}3 \times 10^6$ kJ/t (bzw. $0{,}5–0{,}55 \times 10^6$ kcal/t), der Kraftbedarf bei 45–50 kWh/t Fertigmalz.

Eine andere Konstruktion sieht den Einsatz von zwei Druckventilatoren vor: der erste drückt die erhitzte Luft durch die Darrhorde (Leistung bis 3000 m^3/(t h)), der zweite nimmt diese Luftmenge aus dem Raum über der unteren Horde an und drückt diese, verschnitten mit vorgewärmter Frischluft und über einen zweiten Wärmetauscher

zur Einstellung der Schwelktemperatur durch die Schwelkhorde (Leistung bis 3800 m^3/(t h)). Beide Ventilatoren sind stufenlos geregelt.

Die Beladung dieser Darren geschieht über einen mechanischen Grünmalztransport. Die Verteilung des Gutes wird von einer höhenverstellbaren Horizontalschnecke vorgenommen. Diese Vorrichtung besorgt auch das Abräumen des Schwelkmalzes auf die untere Horde, auf der eine identische Schnecke die gleiche Funktion erfüllt.

Die *Zweihordendarren mit nebeneinanderliegenden rechteckigen oder quadratischen Horden* sind als „Luftumkehrdarren" bekannt geworden, d. h. nach Beendigung des Darrprozesses wird die bisherige Darrhorde neu beladen und damit zur Schwelkhorde und die bisherige Schwelk- zur Darrhorde. Die vom Kreuzstromwärmetauscher vortemperierte Luft wird über den Darrlufterhitzer erwärmt und unter die Horde gedrückt. Die Lüfterleistung ist hier geringer ausgelegt als bei den vorgeschilderten Darren, da das Gut während des gesamten Schwelk- und Darrprozesses nicht bewegt und folglich die Schichtenbildung nicht gestört wird (1500 m^3/(t h)). Die Abluft aus der Darrhorde wird nun im Abluftschacht nach unten geführt und vom größer dimensionierten Schwelkventilator (2500 m^3/(t h)) aufgenommen. Um die zum Schwelkprozess erforderliche, größere Luftmenge bereitzustellen, gelangt vorgewärmte Frischluft (s. Abschn. 1.6.5.2) zur Zumischung. Beide Luftqualitäten werden nun in einem weiteren Wärmetauscher auf die gewünschte Schwelktemperatur gebracht. Beide Ventilatoren sind mittels Frequenzumformer stufenlos geregelt, was computergesteuert in Abhängigkeit vom Grünmalzwassergehalt, vom Schwelk- und Darrfortschritt und vom zu erzielenden Malztyp geschieht. Der Wärmeverbrauch liegt bei $2{,}1–2{,}3 \times 10^6$ kJ/t (0,5–0,55 kcal/t) Fertigmalz, der Kraftbedarf bei 30–35 kWh/t. Die spezifische Beladung liegt zwischen 330 und 400 kg Fertigmalz/m^2.

Das Beschicken und Entleeren der Horden geschieht durch eine heb- und senkbare Schnecke, die über der Horde mit regelbarer Geschwindigkeit vor- und zurückläuft. Die Grünmalzzufuhr erfolgt entweder mit einem Pendelrohr oder einer schwenkbaren Zuführschnecke. Das Abräumen wird entweder in eine längs oder quer der Laufrichtung angeordnete Schnecke (Trogkettenförderer) vorgenommen.

Der Gedanke, die ungesättigte Abluft einer Darre mit zum Schwelken einer zweiten Darre heranzuziehen, führte zur Konstruktion der „Triflex-Darre". Drei identische Einhordendarren mit jeweils eigenem Ventilator und unabhängigen Beheizungsanlagen verfügen je über einen Abluft- und einen Umluftkanal. Letzterer führt die ungesättigte Luft dem jeweils nächsten Schwelkvorgang zu. Es werden immer zwei der Horden mit Grünmalz gleichzeitig beladen; die eine Horde erhält 45 %, die andere 55 % der Menge. Die erstbeladene Darre A mit der geringeren Schüttung von 409 kg Gerste als Grünmalz bzw. 327 kg Darrmalz wird mit einem 20-stündigen Arbeitszyklus gefahren, wofür der Ventilator auf eine Leistung von 3500 m^3/(t h) ausgelegt ist. Die zweitbeladene Darre B wird mit 500 kg Gerste als GM bzw. 400 kg/m^2 Malz für eine Schwelk- und Darrzeit von 32–33 h beschickt. Nach 14 h ist in Darre A der Durchbruch erreicht und die auf 2/3 reduzierte Abluft wird, zusammen mit Frischluft auf die Schwelktemperatur erwärmt. Die Abluft der mittlerweile ebenfalls am Durchbruch angelangten Darre B wird auf die neu beladene Darre C (45 %) und die wiederbeladene Darre A zum Schwelken verteilt. Dieses Verfahren ist ebenfalls sehr sparsam, da stets nur feuchtigkeitsgesättigte Abluft entweicht. Der Wärmebedarf beläuft sich auf knapp $2{,}1 \times 10^6$ kJ/t (bzw. $0{,}5 \times 10^6$kcal/t), der Kraftbedarf auf 26 kWh/t Fertigmalz.

1.6.2.3 *Keimdarrkasten*: Hier haben sich im letzten Jahrzehnt eine Reihe von Konstruktionen eingeführt und bewährt. Hiervon sollen die zwei grundlegenden Bauformen eingehend besprochen werden.

Der *rechteckige Keimdarrkasten* entspricht in seinem Prinzip einem Keimkasten, der jedoch dem Transport der großen Darrluftmengen durch reichliche Bemessung der Luftführungskanäle, vor allem des Raums unter der Keimdarrhorde von 2,9–3,2 m Höhe Rechnung trägt. Die spezifische Beladung der 130–170 t großen Einheiten beträgt 500–630 kg/m^2. Der Baukörper ist aus Betonfertigbauteilen erstellt; den trotz entsprechender Isolierwirkung unweigerlich auftretenden Wärmespannungen tragen flexible Dichtungen Rechnung. Die Isolierung zwischen den Kästen wird durch Gasbetonelemente sichergestellt. Die Horde ist aus den bekannten verzinkten geschlitzten Blechen oder als Spaltsiebhorde gefertigt.

Der übliche Schneckenwender wird in der Regel nur während der Keimung, nicht aber beim Darren betätigt. Er dient auch dem Ausräumen des Darrmalzes. Nachdem aber die Presswirkung der stillgesetzten Wenderspiralen beim Transport des lockeren Darrmalzes nicht ausreicht, muss eine – meist dreiteilige – Klappschaufel vor dem Ausräumvorgang am Wender angeordnet werden.

Eine neuere Konstruktion bedient sich einer Querschnecke, die sich knapp über der Horde befindet. Die Saladin-Wenderschnecken dosieren das Malz drucklos und damit schonend dieser Schnecke zu. Der Keimabrieb bleibt hierbei gering, ebenso der Keimanfall unter der Horde. Das Gut wird in einen an der Längsseite des Kastens angeordneten Horizontalförderer (Schnecke, Redler, Förderband) geleitet. Die Dauer des Ausräumens entspricht der Wenderlaufzeit.

Die Belüftungseinrichtungen für die Keimung sind an der einen Stirnseite des Kastens installiert. Jeder von 3–6 Keimdarrkästen einer Anlage hat seinen eigenen Ventilator (600 m^3 Luft/(t h)), seine eigenen Luftkanäle sowie einen entsprechenden Kühler. Die Belüftungs- und Heizvorrichtung für das Darren befindet sich auf der entgegengesetzten Seite des Kastens. Diese Anlage ist – je nach Schwelk- und Darrzeit – in der Lage, 4–6 Einheiten zu versorgen. Die gegenüber spezifischen Einhordendarren hohe Beladung macht aus Gründen der Ventilatorbemessung und des Kraftaufwandes eine längere Schwelkzeit erforderlich. Normal wird eine Schwelk- und Darrzeit von 33 h veranschlagt, was eine Heizanlage für jeweils 4 Kästen notwendig macht. Die Leistung der meist gehäuselosen Ventilatoren beträgt 2500 m^3/(t h), der Kraftbedarf ist trotz der hohen Beladung nur bei ca. 40 kWh/t. Der Wärmeverbrauch liegt durchschnittlich bei $3,8 \times 10^6$ kJ/t (0,9 Mio. kcal/t) Malz.

Die Führung der Darrluft entspricht genau der bei Einhordendarren üblichen: Frischluftschacht, Rückluftkanal und Abluftöffnungen, die sich meist auf der entgegengesetzten Seite des Lufteintritts befinden. Die Verteilung der früher mittels direkter Gasbeheizung, heute durch entsprechende Heizöfen (s. Abschn. 1.6.2.1) erwärmten Luft auf den jeweils zu trocknenden Kasten geschieht über einen zentralen Kanal an der „Darrseite“ der Anlage durch dicht verschließbare, stark isolierte Tore oder Schleusen.

Eine Verkürzung des Darrabschnitts auf ca. 28 h, wie sie zum Zwecke einer besseren Ausnützung der Keimperiode getätigt wird, erfordert meist eine Forcierung des Schwelkens nach Luftdurchsatz und Temperaturführung. So wird die Ventilatorleistung auf ca. 3000 m^3/(t h) gesteigert, was aber eine Erhöhung des Kraftbedarfs nach sich zieht. Eine weitere Reduzierung des Schwelk- und Darrvorgangs – wie sie bei einem Anbau von weiteren Kasteneinheiten (bis zu 6) notwendig wird – erfordert eine tägliche Darrung, sodass dann der 24-h-Rhythmus einzuhalten ist. Hierfür müssen 3300–3700 m^3/(t h) für den Schwelkprozess veranschlagt werden. Die Notwendigkeit der Energieeinsparung hat zur Kopplung von jeweils zwei Keimdarrkästen geführt, wobei die Abluft des einen Kastens nach dem „Durchbruch“ zum Beheizen der Schwelkluft des nächstfolgenden dient. Hierfür ist eine entsprechende Rückluftführung, eine zweite Ventilatorgruppe sowie ein weiteres Heizsystem zum Erwärmen des Frischluft-Rückluftverschnitts für das Schwelken erforderlich. Die Gesamtschwelk- und -darrzeit beläuft sich je nach Einzelzyklus auf 2×24–28 h.

Während die vorgenannten Kästen von einer herkömmlichen Weichanlage oder über eine sog. „Waschschnecke“ beschickt werden, arbeitet ein anderer Typ des Keimdarrkastens mit 300 t Kapazität pro Einheit nach anderen Gesichtspunkten: Die 630 m^2 großen Kästen werden in 5 h „trocken“ über einen Redlerförderer mit Gerste beladen, das Gut eingeebnet und dann über eine am Wender angebrachte Sprühvorrichtung intensiv befeuchtet. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt dabei nur 0,2 m/min, die Wenderspiralen vermischen Wasser und Gerste mit hoher Drehzahl (42 U/min). Die Wasserzufuhr erfolgt dabei über eine Rinne längs der Kastenwand. Bei späteren Spritzungen läuft der Wenderwagen schneller, die Schnecken dagegen mit zunehmendem Gewächs langsamer. Die Befeuchtung ist sehr wirkungsvoll, wie der niedrige Gesamtwasserverbrauch von 0,9 m^3/t anzeigt, der nur 30–40 % über dem theoretischen Bedarf liegt. Die Belüftungsanlagen für das Keimgut (5 Ventilatoren mit insgesamt 600 m^3/(t h)) sichern über die ganze Länge des Kastens eine gute Luftverteilung. Ebenso sind für das Darren 6 Ventilatoren mit einer Luftleistung von insgesamt 3800 m^3/(t h) Malz in einem Maschinensaal für jeweils zwei Keimdarrkästen angeordnet. Die Beheizung geschieht über 6 gasbefeuerte Lufterhitzer. Das Abräumen des Malzes erfolgt in 5–6 h über eine Vorrichtung ähnlich dem System „Koch“, die über eine Schrägschnecke auf den Gerstenredler fördert. Die Produktionszeit in diesen großen Einheiten beträgt 2 Tage für das Weichen, 5 1/2–6 Tage für das Keimen und 1 1/2 Tage für das Darren. Ent- und Beladen nehmen zusammen einen Arbeitstag in Anspruch.

Runde Keimdarrkästen (s. Abschn. 1.5.3.3) wurden in ein- oder mehrstöckiger Bauweise eingesetzt. Sie wurden mittlerweile um der Energierückgewinnung bzw. der Energiekosten willen überhaupt in Keimkästen und meist (Rund-)Darren in Zweihordenanordnung getrennt. Interessant war bei diesen Keimdarrkästen, dass die Darrluft über einen zentralen Kanal über eine Reihe von isolierten, dicht verschließbaren Klappen unter die betreffende, zum Darren bestimmte Horde geführt wird. Die Luftwege sind z. B. bei Einheiten für 200 t Gerste als Grünmalz mit rund 8 m sehr kurz. Die Darr-

umluft wird über einen eigenen Kanal zurückgeführt. Ein zusätzlicher Kanal dient dazu, die feuchtigkeitsgesättigte Schwelk-Abluft zum Anwärmen eines frisch ausgeweichten Haufens zu verwenden.

Auf einem ähnlichen Prinzip beruht der nur einstöckige „Unimälzer", der jedoch auch die Darrluft von der Peripherie her erhält. Er wird in kleinen (3 t) wie in großen Einheiten (200 t) erstellt.

Die Keimung vollzieht sich in sämtlichen geschilderten Typen nach denselben Grundsätzen wie in der Saladin-Mälzerei. Wie schon erwähnt, kann nach ein- oder zweitägiger Weichzeit über eine Waschschnecke oder gar „trocken" eingelagert werden. Bei den beiden letzteren Gegebenheiten verlängert sich naturgemäß die Aufenthaltszeit im Keimdarrkasten. Am günstigsten ist es, nach einem Weichtag (21–26 h) mit ca. 38 % Wassergehalt auszuweichen und die Keimung in der vom vorhergehenden Darren gut angewärmten Atmosphäre des nunmehrigen Keimraumes in den folgenden 12–24 h abzuwarten und dann gezielt bis auf 45–47 % Feuchte aufzuspritzen (s. Abschn. 1.5.3.3). Nach den bekannten Grundsätzen gelingt es, innerhalb von rund 5 1/2 Tagen ein voll befriedigendes Grünmalz zu erzielen, sodass sich der Keimprozess gut mit der Darrzeit in einem Wochenrhythmus einfügen lässt. Bei Grünmalz aus „abgeschliffener" Gerste könnte sogar nach Maßgabe des Keimbildes früher mit dem Darren begonnen werden, wenn Darrkapazität „frei" ist. Das ist aber z. B. schon bei 5 Keimdarrkästen an einer Darreinheit nicht mehr der Fall.

Die „statischen" Mälzungssysteme wie die besprochenen Keimdarrkästen haben die Entwicklung zu Chargengrößen in Bereiche von 150–300 t Gerste ermöglicht. Der Wegfall des Grünmalztransports mit allen seinen Nachteilen ist sicher günstig, doch ist zu berücksichtigen, dass – mindestens bei den rechteckigen Einheiten – das Ausweichen und das Abräumen des Darrmalzes Zeit und Kosten erfordert. Ein Problem stellt auch die Beanspruchung des Gebäudes beim Darren und bei der folgenden Abkühlung z. B. beim Ausweichen dar. Die Keimung macht in diesen großen Einheiten keinerlei zusätzliche Überlegungen notwendig; die heutigen Erkenntnisse über die Keimungsparameter sind dann vom System unbeeinflusst, wenn die Einrichtungen gegeben sind, sie auch korrekt einzuhalten.

Keimdarrkästen können als logische Möglichkeit der schrittweisen Erweiterung einer vorhandenen, „abgerundeten" Mälzerei dienen, die ohnedies meist über eine übergroße Weichenkapazität verfügt. Der Anbau nur eines Keimdarrkastens erfordert natürlich die komplette Darrheizungs- und -lüftungsanlage, die ihre volle Wirtschaftlichkeit erst bei späteren Erweiterungen erreichen wird. Doch sind diese Mehraufwendungen sicher geringer als der Bau einer weiteren Einhordenhochleistungsdarre, die bei einer Erweiterung der vorhandenen klassischen Anlage ebenfalls zu erstellen wäre.

1.6.2.4 *Kontinuierliche Mälzungssysteme*: Nach den älteren kontinuierlichen Mälzereien kleinerer Kapazität, denen heute naturgemäß nur mehr eine entwicklungstechnische Bedeutung zukommt, konnte sich das System „Saturn" in einigen großen Einheiten einführen. Die letzte Ausführung hat eine Tageskapazität von 200–240 t Gerste. Sie besteht aus zwei Weichbehältern, einer äußeren Ringhorde für die Keimung und einer inneren für das Darren.

Die rechteckigen Weichen von 3 m Tiefe werden von einer Förderanlage mit regelbarer Geschwindigkeit (mittlere Leistung 10–12 t/h) beschickt, Wasser zugegeben und im Verlauf von 5–7 h mittels eines redlerartigen Förderers durch das 20 m lange Gefäß bewegt. Durch Pressluft wird ein Reinigungseffekt erzielt. Das Gut wird nun in das nächste Weichgefäß übergepumpt, das Wasser abgeschieden und durch frisches ersetzt. Hier wiederholt sich der Weichvorgang; nach weiteren 5–7 h wird auf die äußere Ringhorde, die Keimstraße, gepumpt, wobei das Wasser über ein Vibrationssieb abgetrennt wird. Die Horde hat eine Gesamtfläche von 1650 m^2 und ist in vier Segmente unterteilt. Hiervon sind die Abteilungen I und IV etwa halb so groß wie II und III. Die Ventilatorleistungen der beiden Ersteren liegen bei 300 m^3/(t h), die der beiden großen bei 700 m^3/(t h). Die Ringhorde wird durch hydraulische Schraubenwinden gedreht, die Dauer für einen Umgang kann – je nach Gersten- oder Malzqualität – zwischen 2 und 15 Tagen variiert werden, in der Praxis zwischen 6 und 7 Tagen. Die Luftkühlung erfolgt durch ein einstellbares Gemisch aus Frisch- und Rückluft, das durch Eiswasser auf die gewünschte Temperatur eingestellt wird. Über den gesamten Ring sind 7 feststehende Schneckenwender verteilt. Sprühdüsensegmente erlauben die schrittweise Erhöhung der Keimgutfeuchte.

Die Förderung des Grünmalzes geschieht über eine Schnecke in die benachbarte Darrabteilung. Diese umfasst im inneren Ring eine Fläche von 4600 m^2; in einer Drehung pro Tag können 350–450 kg Fertigmalz/m^2 gedarrt werden. Die Horde ist in vier Zonen (Temperaturbereiche) eingeteilt; ein zusätzlicher Abschnitt dient der Abkühlung des Malzes, in einem weiteren wird das Grünmalz aufgetragen. Die Darrzonen I und II sind größer bemessen als III und IV. In den ersten wird

geschwelkt (Lüfterleistung 250 000 m^3/h), in den beiden Letzteren wird mit reduzierter Luftmenge (100 000 m^3/h) zum Abdarren aufgeheizt und gedarrt. Die nicht mehr feuchtigkeitsgesättigte Abluft der Zone IV wird in die Schwelkzonen zurückgeführt. Dies ist auch nach Maßgabe der Feuchte der Abluft aus Zone III möglich.

Als Vorteile des Systems werden angesehen: Eine relativ geringe Kapazität der Förderanlagen von 8–10 t/h; die Bemessung der Ventilatoren und Luftkühler bzw. Lufterhitzer nach dem jeweiligen Keim- und Schwelkabschnitt; günstige Voraussetzungen für Energie- und Wassereinsparung; leichte Automatisierung der einzelnen Prozesse. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass große Partien einheitlicher Gerste zur Verfügung stehen müssen. Ein Wechsel der Malzqualität kann durch Variation der Keimungsparameter ausgeglichen werden. Einen Wechsel der Gerstenqualität z. B. von zwei- auf mehrzeilige Partien wird durch Beschleunigung der Umdrehungsgeschwindigkeit Rechnung getragen, wobei jedoch Übergänge anfallen.

1.6.2.5 *Kontinuierlich arbeitende Darren:* Der Wunsch nach einer weiteren Energieeinsparung und vor allem, bei Kraft-Wärme-Verbundbetrieb nach einem stets gleichmäßigen Wärmeverbrauch, führte in den 1980er Jahren zu einer neuerlichen Entwicklung von kontinuierlichen Darren. Es hat jedoch nur die *Vertikaldarre* von Lausmann überlebt, doch wurde auch sie nur in einem Exemplar gebaut.

Sie besteht aus 4 Schächten, die von der Trocknungsluft quer durchströmt werden. Im Gegensatz zu in Abschn. 1.6.2.6 geschilderten, chargenweise arbeitenden Vertikaldarre wird jedoch die Malzschicht immer nur in derselben Richtung von der Trocknungsluft durchströmt, d. h. die Abluft z. B. aus der auf 80–82 °C erwärmten Darrzone IV wird wieder zur Stirnseite des vorausgehenden Trocknungsabschnittes III umgelenkt, wo sie mit vorgewärmter Frischluft verschnitten auf die gewünschte Temperatur von 70–72 °C aufgeheizt und durch das Malz gedrückt wird. Die Abluft aus dieser Zone wird wiederum auf die Lufteintrittsseite der Schwelkzonen geführt, mit Frischluft verschnitten und in zwei Ströme, nämlich bei Zone II von 60–62° und bei Zone I von 50–55 °C aufgeteilt. Die Abluft aus diesen beiden verlässt die Darre in gesättigtem Zustand mit einer Mischtemperatur von 26–28 °C. Sie gibt ihren Wärmeinhalt in einem Kreuzstromwärmetauscher an die in die Darre eingezogene Frischluft ab. Das System arbeitet vollautomatisch, wobei die Steuergröße für den stündlich ca. 4× erfolgenden Ent- und Beladevorgang die Ablufttemperatur in der Zone III ist. Diese liegt einstellbar bei ca. 42 °C. Es bewegt sich also die Malzsäule alle 15–17 min. Der Austritt des Malzes wird, um Darrluftverluste zu vermeiden, über eine Schleuse in die Auskühlzone geleitet. Die Kühlluft aus derselben dient wiederum zum Vorwärmen der Darrluft. Das Grünmalz wird aus einem kühlbaren und mit einer heb- und senkbaren Horde sowie einem „Lausmann-Wender" versehenen Tageskasten auf die vier Hordenbereiche dosiert.

Die Darre hat vier Lufterhitzer, die, wie angeführt, auf ca. 80, 70, 60 und 50 °C (mit Variationsmöglichkeiten) eingestellt sind, die Luftmenge erhöht sich von ca. 1500 m^3/(t h) abschnittsweise durch jeweils zugespeiste vorgewärmte Frischluft bis auf rund 3000 m^3/(t h). Der Wärmebedarf liegt bei ca. $1{,}9 \times 10^6$ kJ/t ($0{,}45 \times 10^6$ kcal/t), der Energiebedarf bei 30 kWh/t. Die Anlage ist mit einem Blockheizkraftwerk kombiniert, wodurch der Wärmebedarf nochmals um 1/3 abgesenkt werden kann.

1.6.2.6 Die *„klassischen" Mehrhordendarren*, die bis in die 1940er Jahre hinein erbaut wurden, sind heute nur mehr vereinzelt anzutreffen. Sie sollen, um der Vollständigkeit willen noch kurz geschildert werden. Eine ausführliche Beschreibung ist noch in der vorausgehenden Auflage dieses Buches enthalten.

Diese Darren sind hohe, turmartige Bauten mit einem verhältnismäßig kleinen Querschnitt, in dem zwei oder drei Horden übereinander Anordnung finden.

Die Darrelemente von unten nach oben betrachtet sind:

Der *Heizapparat* bestehend aus einem Darrofen im sog. Schürraum, der ursprünglich der Verbrennung von Brennstoffen mittleren Heizwertes von ca. 20 000 kJ/kg (ca. 4700 kcal/kg) diente, später aber auch auf automatische Ölfeuerungen umgebaut wurde. Es sind aber auch schon Dampf- oder Heißwasserheizungen gegeben. Die durch die Verbrennung erzeugten Heizgase strömen durch einen mit Schamottesteinen ausgekleideten Kanal aufwärts in die Wärmekammer und werden dort in Heizrohre von rundem oder tropfenförmigem Querschnitt geleitet. Diese Heizfläche beträgt je nach der Leistung der Darre das 2- bis 8-Fache der Fläche einer Horde. Die Höhe dieser Wärmekammer ist für den natürlichen Zug der Darre von Bedeutung, da sie den Auftrieb der Luft mitbestimmt. Die Regulierung des Luftstromes geschieht bereits vor der Wärmekammer durch entsprechende Klappen („kalte" Züge).

Die Darren haben zwei oder drei Horden aus Profildraht; vereinzelt ist auch die untere Horde für speziell für dunkles Malz bestimmte Darren eine Lochblechhorde. Die Höhe der Hordenräume beträgt 2–3 m bei den unteren, bei der oberen Horde 4–8 m. Dieser letztere Raum ist flaschenförmig gestaltet und mündet in den 8–10 m hohen Dunstkamin, der von einem drehbaren, helmartigen Aufsatz abgedeckt wird. Um ein zu starkes Erwärmen der oberen Horde zu vermeiden, wird Kaltluft, die im Mauerwerk angewärmt wurde, zwischen die Horden geführt.

Der natürliche Zug der Darre ist naturgemäß von der Höhe der Beladung der oberen Horde sowie von der Beschaffenheit der Außenluft (Temperatur, Feuchte) abhängig. Damit war die Leistung der Darre schwankend. Dies wurde durch den Einbau von Ventilatoren bewirkt, entweder zur Sicherung einer gegebenen Kapazität oder aber zur Erhöhung der Leistung einer bestehenden Darre. Diese Ventilatoren haben, in Abhängigkeit vom Darrrhythmus (2×12 oder 2×24 h) regelbar eine Leistung von 1500–2000 $m^3/(t\,h)$. Der Kraftverbrauch beträgt 10–12 kWh/t.

Zwei- und Dreihordendarren verfügen über selbsttätige Wender. Auf der unteren Horde werden Schaufelwender zum Wenden, auf der oberen Horde solche mit Zinken zum Lockern des Gutes eingesetzt. Bei sehr hohen Beladungen ist die obere Horde mit Saladinwendern ausgestattet.

Die Merkmale der Mehrhordendarren sind:

- Darrfläche 10–200 m^2
- Beladung der oberen Horde 30–200 kg Gerste als Grünmalz
- bei hellem Malz ohne Ventilator 30–40 kg/m^2
- bei dunklem Malz ohne Ventilator 60–70 kg/m^2
- bei hellem Malz mit Ventilator 60–70 bis 200 kg/m^2
- Darrzeiten bei hellem Malz 2×12 bzw. 2×24 h; bei dunklem Malz 2×24 h,
- bei Dreihordendarren 3×12–3×16 h
- Wärmebedarf 5×10^6 kJ/t ($1{,}2 \times 10^6$ kcal/t), bei Dreihordendarren ca. 15 % weniger.

Eine interessante Konstruktion aus den 30er Jahren, die Vertikaldarre, ist in ihrer ursprünglichen Form, z. T. aber auch in neuen, verbesserten Ausführungen im östlichen Europa anzutreffen. Die senkrecht, paarweise angeordneten Horden sind in zwei oder drei Abschnitte (Zwei- oder Dreihordendarren) unterteilt. Um das bei Plandarren fälschlich als notwendig erachtete Wenden nachzuahmen, wurde die Luft durch entsprechende Klappen in bestimmten Zeitintervallen (z. B. stündlich) umgelenkt. Dies bedingte aber immer wieder die Befeuchtung von schon getrockneten Partien, die hierdurch eine gewisse Härte, „Darrglasigkeit“ erfuhren. Der Energiebedarf dieser, meist im 24 h-Takt arbeitenden Darren war nur wenig unter dem der zeitgenössischen Zweihorden-Plandarren.

1.6.3 Praxis des Darrens

Die *praktische Darrarbeit* bei hellem und dunklem Malz umfasst: Die Art und Weise der Temperatursteigerung in der Darre und im Malz, die Regulierung der durch die Darre geführten Luftmenge und deren Trocknungswirkung durch Variation der Ventilatorleistung, oder durch Anwendung von Frisch- und Rückluft, ferner das Wenden des Gutes in den verschiedenen Trockenstadien bei Mehrhordendarren.

1.6.3.1 Das *Darren des hellen Malzes auf der Einhordenhochleistungsdarre*: Helles Grünmalz hat bestimmte Eigenschaften, die aber heute je nach der angewandten Mälzungsmethode in weiten Grenzen schwanken können. So liegt der Wassergehalt zwischen 43 und 48 %, die Temperatur zwischen 12 und 20 °C. Wenn auch das helle Grünmalz gut und gleichmäßig gelöst sein soll, so ist doch seine proteolytische und cytolytische Lösung und auch die Ausbildung seines Enzympotenzials weniger weit gediehen wie beim dunklen.

Grundsätzlich muss der Wassergehalt des Grünmalzes möglichst rasch abgesenkt werden, um ein weiteres Wachstum des Kornes und eine weitere Tätigkeit der Enzyme im Interesse einer hellen Farbe zu verhindern. Grünmalz von ca. 43 % Feuchte gibt sein Wasser leicht ab, da es an seiner Oberfläche den gleichen Wasserdampfdruck besitzt wie eine offene Wasserfläche. Auch die im Innern des Kornes befindliche Feuchtigkeit bewegt sich durch Kapillarkräfte von Gebieten höherer Temperatur im Korninnern zu den durch Verdunstung freier Feuchtigkeit kühleren Zonen auf der Oberfläche. Erst unterhalb einer gewissen Grenzfeuchte von 13–14 % („kritischer“ Wassergehalt des Malzes, Hygroskopizitätspunkt) vollzieht sich die Abnahme des Wassergehaltes langsamer. Um nun das Dampfdruckgefälle zwischen Grünmalz und Trocknungsluft weiterhin im Sinne eines Trocknungseffektes zu erhöhen, muss das sich ausbildende Gleichgewicht verschoben werden, d. h. es ist als wirksame Maßnahme die Temperatur der Trocknungsluft zu erhöhen. Unterhalb eines Wassergehaltes von 10 % erfolgt eine weitere Verlangsamung des Wasserentzuges; bei 2 % dagegen wird ein stabiles Gleichgewicht erreicht, das nur mehr durch eine Wasserverdamp-

fung bei höheren Temperaturen als 100 °C verschoben werden kann.

Bei Einhordendarren vollzieht sich die Trocknung schichtweise von unten nach oben. Der hohe Luftdurchsatz bedingt durch den ausgeprägten Verdunstungseffekt eine starke Abkühlung des Grünmalzes, sodass das Trocknen mit wesentlich höheren Temperaturen beginnen kann als z. B. bei der früheren Zweihordendarre. Als Folge dieser raschen Trocknung kommt in den untersten Schichten das Wachstum des Keimlings bereits nach wenigen Stunden zum Erliegen. Die Enzyme wirken jedoch bis zu Feuchtigkeitsgehalten von ca. 10 % und Temperaturen von 70 °C weiter, sodass eine Anhäufung von niedermolekularen Abbauprodukten wie Zucker und Aminosäuren gegeben ist. In den oberen Schichten wächst der Keimling jedoch noch weiter, wozu er wiederum die Substanzen des Kohlenhydrat-, Eiweiß- und Lipid-Abbaus verwertet. Die hier ablaufenden Umsetzungen sind noch sehr kräftig, wie auch der Anstieg der Abbauprodukte in der Oberschichttrotz Aufbau im Keimling beweist. Mit der Verringerung der nachhaltig wirksamen optimalen Feuchtigkeit von 40–42 auf 10 % und dem Anstieg der Temperatur über 45 °C und in rascher Folge bis 65 °C sind ideale Reaktionstemperaturen für die verschiedenen Enzymgruppen gegeben, die zu einem weiteren Anstieg niedermolekularer Substanzen führen. Nach dem Mollier-h,x-Diagramm ist die Ablufttemperatur infolge der vollständigen Sättigung der Luft lange Zeit in einem Bereich von 22–30 °C, je nach Temperatur der Einströmluft. Erst wenn der Feuchtigkeitsgehalt der oberen Grünmalzschichten unter den Hygroskopizitätspunkt abgesunken ist, nimmt die Temperatur der Abluft rasch zu, die Feuchtigkeit ständig ab. Das Grün- bzw. Schwelkmalz der oberen Schicht ist somit um 10–12 h länger im Bereich von Temperaturen und Feuchtigkeitswerten, bei denen noch ein Wachstum bzw. eine enyzmatische Aktivität möglich ist, als das Malz der untersten Schicht. Dabei werden aber die Grenztemperaturen des Eiweiß- und Stärkeabbaues bei vorsichtiger Darrführung nicht überschritten. Infolge der hohen Luftgeschwindigkeiten und der beim Trocknen auftretenden Verdunstungskälte wird das Gut nämlich erst dann wärmer, wenn das Malz den Hygroskopizitätspunkt unterschritten hat.

Demzufolge haben die Malze aus der Oberschicht der Darre eine etwas günstigere Mehl-Schrot-Differenz, eine höhere Eiweißlösung und mehr niedermolekularen Stickstoff als die der unteren Schicht. Die Farbe ist trotz kürzerer Einwirkung der Abdarrtemperaturen infolge der Mehrung niedermolekularer Abbauprodukte in der oberen Schicht eher etwas dunkler als in der unteren.

Der Schwelkprozess wird im Temperaturbereich zwischen 45 und 65 °C, gemessen im Druckraum, bis zum Durchbruch durchgeführt. Höhere Anfangstemperaturen sind möglich, doch wird im Hinblick auf die Erhaltung des optimalen Volumens und der Mürbigkeit des Malzes im angegebenen Sinne verfahren. Die Temperatur von 65 °C wird so lange eingehalten, bis der „Durchbruch“ erreicht ist und die Ablufttemperatur nur mehr 20–25 °C unterhalb derjenigen des Druckraumes liegt. Der Ventilator läuft auf höchster Stufe, d. h. er fördert zwischen 4000 und 4800, bei Wiederweichmalzen bis zu 5500 m^3 Luft/t Malz und Stunde. Dieser Wert erfährt im Laufe des Schwelkprozesses eine Steigerung um ca. 10 %, da mit verringerter Feuchte der Widerstand der Grünmalzschicht abnimmt. Der Schwelkprozess dauert je nach Grünmalzfeuchte, Ventilatorleistung und Temperaturfolge 10–13 h.

Ein derart behandeltes Schwelkmalz wird niemals mehr ein typisches, aromatisches dunkles Malz geben. Der Charakter des hellen Malzes wird also bereits beim Schwelken festgelegt.

Ist der Durchbruch erreicht, so wird die Lüfterleistung verringert, um die Menge der Überschussluft zu beschränken und damit Strom und Wärme zu sparen. Die Reduzierung erfolgt stufenweise, bis auf etwa 50 % der Ausgangsleistung des Ventilators, also auf 2000–2700 m^3/(t h). Eine weitergehende Verminderung hat keinen Sinn, da sonst die Differenz zwischen den einzelnen Malzschichten zu groß und eine ungenügende Ausdarrung der obersten Schichten erfolgen würde. Das Aufheizen auf die Abdarrtemperatur geschieht nun in Stufen von jeweils 5 °C/h oder kontinuierlich in 2–3 h. Die Abdarrtemperatur wird, je nach der gewünschten Malzfarbe und der Intensität der Vortrocknung, 4–5 h lang zwischen 80 und 85 °C eingehalten. Bei sehr hellen Malzen kann auch eine Staffelung der Abdarrtemperatur z. B. 2 h bei 80 °C, 3 h bei 82 °C günstig sein. Dabei wird in Abhängigkeit von Abdarrtemperatur, Luftdurchsatz und Luftqualität ein Wassergehalt von 3,5–4,2 % erreicht. Die Temperatur der obersten Malzschicht ist bei der besprochenen Luftführung um 2–3 °C niedriger als in der untersten. Der Wassergehalt des Malzes ist jedoch nur um 0,2–0,4 % höher (s. folgende Tabelle).

Diese, ausschließlich mit Frischluft durchgeführte Darrweise dient der Herstellung heller Malze. Bei wenig färbenden Gersten oder Grünmalzen oder bei Malzfarben von 3,0–3,5 EBC-Einheiten kann die Ventilatorleistung bereits früher, bei etwa 75 % Abluftfeuchte bzw. einer Ablufttemperatur von 35 °C reduziert werden. Auch ist es beim

Stunden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
°C Druckraum	45	50	55	55	60	60	60	60	65	65
°C Abluft	20	22	23	23	24	24	26	29	33	37
% Feuchte. Abluft	100	100	100	100	100	100	85	70	55	42
Ventilator m^3/h	4400						4800			4900
Stunden	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
°C Druckraum	65	70	75	80	82	85	85	85	85	
°C Abluft	45	50	58	68	72	76	78	80	81	
% Feuchte, Abluft	31	23	15	12	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Ventilator m^3/h	3800	3200	2900	2500	2500	2200	2200	3000	3300	
Rückluftanteil %					25	50	50	75	75	

Ausdarren möglich, Rückluft mit zu verwenden, da diese zu Beginn der Ausdarrzeit eine relative Luftfeuchtigkeit von unter 15 % aufweist. In der Praxis erfolgt etwa eine Stunde nach Erreichen der Abdarrtemperatur das Zuspeisen von 25 %, nach einer weiteren Stunde von 50 % und in den letzten 2–3 h von 75 % Rückluft. Die Ventilatorleistung wird gleichzeitig wieder erhöht, auf ca. 80 % des Anfangswertes (im Beispiel 3300 $m^3/(t\,h)$). Dies erbringt eine bessere Angleichung der Temperaturen in den oberen und unteren Malzschichten.

Das Einhalten hoher Abdarrtemperaturen ist trotz eines unvermeidlichen Enzymverlustes aus Gründen der Hitzekoagulation hochmolekularer Stickstoffsubstanzen wünschenswert. Dieses zur Gerinnung gebrachte Eiweiß bereitet beim weiteren Werdegang keine Schwierigkeiten mehr, die Biere sind leichter zu filtrieren, verzeichnen eine bessere Eiweißstabilität und auch bessere Schaumhaltigkeit. Die geringsten Veränderungen der Malzfarbe bei hohen Abdarrtemperaturen sind dann gegeben, wenn das Grünmalz nur wenig reaktionsfähige niedermolekulare Stickstoff- und Stärkeabbauprodukte enthielt und die Trocknung bei Temperaturen von nicht über 60–65 °C bereits bis zum Durchbruch erfolgt war, bevor mit dem Aufheizen zum Abdarren begonnen wurde. Zu niedrig gedarrte Malze galten früher als nicht genügend „darrfest“: man vermutete eine stärkere Zufärbung beim späteren Brauprozess sowie instabile Biere. Die Zufärbung ist jedoch umso stärker, je mehr die Abdarrtemperaturen 82–83 °C übersteigen. Diese Erscheinung kann auf die weitere Reaktion von Vor- bzw. Zwischenstufen der Melanoidinbildung zurückgeführt werden. Eine Aussage über eine genügend intensive Ausdarrung liefert die Bestimmung des Dimethylsulfid-Vorläufers, der zwar von der Gerste bzw. vom Mälzungsverfahren, aber im Besonderen von der Abdarrphase beeinflusst ist.

Als Schwelk- und Darrzeit wurden ursprünglich ca. 19 h veranschlagt. Durch verbesserte Beladevorrichtungen (s. Abschn. 1.6.6.1) sowie durch einmaliges Entleeren der Kipphorde in eine genügend groß ausgelegte Gosse können die „Totzeiten“ so weit verkürzt werden, dass einschließlich einer wirkungsvollen Auskühlung des Darrmalzes durch Frischluft noch 21 1/2–22 h Prozesszeit verbleiben. Dies sind 10–15 % mehr, was sich in einer Rücknahme der Ventilatorleistung und damit in einer Energieersparnis äußert.

Diese, bisher als Qualitätsvorteil angesehene Arbeitsweise der schichtweisen Trocknung und Temperaturerhöhung wird im Hinblick auf den Lipidabbau und die Lipoxidation neuerdings kritisch beurteilt. So fördern die oberen Schichten des Trocknungsgutes das Entstehen von Produkten, die als Alterungssubstanzen im abgefüllten Bier dessen Geschmacksstabilität (s. Abschn. 7.6.5.5) verringern. So wurde versucht, durch Anwendung höherer Trocknungstemperaturen den Schwelkprozess zu beschleunigen. Durch Mischluft (s. Abschn. 1.6.3.1) sollten die Temperaturunterschiede zwischen unterer und oberer Schicht verringert werden Das Verfahren kann bessere Ergebnisse in Richtung Geschmacksstabilität erzielen, wenn nicht andererseits die Maillard-Produkte aufgrund verstärkter thermischer Belastung zunehmen.

Das *Darren des dunklen Malzes auf der Einhordendarre:* Die Darrarbeit ist beim dunklen Malz schwieriger und komplizierter als beim hellen, weil hier nicht nur ein Trocknungsprozess durchzuführen ist, sondern besondere Feuchtigkeits- und

Temperaturverhältnisse geschaffen werden müssen. Durch diese soll ein weiteres Wachstum und damit eine weitere Auflösung im Sinne der Bildung niedermolekularer Stickstoffsubstanzen und Zucker erfolgen, die dann beim Ausdarren zu einer natürlichen Aromatisierung und Färbung führt. Die Voraussetzung für ein charaktervolles dunkles Malz ist ein sehr gut und bis in die Spitzen gelöstes Grünmalz mit einem hohen Wassergehalt von 45–50 %. Beim Darren des dunklen Malzes wird der Wassergehalt des Grünmalzes nur langsam erniedrigt, um zu erreichen, dass die Enzyme noch weiter wirken und die gewünschten chemisch-biologischen Umsetzungen vor sich gehen.

In der Schwelkphase, die während der ersten 6–10 h abläuft, darf der Wassergehalt des Gutes von 45 % auf nicht unter 20 % fallen, wobei diese Feuchte nicht nur im Durchschnitt, sondern auch in der unteren Malzschicht gegeben sein soll. Nachdem zur Darstellung der gewünschten Abbaureaktionen eine Temperatur von 35–40 °C in der Malzschicht optimal ist, wird dieser Vorgang als „Brühen" oder „warmes Schwelken" bezeichnet. Hier wird im Gegensatz zum hellen Malz nicht mit Frischluft getrocknet, sondern mit einem Gemisch von Frisch- und Rückluft. Während bei Trocknung mit Frischluft infolge der auftretenden Verdunstungskälte eine große Temperaturdifferenz zwischen der eintretenden Luft und der Abluft gegeben ist, stellt sich bei Anwendung reiner Umluft eine annähernde Gleichheit zwischen der Lufttemperatur unter und über dem Malz und der Gutstemperatur ein. Bei Mischluft dagegen erfolgt in Abhängigkeit vom Verhältnis Frischluft:Umluft der Temperaturanstieg im Malz langsamer als bei reiner Umluft. Dies führt bei einer konstanten Einstellung beider Komponenten bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes zu einer laufenden Zustandsänderung der Eintrittsluft. Dieses Mischluftsystem ist weitgehend von den Außenluftverhältnissen unabhängig, es wird in seiner Wirkung lediglich durch den Anteil der Frischluft bestimmt. Während beim Schwelken des hellen Malzes die Wahl der Temperatur der Einströmluft so erfolgt, dass eine bestimmte Temperatur der Abluft nicht überschritten wird, so ist beim dunklen Malz sowohl die Temperatur der Luft unter als auch über der Horde maßgebend, um bestimmte Reaktionen zu erreichen.

Um nun beim Schwelken einen weiteren Stoffabbau und die Bildung niedermolekularer Substanzen zu erreichen, ist eine Schwelktemperatur im Gut von etwa 35–40 °C günstig. Diese stellt sich bei einem Verhältnis Frischluft : Rückluft = 20 : 80 % und bei einer Eintrittstemperatur von 50 °C ein. Dabei ist es nicht notwendig, die volle Ventilatorleistung in Anspruch zu nehmen, sondern nur etwa 70 % entsprechend 3000 m^3/(t h). Nach 4 h wird die Temperatur der Einströmluft auf 55 °C gehoben, um die Wirkung der Enzyme weiterzutreiben; bei gleichem Verhältnis der Mischluft ergibt sich eine Temperatur im Malz von ca. 40 °C. Am Ende dieser Periode verzeichnet die obere Malzschicht noch ihren ursprünglichen Wassergehalt; die untere liegt dagegen bei 20–25 %. Ein derart behandeltes Schwelkmalz wird sich nie mehr zu einem hellen Malz verarbeiten lassen. Die entstandenen Abbauprodukte sind der Farbe- und Aromabildung günstig.

In der nun folgenden Phase des Trocknens muss der Wassergehalt von durchschnittlich 35 auf rund 5 % abgesenkt werden. Hierfür stehen 6 h zur Verfügung, die zunächst mit reiner Frischluft von 60 °C bei voller Lüfterleistung erfolgt. Nach zwei Stunden ist es jedoch zweckmäßig, ein Intervall von einer Stunde bei 70 °C mit voller Umluft einzuschalten, um nochmals im Interesse einer kräftigen Enzymwirkung (α- und β-Amylase) einen Ausgleich des Wassergehaltes vorzunehmen, der auch in der untersten Malzschicht zu Beginn des Ausdarrens einen Wert aufweist, der für eine chemische Reaktion notwendig ist. Im Laufe der weiteren Trocknung werden Temperaturen von 80–95 °C eingehalten, wobei Letztere bereits wieder mit 80 % Frischluft und 20 % Rückluft einwirkt. Am Ende dieser Trocknungsphase ist der Feuchtigkeitsgehalt der Abluft auf etwa 10 % abgefallen.

In der sich nun anschließenden Periode des Röstens wird in 5 h bei zuerst 100, dann 105 °C die Bildung der färbenden und röstaromatischen Substanzen, der Melanoidine, erreicht.

Das lange Einhalten hoher Temperaturen ist notwendig, um auch die langsamer reagierenden Aminosäuren wie Valin und Leucin zur Wirkung zu bringen. Die Höhe der erforderlichen Temperatur ist nicht immer gleich: bei gut gelösten und während des Schwelkens sachgemäß behandelten Malzen tritt die gewünschte Färbung und Aromatisierung schon bei niedrigeren Temperaturen ein. Während des Ausdarrens erniedrigt sich der Wassergehalt des Malzes auf etwa 2 %. Um nun einen weitgehenden Temperaturausgleich in den verschiedenen Höhen der Malzschicht zu erreichen, wird der Anteil der Rückluft allmählich von 20 auf 80 % unter gleichzeitiger Drosselung der Frischluft gesteigert. Der Ventilator bleibt dabei auf voller Leistung. Durch diese Maßnahme erhält die Oberschicht des Malzes ebenfalls eine Temperatur von über 100 °C.

Trotz dieser raschen Anwärmung des Malzes und trotz des starken Wasserentzuges sind die

so behandelten Malze mürb und von gleichmäßiger Farbe und gutem Aroma. Die Verzuckerungszeiten der Kongressmaischen belaufen sich auf 15–30 min. Die Schädigung der Enzyme ist geringer als bei Zweihordendarren.

Mittelfarbige Malze („Wiener Typ“) weisen dasselbe Darrverfahren auf wie die hellen, doch empfiehlt es sich, bereits bei einer Ablufttemperatur von 35 °C (75 % relative Feuchte) langsam, d. h. um 5 °C/h, auf die Abdarrtemperatur zu heizen, die Ventilatorleistung schrittweise zu verringern und ab einer Ablufttemperatur von ca. 54 °C Rückluft zuzuspeisen und im Anteil von 20 % im Laufe von 4–5 h auf 80 % zu steigern. Die Abdarrtemperatur beträgt 90–95 °C; sie wird je nach der gewünschten Farbe (5–8 EBC-Einheiten) 3–4 h lang eingehalten.

1.6.3.2 Die Arbeitsweise der in Abschn. 1.6.2.2 erwähnten *Zweihordenhochleistungsdarre* mit übereinanderliegenden Horden ist bei netto 2 × 19 h Schwelk- und Darrzeit wie folgt: Die Abluft der unteren Horde ist gleichzeitig die Trocknungsluft der oberen Horde, wobei beide Horden von derselben Luftmenge durchströmt werden. Ein Nachhitzen der Schwelkluft ist nicht vorgesehen. Die Trocknungskapazität dieser Luft ist gegenüber dem reinen Frischluftbetrieb der Einhordendarre vermindert. Aus diesem Grund muss beim Schwelkvorgang unbedingt von der Grünmalzfeuchte bis auf einen Wassergehalt von maximal 10 % getrocknet werden. Es besteht sonst die Gefahr, dass die Entfeuchtung der folgenden Charge eine Verzögerung erfährt. Auch könnte die noch feuchte Oberschicht beim Abräumen in den Bereich zu hoher Temperaturen gelangen, was zu einer Enzymschädigung und zu einem Schrumpfen des Malzes führen würde.

Wie die Aufstellung zeigt, beginnt der Schwelkprozess auf der oberen Horde mit ca. 3800 m^3 Luft von 33 °C, die sich im Verlauf von 10–11 h bis auf 60 °C erwärmt und die infolge des Trocknungsfortschrittes auf der unteren Horde immer weniger Wasserdampf enthält. Nach ca. 14 h sind 65 °C Abluft-/Einströmlufttemperatur erreicht, die aber im Sinne einer schonenden Trocknung des Schwelkgutes nicht mehr überschritten werden sollen. Folglich wird dem Ventilator Frischluft (vom Kreuzstromtauscher vortemperiert) zugeführt, wodurch gleichzeitig der Luftdurchsatz auf der unteren Horde eine Verringerung erfährt. Bei Erreichen einer Ablufttemperatur von 30 °C wird die Ventilatorleistung stufenlos, bis auf ca. 2000 $m^3/(t\,h)$ (60 %) zurückreguliert. Die Abluft verlässt die Darre praktisch stets im gesättigten Zustand.

Beim Abräumen hat die untere Schicht des Schwelkmalzes 5,5–6,0 %, die Oberschicht noch 11–13 %; das Malz wird dabei durch die absenkbare Schnecke von oben auf die (abgekühlte) untere Horde transportiert und dort schichtweise verteilt. Theoretisch müsste also das kälteste und feuchteste Gut nach unten kommen, doch ist eine Vermischung – mindestens von benachbarten Schichten aus ca. 20 % der Schichthöhe – nicht auszuschließen.

Aus diesem Grund muss auch die Temperaturführung auf der unteren Horde sehr vorsichtig sein, um die noch feuchten Körner nicht zu schädigen. So wird eine Temperatur von 60 °C so lange eingehalten, bis über der Darrhorde ca. 54 °C erreicht sind; erst dann erfolgt eine Anhebung auf 65 °C, die wiederum bis auf ein gewisses Δt eingehalten werden, im vorliegenden Falle von 2–3 °C. Das Aufheizen auf die Abdarrtemperatur von 80 °C geschieht stufenlos in rund 4 h, die Abdarrung liegt bei 4–5 h bei 80–82 °C. Mit dem Erreichen der obenerwähnten Austrittstemperatur der Schwelkluft von 30 °C wird die Ventilatorleistung gedrosselt.

Diese Arbeitsweise hat sich bewährt. Neuere Konstruktionen verzeichnen noch etwas geringere Ent- und Beladezeiten, sodass 2 × 20–21 h Prozesszeit möglich sind. Die erzielten Malze haben sehr helle Malz- und Kochfarben, eine sehr gute Mürbigkeit und niedrige DMS-Gehalte. Eine Nachlösung auf der oberen Horde ist wohl gegeben, doch sind die Unterschiede zwischen Ober- und Unterschicht des Schwelkmalzes gering.

1.6.3.3 Die Arbeitsweise der in Abschn. 1.6.2.2 erwähnten *Zweihordendarren nach dem Luftumkehrsystem* ist dadurch unterschieden, dass das Malz über die gesamte Schwelk- und Darrzeit unbewegt bleibt. Außerdem wird die Abluft nach dem „Durchbruch“ nicht nur voll verwertet, sondern sie wird durch Frischluft ergänzt und das Gemisch durch ein zweites Heizregister auf eine Schwelktemperatur von 45–50 °C angehoben. Es stehen nunmehr rund 22 h für die Schwelke zur Verfügung. Bei einer Ventilatorleistung, die auf 2500 $m^3/(t\,h)$ ausgelegt ist, die aber frequenzgesteuert je nach Grünmalzwassergehalt und Trocknungsfortschritt (Δt unter/über Horde) meist nicht voll beansprucht wird, steigt die Temperatur stufenlos bis auf 60 °C, wobei die Ablufttemperatur nicht über 30 °C gelangt, wodurch noch volle Sättigung der Abluft gegeben ist. Der Wassergehalt des Malzes am Ende dieser Zeit beträgt unten 6.5, oben 12–14 %. Anschließend wird nach Abräumen der Darr- und deren Wiederbeladung als

Temperaturen der Zweihordenhochleistungsdarre

Stunden			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Luft	Eintritt Unterhorde	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	65
	Austritt Unterhorde	°C	33	35	37	41	45	47	52	54	57	59
	Austritt Oberhorde	°C	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Stunden			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Luft	Eintritt Unterhorde	°C	65	65	70	72	78	80	80	80	80	
	Austritt Unterhorde	°C	61	63	64	65[a)]	65	65	65	65	65	
	Austritt Oberhorde	°C	28	28	29	30[b)]	30	30	30	30	30	

a) Ab hier Frischluft (über Kreuzstromtauscher vorgewärmt) zudosiert, um 65 °C nicht zu überschreiten.
b) Ab 30 °C Ablufttemperatur schrittweises Zurückschalten der Ventilatordrehzahlen.

Die Temperaturen in den vier Trocknungszonen der Vertikaldarre sind:

Zone	IV		III		II	I	
	Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Eintritt	Eintritt	Austritt
		A E		A E			A E
Lufttemperatur °C	80	75–79	70	37–42[a)]	60	50	26–29
Luftmenge $m^3/(t\,h)$	1500		2250		3000		

a) Temperatur einstellbar zum Auslösen des Ent- und Beladevorgangs.

Schwelkhorde, die Trocknung unter langsamem Temperaturanstieg auf 65 °C und ca. 1500 $m^3/(t\,h)$ fortgesetzt. Diese Abluft wird bereits wieder zum Schwelken verwendet. In der Folge wird bis auf Abdarrtemperatur von 80 °C aufgeheizt, die sogar stufenlos bis auf 85–86 °C erhöht wird. Die Ventilatorleistung wird wiederum durch die Temperaturdifferenz unter/über der Darrhorde stufenlos reguliert. Auch hohe Abdarrtemperaturen verursachen keinen höheren Energiebedarf, da ja die Abluft für die Schwelke voll verwertet werden kann.

Die Bedenken, dass das lange Verweilen des Schwelkmalzes z. B. in der oberen Schicht zu einer Überlösung desselben und zu großen Unterschieden zwischen „oben" und „unten" führen könnte, haben sich nicht bestätigt. Wohl verbesserte sich die Cytolyse gegenüber der verglichenen Einhordendarre im Besonderen in der Oberschicht, doch nahmen weder der lösliche noch der Aminostickstoff in der Oberschicht zu, da diese offenbar wieder zum Aufbau von Keimlingsgewebe verbraucht wurden. Die Farben und Kochfarben unterschieden sich nur wenig, ebenso die DMS-Gehalte.

Die in Abschn. 1.6.3.1 genannten Bedenken wegen eines verstärkten Lipidmetabolismus in den oberen Schichten des (unbewegten) Trocknungsgutes werden auch hier geltend gemacht.

1.6.3.4 Die *Triflex-Darre* in Abschn. 1.6.2.2 beruht auf demselben Prinzip der Luftführung, doch wird – wie schon erwähnt – jeweils eine Horde mit 45 %, die andere mit 55 % der Grünmalzmenge beladen. Hierdurch und durch den höheren Lufteinsatz ist bei der ersteren Horde bei gleicher Temperaturfolge von 55–80 °C nur ein Zyklus von 19 h erforderlich. Bei der stärker beladenen Horde dauert schon allein der Schwelkvorgang 19–20 h, der gesamte Zyklus 30–31 h. Dabei steht immer Darrabluft aus einer der drei Horden für den gesamten Schwelkvorgang zur Verfügung. Bei den vorerwähnten, geringen Unterschieden zwischen den kürzer oder länger geschwelkten Malzen haben sich auch hier keine Probleme ergeben.

1.6.3.5 Die *Vertikaldarre* wird von einem voll klimatisierten Tageskasten aus beschickt.

Die Schwelkphase ist nach der vorstehenden Tabelle unterteilt in jeweils einen 50 °C- und einen 60 °C-Bereich (s. S. 80).

Die Abluft wird zusammen abgeführt. In Zone III, bei einer Einströmtemperatur von ca. 70 °C erfolgt der Durchbruch bei ca. 42 °C, wobei – ausgelöst durch das Erreichen dieses Wertes das Gut um eine Spanne weiter durch die Darre wandert. Diese Temperatur stellt eine Mischung der durch das Gut in diesem Bereich streichenden Luft dar. Diese ist im oberen, am Abschnitt II angrenzenden Teil ca. 33 °C, im untersten vor Abschnitt IV ca. 65 °C. Höhere Abdarrtemperaturen als 80 °C sind möglich, doch muss dann die Temperaturdifferenz zwischen den einzelnen Zonen gleichmäßig größer gewählt werden. Die Darre arbeitet, da die Luftströme das Gut stets in derselben Richtung durchwandern, einwandfrei. Die Unterschiede zwischen der Luft-Eintritts- und Austritts-Seite sind vernachlässigbar. Dagegen können sich bei der Verarbeitung des „Tageskastens" naturgemäß durch die 24-stündige Spanne gewisse Differenzen in den Lösungswerten der allerersten und der letzten Charge dann ergeben, wenn das Gut nicht insgesamt kalt gehalten oder während dieser Zeit nicht stark abgekühlt wird. Im Darrmalz-Silo gleichen sich die Unterschiede bei entsprechender Mischung ohne Weiteres aus. Die Analysendaten sind denen in einer parallel gefahrenen Einhordendarre gleich.

Eine derartige kontinuierliche Darre ist für die Verarbeitung einer täglich relativ konstanten Malzmenge günstig; Sonder- und Spezialmalze sind wegen schwieriger Übergänge – wie bei jedem kontinuierlichen System – durch konventionelle Darren abzudecken.

Ein Problem ist, dass die Zone I immer im Bereich von 50 °C Eintritts- und 26–27 °C Austrittstemperatur der Trocknungsluft verbleibt. Dies führt zu günstigen Bedingungen für die Vermehrung von Mikroorganismen, wie Schimmelpilzen, Bakterien und Hefen. Es ist deshalb erforderlich, diese „Feuchtraumatmosphäre" periodisch zu reinigen. Es muss die Zone 1 abschließbar sein, damit sie leer gefahren und mit Hochdruckspritzen gereinigt werden kann.

1.6.3.6 Die *Arbeitsweise der Keimdarrkästen*: Sie unterscheidet sich von der Einhordenhochleistungsdarre im Prinzip nicht, doch erfordert die höhere Schicht des Trocknungsgutes (um 30–60 % mehr) trotz gleicher Lüfterleistung pro m^2 Hordenfläche eine längere Trocknungsphase (s. Abschn. 1.6.2.5). Durch die stärkere Belegung ergibt sich nur ein Luftdurchsatz von 2500–3500 $m^3/(t\,h)$, um einen zu hohen Kraftbedarf zu vermeiden. Damit verlängert sich der Schwelkprozess und dauert je nach Ventilatorleistung 16–24 h. Unter Annahme der letzteren Zeit hat sich folgendes Arbeitsschema eingeführt:

Schwelken 4 h 50 °C; 4 h 55 °C; 10 h 60 °C; *x* h 65 °C, d. h. bis auf eine Ablufttemperatur von ca. 32 °C. Aufheizen in 4 h von 65 auf 80 °C, Ausdarren 5 h 80–85 °C. Damit ergibt sich eine Gesamtdauer von Schwelken und Darren von 31–33 h. Bei einer Ablufttemperatur von 40 °C setzt die Drehzahlregulierung ein; die Differenz zur Temperatur im Druckraum beträgt zu jener Zeit noch 30 °C. Bei einer Ablufttemperatur von 52 °C, also schon vor Beginn des Ausdarrens, wird die Umluftklappe geöffnet; der Rückluftanteil gegen Ende der Darrzeit beträgt 50–70 %.

Bei den rechteckigen Keimdarrkästen von 40–50 m Länge sind zu Beginn des Schwelkens, d. h. beim Umstellen von Keim- auf Schwelkbetrieb, Temperaturdifferenzen unter der Horde zwischen der Seite des Darrlufteintritts und dem entgegengesetzten Ende festzustellen, bis der Baukörper gleichmäßig aufgewärmt ist. Dies ist nach 4–5 h Schwelkzeit der Fall. Bei querbelüfteten Kästen oder bei runden Einheiten bestehen diese anfänglichen Differenzen nicht.

Trotz der „Phasenverschiebung" beim Schwelken der verschiedenen Malzschichten ergeben sich keine bedeutsamen Unterschiede in den Analysen der von oben oder unten entnommenen Malze. Die Isolierung der Gebäude ist so wirkungsvoll, dass beim Abdarren des einen Kastens die angrenzende Wand des anderen nur eine Temperaturerhöhung um 2 °C zeigt. Die Luftgegebenheiten dieses Keimkastens bleiben völlig unbeeinflusst. Nach dem Abdarren soll das Abkühlen des Darrgutes, vor allem um der unvermeidlichen Wärmespannungen im Gebäude willen, langsam geschehen: dies kann nach Abschalten der Heizung mit Rückluft bis auf ca. 60 °C getätigt werden; erst anschließend findet Frischluft zur weiteren Abkühlung des Malzes Anwendung.

Der Keimkastenwender wird während des Schwelkens und Darrens nicht betätigt. Es ist lediglich notwendig, ihn am Ende des Schwelkprozesses einmal um die Breite des „Aufwurfs" weiter zu bewegen, um bisher dort unvollkommen beaufschlagte Zonen der Trocknung zugänglich zu machen.

Eine Koppelung von zwei Keimdarrkästen dergestalt, dass die Abluft des bereits am Ende des Schwelkens, d. h. beim Durchbruch befindlichen Kastens zum Erwärmen der Schwelkluft des nachfolgenden Kastens verwendet wird, bedient sich der

gleichen Grundsätze wie die besprochenen Zweihordendarren. Zu erwähnen ist, dass bei einer Schwelk- und Darrzeit von je 24–28 h das Gut trotz der hohen spezifischen Schüttung keine Überlösung der oberen Schichten erfährt, da die zweifellos durch die Enzymwirkung anfallenden Abbauprodukte wieder in den Keimlingen aufgebaut werden. Doch wirken sich die langen Prozesszeiten bei den gegenüber der Keimung erhöhten Temperaturen einer Verbesserung der Cytolyse und in einer entsprechenden Verringerung des β-Glucangehaltes aus.

1.6.3.7 Die Arbeitsweise der „klassischen" Zweihordendarren (s. Abschn. 1.6.2.6) soll nur ganz knapp geschildert werden; im Übrigen sei auf frühere Ausgaben dieses Buches verwiesen.

Beim *hellen Malz* kann eine rasche Entwässerung bei diesen Darren, besonders bei natürlichem Zug nur dann erreicht werden, wenn das Gut dünn (ca. 35 kg/m^2) aufgetragen wird. Bei Ventilatorbetrieb kann die Belegung das Doppelte betragen.

Der Schwelkprozess auf der oberen Horde verläuft in zwei Stufen:

1. Eine Entwässerung von 45 auf 30 % bei einer Temperatur der Einströmluft (d. h. unter der oberen Horde) von 35–40 °C.
2. Eine Entwässerung von 30 auf 10 % bei einer Temperatur von 40–50 °C (ebenfalls unter der oberen Horde gemessen).

Dieser nach 12 h (auch bei 2 × 24stündiger Darrweise) erreichte Wassergehalt ist erkenntlich am Abfallen der Keime und am „Durchtreten" auf der oberen Horde.

Auf der unteren Horde wird dem Malz weiter Wasser entzogen, bis auf einen Gehalt von 3,5–4 %. Die Temperaturen liegen zunächst bei 50–60 °C unter der Horde, wobei mit Rücksicht auf das Schwelken des auf die obere Horde frisch aufgetragenen Grünmalzes der volle, verfügbare Luftstrom angewendet wird. Nach schrittweisem Anheben der Temperatur auf 70 °C und zwei- bis dreistündiger Rast wird in zwei bis drei Stunden auf die Abdarrtemperatur von 80–85 °C aufgeheizt und diese 3–5 h (gemessen im Malz, ca. 1 cm über der Horde) gehalten. Durch Zwischenzüge wird die Temperatur über der unteren Horde auf einen, dem Schwelkmalz zuträglichen Wert abgesenkt. Das Wenden auf der Schwelkhorde wird nur zur gleichmäßigen Verteilung des geladenen Grünmalzes, aber keinesfalls während des Trocknungsprozesses getätigt, da das hierdurch unerlässliche wechselweise Trocknen und Wiederbefeuchten des Malzes ein Schrumpfen desselben zur Folge hätte. Auch auf der unteren Horde ist das Wenden – mindestens bis zu Beginn des Aufheizens auf die Abdarrtemperaturen – nicht erforderlich, anschließend wird bis zum Erreichen derselben stündlich und beim Abdarren dauernd gewendet. Aus arbeitstechnischen Gründen wird die 2 × 24stündige Arbeitsweise bevorzugt, wobei u. U. nach dem Erreichen einer Schwelkfeuchte von ca. 10–12 % der Ventilator entweder deutlich reduziert oder ganz abgeschaltet wird.

Das *Darren des dunklen Malzes* wurde früher durch das Schwelken auf dem luftigen Schwelkboden, einem freien Platz vor oder über der Darre, ergänzt. Hier blieb das Malz ein oder zwei Tage bei kalten Temperaturen liegen und erfuhr dort eine weitere Verbesserung seiner Auflösung.

Aus arbeitstechnischen und Platzgründen wurde diese Verfahrensweise verlassen; der gesamte Schwelkprozess wird auf der Darre durchgeführt, die ursprünglich für dunkles Malz eigens konstruiert war.

Der Schwelkprozess auf der Zweihordendarre vollzieht sich in drei Stufen:

1. Absenken des Wassergehaltes von ca. 45 % auf 20–25 % innerhalb von 12–14 h und einer Temperatur von 40 °C. Der Zug soll nur schwach sein; es wird alle zwei Stunden gewendet, um die Entfeuchtung zu verzögern.
2. Beibehalten eines Wassergehaltes von 20–25 %, bei Temperaturen von 50–60 °C erfolgen intensive Abbauvorgänge. Der Schritt dauert ca. 10 h, die Züge sind gedrosselt bzw. geschlossen, der Wender läuft stündlich.
3. Auf der unteren Horde: in 12 h Absenken des Wassergehaltes von 20–25 % auf ca. 10 %, Temperatur 50–55 °C, Zug wie bei 1), Wenden alle zwei Stunden.

Der Schwelkprozess dauert also insgesamt 36 h.

Das Aufheizen zur Abdarrtemperatur nimmt 6–7 h in Anspruch und entwässert das Malz auf 5–6 %. Die Züge sind geschlossen. Das Abdarren bei 102–105 °C dauert ca. 5 h. Die Temperatur zwischen den Horden darf 70–75 °C nicht überschreiten. Der Wender läuft halbstündig, bei größeren Darren dauernd. In der Darre kommt es zu einer Temperaturschichtung, der sog. „gespannten" Hitze.

Das resultierende dunkle Malz ist infolge der unvermeidlichen Temperaturunterschiede im System weniger homogen als das mit der Einhordendarre hergestellte. Die Farben wurden zur Vermeidung brenzliger Aromanoten nicht gern über 12–15 EBC-Einheiten angestrebt. Die gewünschte Farbe des dunklen Bieres von z. B.

50 EBC-Einheiten wird durch einen Röstmalzzusatz von ca. 1 % zur Schüttung eingestellt.

1.6.4 Kontrolle und Automatisierung der Darrarbeit – Pflege der Darren

1.6.4.1 Die *Überwachungsmaßnahmen* erstrecken sich bei den Einhorden-Hochleistungsdarren und Keimdarrkästen auf folgende Daten, die von Schreibern aufgezeichnet werden: Temperatur im Druckraum, Temperatur über der Horde, evtl. Malztemperaturen an verschiedenen Stellen, Ventilatorleistung (in % der maximalen), Stellung der Rückluftklappe, bei Zweihordendarren und deren Weiterentwicklung die Lufttemperatur zwischen den Horden, Anteil der beigemischten Frischluft, Eintrittsluft in die Schwelkhorde, Leistung des Schwelkventilators usw. Auch die Daten des Kreuzstromtauschers sind zu erfassen.

Bei Inbetriebnahme der Darre, bei Änderung des Darrverfahrens, bei Kontrollen im laufenden Betrieb werden auf jeden Fall die Malztemperaturen an verschiedenen Stellen, in verschiedenen Höhen, die Abnahme des Wassergehaltes und deren Gleichmäßigkeit ebenso erfasst wie Wassergehalt, Farbe, Verzuckerungszeit, evtl. sogar weiterführende Analysen der obersten und untersten Malzschichten. Mittels Anemometern kann der Luftdurchsatz in den verschiedenen Stadien, die Verteilung der Frisch- und Rückluftströme sowie die Gleichmäßigkeit der Beladung der Darre kontrolliert werden. Auch die Abdichtung des beweglichen Teils von Kipphorden ist so zu prüfen. Weiterhin ist bei jeder Darre eine tägliche Erfassung von Wärme- und Kraftverbrauch notwendig.

1.6.4.2 *Automatisierung der Darrarbeit:* Die Messwerte, Temperatur im Druckraum, Temperatur der Abluft, seltener die Feuchte der Abluft dienen als Impulsgeber für einen automatischen Ablauf des Darrprozesses. So kann z. B. der nach einem bestimmten Programm gesteuerte Schwelkprozess bei dessen Endtemperatur so lange angehalten werden, bis eine bestimmte, einstellbare Ablufttemperatur erreicht ist. Erst dann setzt das programmierte Aufheizen zur Abdarrtemperatur ein. Nach Erreichen weiterer, wählbarer Werte der Ablufttemperatur treten Regulierung der Ventilatorleistung, Zumischen von Rückluft und die Begrenzung der Darrzeit in Funktion.

Bei modernen, rechnergesteuerten Darren wird die Grünmalzfeuchte eingegeben, das Temperaturprogramm sowie die gewünschte Schwelkdauer bis zum Durchbruch. Hiernach sowie nach dem Trocknungsfortschritt wird die frequenzgeregelte Ventilatordrehzahl festgelegt; beim Durchbruch die Bereitstellung der „Umluft“ für die frisch beladene Darre sowie das Umschalten auf den Darrventilator. Alle oben genannten Daten werden in Diagrammform dargestellt und können ausgedruckt werden.

1.6.4.3 Die Pflege und Instandhaltung der Darre betrifft die Teile der Feuerung bzw. der Wärmeübertragung, den Ventilator, die Horden, die Schieber und die Mess-, Schalt- und Regeleinrichtungen.

1.6.5 Maßnahmen zur Energieeinsparung

1.6.5.1 Der *Wärmeaufwand beim Darren* liegt bei direkt beheizten Einhordenhochleistungsdarren im Jahresdurchschnitt bei ca. 4×10^6 kJ/t (0,95 Mio. kcal/t) Fertigmalz (s. Abschn. 1.6.2.1). Der Kraftbedarf beträgt dabei ca. 32 kWh/t.

Um nun den Energie-Verbrauch, der einen beachtlichen Teil der Mälzungskosten ausmachen kann, zu verringern, wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen. Etliche erwiesen sich nicht als praktikabel wie z. B. die Entfeuchtung der Trocknungsluft mittels Lithiumchlorid-Trocknern, der Einsatz vom Wärmepumpen oder Herstellung von Malzen mit höheren Wassergehalten z. B. durch Verkürzung der Abdarrzeit oder durch vorzeitige Verwendung von Rückluft nach dem Durchbruch. Hier befriedigte aber häufig der Charakter der Malze (und Biere) nicht, wie auch die DMS-Gehalte Probleme bereiteten.

1.6.5.2 *Wärmeeinsparung durch Vorwärmen der Einströmluft.* Dies kann durch Anordnung des *luftgekühlten Kondensators der Kälteanlage* im Ansaugschacht der Darre geschehen. Der Luftdurchsatz desselben sollte 60–80 % des Darrluftbedarfs betragen, doch müssen beide, d. h. Kondensator und Darre, unabhängig voneinander betrieben werden können. Die mögliche Einsparung beträgt 8–12 % des Wärmebedarfs, der Stromverbrauch der Gesamtanlage nimmt um 10 % zu. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Kälteanlage während der kalten Jahreszeit u. U. nicht betrieben wird.

Kreuzstromaustauscher (aus Glasplatten oder Glasröhren) werden im Abluftschacht der Darre angeordnet. Hierdurch wird die Einströmluft angewärmt und so eine Wärmerückgewinnung von durchschnittlich 30–33 % erzielt. Der Wirkungsgrad des Austauschers liegt beim Schwelken im Bereich von ca. 80 %, beim Aufheizen zum Abdarren bei ca. 70 %. Bei einem luftseitigen Widerstand von 15 mmWS beträgt der Mehrverbrauch an Strom rund 10 % des vom Darrventilator aufgenomme-

nen. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass sich Abluft und Frischluft nicht unkontrolliert vermischen können.

Dieser Mehrverbrauch ist auch dann gegeben, wenn der Wärmeübertrager im Sommer nur mehr geringe Einsparungen erbringt.

Eine jährlich zweimalige Reinigung ist erforderlich. Hierbei sind durch eine Sichtkontrolle auch Beschädigungen wie zerbrochene Glasröhren oder Undichtigkeiten aller Art zu erfassen und zu beheben. Diese können, je nach Abwärmequelle u. U. sogar Abgase in die Prozessluft (Nitrosaminbildung!) einbringen.

Wärmetauscher mit Wärmeträger (z. B. Glycol) sind jeweils an der Luftaustritts- und Lufteintrittsöffnung angebracht. Zwischen diesen wird Glycol in isolierten Leitungen umgepumpt. Die Ersparnisse sind etwas geringer als die des Kreuzstromtauschers, entsprechend den Wirkungsgraden der jeweiligen Austauscher. Auch muss der Stromverbrauch der Pumpe in Betracht gezogen werden. Auch diese Anlage konnte sich bei entsprechenden Gegebenheiten (Darrkonstruktion, Statik usw.) einführen.

1.6.5.3 *Die Verwendung von Mischluft beim Darren* ist bei Außentemperaturen von unter 20 °C möglich: es wird so viel Rückluft zur Frischluft dosiert, dass sich eine Lufteintrittstemperatur von 20 °C und bei einer Druckraumtemperatur von 60 °C ein Wert der Abluft von 30 °C ergibt. Die Mischluftdosierung, die über die Steuerung der Klappen automatisiert werden kann, erbringt im Jahresmittel eine Ersparnis von ca. 6,5 %. Sie ist mit Vorteil in Kombination mit dem Kreuzstromtauscher anwendbar (s. oben).

1.6.5.4 *Isolierung der Darre:* Die Abstrahlungsverluste freistehender Darren können je nach Fläche, Beladungshöhe und Witterungsbedingungen 8–12 % bei kleinen und 4–6 % bei großen Darren ausmachen.

1.6.5.5 Der Einsatz von *Zweihorden-Hochleistungsdarren* mit über- oder nebeneinanderliegenden Horden (z. B. auch Luftumkehrdarren) erbringt eine völlige Ausnutzung der Darr-Abluft nach dem Durchbruch. Aus diesem Grunde spielt auch die Höhe der Abdarrtemperatur und die Intensität der Ausdarrung einergiewirtschaftlich keine Rolle mehr. Die Energieersparnis beträgt einschließlich der vom Kreuzstrom-Wärmetauscher erzielten 45 %. Dieselbe Einsparung kann auch von der Triflex- oder von der kontinuierlichen Vertikaldarre erwartet werden.

1.6.5.6 *Wärmepumpen:* Die Wärmepumpenanlage besteht in ihrer ursprünglichen Ausführung aus einem im Abluftkanal der Darre installierten Verdampfer, der Wärmepumpe und einem im Luftaustrittskanal angeordneten Verflüssiger. Die Kompressionswärmepumpe wird von einem Elektromotor oder einem Gas-Ottomotor angetrieben. Die Motoren- und Abgaswärme desselben kann in einen Wärmespeicher abgegeben werden, der wiederum zur Beheizung der Darre bereitsteht. Die dem Luftzutritt in die Darre vorgeschalteten Wärmetauscher erhöhen durch den Luftwiderstand den Stromverbrauch der Darre um 8,75 kWh/t Fertigmalz, der Betrieb der Kompressionswärmepumpe erfordert 80 kWh/t Malz. Die Einsparung an Wärme wurde mit 40 % angegeben. Die Kombination einer Kompressionswärmepumpe mit einem Blockheizkraftwerk ist neuester Stand der Technik. Hierbei erwärmen die Kondensatoren der Wärmepumpe die vom Kreuzstrom-Wärmeübertrager bereits vorgewärmte Frischluft auf ein höheres Energiepotenzial. Das Blockheizkraftwerk erzeugt Strom, wobei die Abwärme wiederum der Erwärmung der Darrluft dient. Die beiden Anlagen arbeiten also gegenläufig und sichern sich bei stark abweichenden Energiepreisen für Strom und Gas gegenseitig ab.

1.6.6 Die Nebenarbeiten beim Darren

Sie umfassen das Beladen und Entleeren der Horde.

1.6.6.1 Das *Beladen* erfolgt von der mechanischen oder pneumatischen Grünmalzförderung aus durch ein System von Schnecken- oder Redlerförderern, die ihrerseits unter geringstmöglichem Arbeitsaufwand auf schwenkbare Rohre arbeiten. Auch Schleuderbandförderer finden Anwendung. Wichtig vor allem bei wenderlosen Darren ist, dass das Grünmalz überall gleich hoch und gleich dicht liegt, da sonst die Belüftung ungleich wird.

Neue selbsttätig arbeitende Einrichtungen führen das Grünmalz von oben einer schwenkbaren, horizontal verschiebbaren Transportschnecke zu, die das Gut solange nach außen fördert, bis ein Niveautaster anspricht, der dann einen Schwenkschritt einleitet. Die Anlage gestattet ein völlig ebenes, gleichmäßiges und sehr lockeres Auftragen des Grünmalzes.

1.6.6.2 Das *Abräumen* des Malzes geschieht durch Kraftschaufeln oder am besten und einfachsten durch Kipphorden, aber auch mittels der oben erwähnten Darrbeladeanlagen, deren Horizontal-

schnecken das Malz zu einem an der Darr-Breitseite angeordneten Redler fördern.

1.6.7 Die Behandlung des Malzes nach dem Darren

Dieser Abschnitt erstreckt sich auf die Vorgänge des Abkühlens und Entkeimens des Malzes.

1.6.7.1 Das *Abkühlen* kann auf der Einhordenhochleistungsdarre durch eine etwa 30 min währende Lüftung mit ungewärmter Luft geschehen. Bei Keimdarrkästen sind die in Abschn. 1.6.3.6 erwähnten Voraussetzungen zu berücksichtigen. Bei Mehrhordendarren ist dies nicht möglich. Bei kleineren Darren kühlt das Malz in der Gosse und beim nachfolgenden Entkeimungs- und Putzvorgang genügend rasch ab, bei größeren Darren muss durch einen besonderen Kühlrumpf für eine entsprechende Absenkung der Malztemperatur gesorgt werden. Es kann sonst eine Schädigung der Enzyme, eine merkliche Zufärbung und eine Geschmacksverschlechterung des Bieres eintreten. Wohl kühlt das Malz auf dem Wege zur Putzerei und durch den Entkeimungsvorgang selbst etwas ab, doch ist bei Anlagen hoher Leistung oftmals noch eine Malztemperatur von 35 °C gegeben. Bei dieser Temperatur darf es nicht sofort eingelagert werden, da in Silos sonst keine weitere Abkühlung der großen Körnermasse erfolgt. Es ist beim Einlagern eine Temperatur von 20–25 °C anzustreben.

1.6.7.2 Das *Entkeimen* muss bald im Anschluss an das Abräumen der Darre erfolgen, da die hygroskopischen Malzkeime sehr rasch Wasser anziehen und dann nicht mehr restlos entfernt werden können. Eine unzulängliche Entkeimung ist zu beanstanden, da die Keime zufärbend wirken, einen bitteren Geschmack vermitteln und zu einer raschen Wasseraufnahme des Malzes Anlass geben.

Die Entkeimung geschieht in besonderen Malzentkeimungsmaschinen, langsam sich drehenden Siebtrommeln, in denen sich ein Schlägerwerk mit höherer Geschwindigkeit dreht und so die Keime abreibt, ohne jedoch das Malz zu beschädigen. Die Keime fallen durch die Siebtrommel in eine Schnecke, die entweder in eine Absackschnecke oder in einen Malzkeimsilo führt. Durch eine kräftige Belüftung des auslaufenden Malzes gelingt es, leichte Verunreinigungen abzuscheiden. Einhordenhochleistungsdarren verursachen im Vergleich zu den Mehrhordendarren mit Wender weniger Keimabrieb. Es muss also die Entkeimungsmaschine eine höhere Leistung haben oder durch eine Vorentkeimungsschnecke entlastet werden.

Für große Leistungen haben sich Entkeimungsschnecken bewährt. Sie bestehen aus einem Schneckentrog aus geschlitztem Blech, in dem sich eine Schnecke entsprechender Steigung dreht. Durch die Reibung Korn an Korn brechen die Malzkeime ab und fallen durch die Schlitze des Troges in einen über die gesamte Schneckenlänge reichenden konischen Rumpf, der entweder in eine Reihe von Absackstutzen, in eine Transportschnecke oder in eine pneumatische Keimabscheidung mündet.

Eine derartige pneumatische Anlage trennt entweder das von einer Entkeimungsschnecke behandelte Gemisch aus Malz und Keimen oder es ist in den Förderweg eine Abriebstrecke eingebaut, die ein Abbrechen der Keime bewirkt. Nach diesem mit Querriffeln versehenen, schlangenförmigen Weg wird in einem großen Separator (s. Abschn. 1.2.3.6) das schwerere Malz von den leichteren Malzkeimen getrennt; in einem weiteren Zyklon erfolgt dann die Separierung der Malzkeime. Von hier aus wird die Luft u. U. durch einen Schlauchfilter gereinigt. Die Anlage hat den Vorteil der hohen Leistung und der Staubfreiheit.

Die Malzkeime, ein wertvolles Abfallprodukt der Mälzerei, betragen 3–5 % des Gesamtgewichts. Infolge ihres hohen Eiweißgehalts von etwa 24 % sind sie ein begehrtes Futtermittel, das auch gemahlen oder pelettiert in den Handel kommt.

1.6.7.3 *Polieren*: Unmittelbar vor dem Verkauf oder vor dem Verbrauen wird das Malz noch „poliert". Hierunter ist die Entfernung etwa noch anhaftender Wurzeln, abstehender Spelzenteile oder von Staub zu verstehen. Das Malz wird hierdurch ausbeutereicher, erhält ein schöneres Aussehen und einen reineren Geschmack. Die Poliermaschinen gleichen den Entkeimungsapparaten; meist ist anstelle des Schlägerwerks ein System von Bürsten eingebaut. Auch Vibrationssiebe werden verwendet. Ein zu scharfes Polieren ist zu vermeiden, weswegen die Poliermaschinen verschieden scharf einstellbar sind. Der Polierabfall kann je nach der Art der angewandten Maschinen und der Länge der Förderwege zwischen 0,5 und 1,5 % betragen. Er enthält stets Malzgrieße, die in speziellen Grießgewinnungsanlagen zurückgeführt werden. Das Polieren hat eine besondere Bedeutung, wenn eine Malzsteuer erhoben wird.

1.6.8 Die Lagerung und Aufbewahrung des Malzes

Vor dem Verbrauen soll eine gewisse Lagerzeit eingehalten werden. Frisch abgedarrte, nicht gelagerte Malze ergeben trübe oder opalisierende Wür-

zen, Abläuter- und Gärschwierigkeiten und beeinflussen damit Aussehen, Geschmack und Schäumvermögen des Bieres. Bei Verarbeitung zu junger Malze wird auf einen Teil jener Enzyme verzichtet, die ihre Wärmestarre bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht überwunden haben.

Durch sinnvolles Lagern erfolgt eine geringfügige, allmähliche Wasseraufnahme, die Kolloide der Eiweiß- und Gummistoffe gewinnen ihr Hydratationswasser zurück.

Durch die Wasseraufnahme verlieren Spelzen und Mehlkörper ihre Sprödigkeit; das Malz lässt sich günstiger verschroten. Mit zunehmendem Wassergehalt setzt wiederum eine gewisse Atmung unter Bildung von Kohlendioxid und Wasserdampf ein. Unterlöste oder sehr hoch abgedarrte Malze werden durch die Lagerung besser: sie geben mehr Ausbeute und zeigen günstigere Verarbeitungsmerkmale. Bei normal oder gut gelösten Malzen ruft eine Lagerzeit von 6 Monaten bei 25 °C keine nachteilige Veränderung der Analysendaten des Malzes, seiner Verarbeitung und der Qualität der hieraus hergestellten Biere hervor. Selbst weniger stark gedarrte, mit einem Wassergehalt von über 5 % eingelagerte Malze blieben unbeeinflusst. Lagertemperaturen von 30–35 °C sind jedoch vor allem bei Malzen höheren Wassergehalts der Malzfarbe abträglich.

Während der Lagerung des Malzes nimmt die Lipoxygenasenaktivität ab. Sie fällt nach 110 Tagen bei niedrigen Lagertemperaturen von 7 °C um 30–40 %, bei höheren von 23 °C sogar um 60–70 %. Ein festgestellter Anstieg der Mono-, Di- und Trihydroxyfettsäuren wirkt sich auf die Eigenschaften des Bieres nicht aus.

Die sachgemäße Lagerung des dunklen Malzes, d. h. eine Lagerung ohne Anstieg des Wassergehalts ruft kaum eine Veränderung der „konventionellen" Analysendaten hervor. Auch die flüchtigen Malzaromastoffe wie Aldehyde, Ketone, Alkohole, Ester, Lactone, Furane bleiben – ebenso wie die Stickstoff-Heterocyclen – im Rahmen der Abweichungen zwischen zwei Darrchargen konstant. Auch die Würzen und Biere waren analytisch und geschmacklich gleich. Die Geschmacksstabilität von Bieren aus abgelagerten, dunklen Malzen war eher etwas besser. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu früheren Erfahrungen; es ist anzunehmen, dass die früher getesteten dunklen Malze einen erhöhten Wassergehalt aufwiesen und so ihre Eigenschaften eine Veränderung erfahren hatten.

Bei der Malzlagerung von 6 Monaten bei 20 °C veränderten sich die Hydroxysäuren nicht signifikant, während Di- und Trihydroxysäuren eine, z. T. merkliche Zunahme erfuhren. Es hatten aber diese Veränderungen keinen Einfluss auf den Geschmack weder der frischen noch der gealterten Biere.

Wie die ältere Literatur – vor allem aus den Kriegs- und Nachkriegsjahren – zeigt, ist eine jahrelange Lagerung bei Wassergehalten von ca. 10 % schädlich für die Eigenschaften des Malzes; hierzu kommen auch noch mögliche Auswirkungen von Schädlingsbefall.

Es soll demnach die Malzlagerung eine übermäßige Wasseraufnahme vermeiden. Die Oberfläche des lagernden Malzes soll daher möglichst gering sein.

Die Malzlagerung kann auf Böden, in Kästen oder in Silos erfolgen.

1.6.8.1 Die *Bodenlagerung*, verschiedentlich noch in kleinen Betrieben anzutreffen, ist ungünstig, da diese Form der Flächenlagerung stets eine starke Wasseraufnahme herbeiführt. Auch ist die Gefahr von Schädlingsbefall groß. Eine gewisse, wenn auch nicht wirkungsvolle Abhilfe ist das Abdecken des Malzes mit Planen oder Kunststofffolien.

1.6.8.2 Die Lagerung in *Malzkästen* ist günstiger, da hier die Malzoberfläche kleiner wird. Bei entsprechenden statischen Voraussetzungen lagert das Malz 3–4 m hoch. Hölzerne Malzkästen sollen möglichst wenige Fugen aufweisen, verschiedentlich sind sie mit Blech ausgeschlagen. Das vollständige Entleeren von Malzkästen, das mindestens viermal jährlich erfolgen soll, ist meist nicht ohne Handarbeit zu vollführen.

1.6.8.3 Die *Silolagerung*, als die einzig zweckmäßige und geeignete, bietet den Vorteil der Unterbringung großer Malzmengen auf kleiner Grundfläche, der Trockenheit und der einwandfreien Schädlingsbekämpfung. Die Silos werden aus Stahlbeton oder Stahlblech, manchmal auch aus Profilelementen hergestellt. Stahlbetonsilos haben den Vorteil geringer Wärmeleitfähigkeit, sie sind aber schwer und ortsfest. Nach der Erstellung müssen sie unbedingt genügend lange abbinden und trocknen, um eine Schädigung des Malzes zu vermeiden. Stahlsilos aus Stahlringen von entsprechendem Durchmesser, miteinander verschraubt oder aus Profilelementen gefertigt, bieten den Vorteil der raschen Aufstellung, der sofortigen Benützbarkeit, eines verhältnismäßig geringen Gewichts und der Möglichkeit einer Wiederentfernung. Die Gefahr der Kondenswasserbildung ist bei einem so trockenen Lagerprodukt wie Malz in unseren Breiten ausgeschlossen. Die Größe der Silos soll so bemessen sein, dass einheitliche Malzpartien nach Farbe, Auflösung und Provenienz für sich gelagert werden

können. Zum gleichmäßigen Verschnitt verschiedener Malze werden häufig eigene Mischzellen verwendet. Es sind dies Silozellen kleineren Fassungsvermögens (50–150 t), die eine genaue Dosierung des zum Verkauf oder zum Verbrauen kommenden Malzes erlauben. Die Dosierung geschieht durch entsprechend einstellbare Schieber oder durch eigene Mess- und Mischapparate, die eine beliebige prozentuale Einstellung der den verschiedenen Zellen entnommenen Malze ermöglichen. Um eine Entmischung und Sortierung des Malzes beim Füllen großer Silozellen zu verhindern, werden Streuteller oder -glocken angewendet. Zur gleichmäßigen Entleerung dienen sog. Dennystutzen oder mehrere Ausläufe. Malzbruch ist normal bei Silolagerung nicht zu befürchten. Extrem stark gelöste Malze mit einer durch Husaren-Wachstum aufgebrochenen Spelze gehen leichter zu Bruch bzw. sie liefern viel Abrieb.

Die Dauer der Lagerung soll mindestens 4 Wochen betragen. Wird das Malz kühl und trocken in den Silo eingebracht, so steht auch einer langen Aufbewahrungszeit von 1–2 Jahren nichts entgegen.

Malze, die zu viel Wasser angezogen haben, können zum Zwecke einer besseren Schrotung nachgedarrt werden. Hierbei wird wohl überschüssiges Wasser entfernt, aber die Wirkung der während der Lagerung erfolgten Enzymtätigkeit nicht mehr aufgehoben. Im Allgemeinen hat diese Maßnahme wenig Wert.

Bei Malzen, die aus ungleich keimenden Gersten hergestellt wurden, kann eine Spezialbehandlung zur Abscheidung von Steinmalz zweckmäßig sein. Diese Ausleseapparate trennen das Malz nach seiner Schwere, wodurch gut gelöstes und infolgedessen leichteres Malz von schlecht gelöstem schwerem Malz geschieden wird. Die dazu benützten *Auslesetische,* auch „Aschenbrödel" genannt, sind bei sachgemäßer Bedienung und Einstellung von einwandfreier Funktion. Ihre Leistung beträgt bis zu 2 t/h.

Entsteinungsapparate, die auf der Wirkung mit Luft durchströmter, vibrierender, ansteigender Siebe aufbauen, können neben der Abscheidung von Steinen bei entsprechender Einstellung auch zur Aussortierung von Glasmalz verwendet werden. Die Leistung beträgt bis zu 6 t/h (s. Abschn. 1.2.3.4).

1.7 Der Malzschwand

Die beim Weichen, Keimen und Darren vor sich gehenden Änderungen der Gerste bringen es mit sich, dass die Volumen- und Gewichtsverhältnisse der entstehenden Produkte (Weichgut, Grünmalz, Darrmalz) andere sind als bei der Gerste. Es ergeben sich (siehe Tabelle).

	I. aus 100 hl Gerste		II. aus 100 kg Gerste
Eingeweichte Gerste	100 hl	(16 % Wasser)	100 kg
Ausgeweichte Gerste	145 hl	(45 % Wasser)	155 kg
Grünmalz	220 hl	(48 % Wasser)	147 kg
Darrmalz	118 hl	(3,5 % Wasser)	78 kg
Gelagertes Malz	120 hl	(4,5 % Wasser)	79 kg

Der Raumbedarf der Zwischenprodukte ist für die Bemessung von Räumen und Apparaten wichtig.

Das Hauptinteresse beansprucht die Ermittlung, welche Gewichtsmenge Malz aus einer bestimmten Menge Gerste (100 kg) erhalten wird. Die Malzmenge ist um den Malzschwand geringer als die verwendete Gewichtsmenge an Gerste. Er wird erst von der Einweichgerste ab gerechnet. Verluste durch Putzen, Sortieren und durch die Lagerung werden nicht berücksichtigt, da nur geputzte Gerste zum Vermälzen kommt.

Die eingeweichte Gerste hat einen Wassergehalt von 12–18 %, das gewonnene Malz einen solchen von 2–4 %. Der aus diesen Zahlen ermittelte Schwand ist der „lufttrockene Schwand". Er liegt zwischen 16 und 25 % und schwankt, abgesehen von den Stoffverlusten bei der Keimung, in weiten Grenzen durch den unterschiedlichen Wassergehalt der Gersten und Malze. Er ist für die Wirtschaftlichkeit der Malzerzeugung von Bedeutung.

Der Verlust durch die Verminderung des Wassergehaltes ist gegeben durch den Unterschied des Wassergehaltes der Gerste und des daraus hergestellten Malzes. Er ist zahlenmäßig bedeutend und beläuft sich auf 10–16 %.

Um die wirklichen Verluste beim Mälzen darstellen zu können – die Verringerung des Wassergehaltes ist nur ein scheinbarer Verlust –, wird der *wasserfreie Schwand* ermittelt. Er wird errechnet aus den auf die Trockensubstanz zurückgeführten Gewichten von Gerste und Malz. Der wasserfreie Schwand bewegt sich zwischen 5 und 12 %. Bei konventioneller Mälzung kann ein Wert von 8–10 % angenommen werden.

Ohne Berücksichtigung der Substanzverluste bei der Lagerung wird der Gesamttrockenschwand in drei Teilschwände unterteilt. In den Weichschwand (ca. 1 %), in den Atmungsschwand (ca. 5,2 %) und in

den Keimschwand (ca. 3,8 %). Daraus ergibt sich ein Gesamtschwand von 10 %.

Der Malzschwand kann in den einzelnen Herstellungsstadien sehr unterschiedlich sein.

1.7.1 Der Weichschwand

Er wird bedingt durch Auslaugen von anorganischen und organischen Substanzen aus den Gerstenspelzen. Die Schwimmgerste zählt nicht zum Malzschwand, da sie getrocknet und verkauft wird. Eine lange Wasserweiche, evtl. mit intensiver Wäsche wird eine stärkere Auslaugung hervorrufen als eine Weichmethode mit nur kurzen Wasserweichperioden. Dafür können bei der sog. „Pneumatischen Weiche" schon Atmungsverluste von 0,5–1 % der Trockensubstanz auftreten, die jedoch erst beim fertigen Malz erkennbar werden.

Der Ersatz des Weichens durch Waschschnecken oder gar durch eine Sprühweiche im Keimkasten (s. Abschn. 1.3.4) hat natürlich geringere „Weichverluste" im Gefolge. Verunreinigungen, so sie nicht schon durch eine verbesserte Gerstenreinigung entfernt wurden, fallen dann zum Teil als Abrieb bei der Entstaubung der Malzentkeimung an.

1.7.2 Atmungs- und Keimschwand

In der Regel werden beide getrennt ausgewiesen, sie werden aber durch dieselben Mälzungsbedingungen beeinflusst.

Der *Atmungsschwand* beträgt 4–8 %. Er entsteht durch Veratmung von Stärke und Fett zu CO_2 und Wasser. Er kann nicht unter ein bestimmtes Maß gedrückt werden.

Der *Keimschwand* liegt bei konventionellen Mälzungsverfahren zwischen 3 und 5 %.

Beide hängen ab von den herrschenden Keimbedingungen. Sie fallen bereits beim Weichen (je nach Verfahren), bei der Keimung und selbst noch auf der Darre an.

Der Gesamtschwand ist abhängig:

a) Vom Feuchtigkeitsniveau, bei dem die Keimung durchgeführt wird. Je höher dieses ist, umso stärker atmet das Korn, umso mehr Keime werden gebildet.
b) Von der Temperatur der Haufenführung. Je höher diese ist, umso höher der Schwand.
c) Von der Zusammensetzung der Haufenluft. Je mehr CO_2 im Haufen gegeben ist, umso geringer werden Atmung und Wachstum.
d) Vom Charakter des zu erzeugenden Malzes. Mit zunehmender Auflösung und längerer Keimdauer nehmen die Schwandverluste zu. Dunkle Malze verursachen stets mehr Schwand als helle.

Zur Herabsetzung der Schwandfaktoren sind mehrere Möglichkeiten vorhanden:

1.7.2.1 Die *Verkürzung der Keimdauer*: Das Malz wird nicht bis zur völligen Auflösung geführt, sondern die Keimung früher abgebrochen. Die so erhaltenen „Spitz"- oder „Kurz"-Malze, können in den verschiedensten Variationen hergestellt werden. Auf diese Weise lässt sich der Schwand je nach der Keimdauer um 2–5 % absenken. Je kürzer das Malz gewachsen war, umso mehr bleibt der ursprüngliche Gerstencharakter erhalten. Spitzmalz stellt eine Art Rohfrucht dar, die nur in einem Anteil von 10–15 % zur Schüttung verarbeitet werden kann. Bei Einsatz von Kurzmalzen werden besondere Maischverfahren erforderlich sein. Verschiedentlich wird die Verwendung derartiger Malze zur Verbesserung der Schaumeigenschaften eines Bieres erwogen. Während der Erfolg in dieser Richtung fraglich ist und von einer Reihe von Faktoren abhängt, ist aber andererseits eine Verschlechterung des Biergeschmackes und der Geschmacksstabilität gegeben.

1.7.2.2 *Die Anwendung von Kohlensäure in der Haufenluft.* Durch Verringerung der Atmung des Kornes wird auch dessen Gewächs eingeschränkt. Je nach Zeitdauer der CO_2-Einwirkung und der angewendeten Menge kann die Schwandersparnis zwischen 1 und 2,5 % betragen, Letztere aber nur im Falle der CO_2-Rastmälzerei. Derart hergestellte Malze besitzen eine geringere Enzymkapazität, die Auflösung ist weniger weit fortgeschritten als bei Normalmalzen.

1.7.2.3 Das *Wiederweichverfahren* erbringt eine echte Schwandersparnis, ohne dass die Malzqualität leidet. Seine konsequente Durchführung vermittelt hauptsächlich eine Verringerung des Keimschwandes durch die Inaktivierung des Wurzelkeimes bei der Wiederweiche auf 1–1,5 %. Es wird jedoch auch die Atmung eingeschränkt (auf 4–4,5 %), sodass damit Schwandwerte von 5–6 % erreicht werden. Die Weiterführung der Methode durch eine Wiederweiche in warmem Wasser (30 bis 40 °C) kann noch zusätzliche Ersparnisse erbringen; dieses letztere, in England entwickelte Verfahren, sieht allerdings den ergänzenden Einsatz von Gibberellinsäure vor.

1.7.2.4 Die *Keimung bei fallenden Temperaturen* z. B. von 17 auf 12 °C kann ebenfalls den Schwand

erniedrigen, da die durch stufenweise Wassergabe stark angeregten Lebensäußerungen des Korns hierdurch unter Kontrolle kommen. Ohne Nachteile für die Qualität des Malzes lässt sich der Gesamtschwand um 1–1,5 % gegenüber der klassischen Mälzung erniedrigen. Es ist allerdings die Anwendung einer Kühlanlage und der dabei auftretende Strombedarf gegen diesen Gewinn aufzurechnen.

1.7.2.5 Die *Anwendung von Wuchs- und Hemmstoffen* (in Deutschland verboten). Während die Zugabe von Gibberellin, selbst bei verkürzter Keimzeit, kaum eine Schwandersparnis vermittelt, erbringen Inhibitoren, wie z. B. Kaliumbromat, eine deutliche Schwanderniedrigung (s. Abschn. 1.5.3.9). Auch Formaldehyd oder eine Weiche mit verdünnter Schwefelsäure wirkt in derselben Richtung. Bestimmte Starterkulturen (s. Abschn. 1.5.3.8) können eine Verringerung des Wurzelkeimwachstums um ca. 50 % bewirken.

Aus dieser Aufzählung gegebener Möglichkeiten zur Verringerung von Atmungs- und Keimschwand geht jedoch hervor, dass ein übermäßiges Absenken des Schwandes Nachteile in der Qualität des Malzes zur Folge hat. Es ist ein Mindesteinsatz von Stärkesubstanz erforderlich, um die Vorgänge beim Mälzen im Sinne der gewünschten Malzqualität zu steuern.

1.7.3 Die Ermittlung des Malzschwandes

Sie erfolgt am sichersten aus den Gewichten der eingeweichten Gerste und des fertig geputzten Malzes mittels automatischer Waagen. Auch die Tausendkorngewichte von Gerste und Malz ergeben ein Bild über den Schwand, während der Vergleich der Hektolitergewichte ungenaue Ergebnisse liefern muss, da sich die Volumenverhältnisse von der Gerste zum Malz verändern. Von den einzelnen Faktoren können der Wassergehalt und der Keimverlust genau bestimmt werden. Alle übrigen Daten werden berechnet. Am besten ist es, den Schwand für jeden Keimkasten usw. eigens festzuhalten, weil hierdurch ein genaues Bild über die Arbeitsweise bzw. über Variationen derselben gewonnen werden kann.

Die Berechnung des Malzschwandes kann nach folgenden Formeln geschehen:

$$\text{Schwand lufttrocken} = \frac{G - M}{G} \times 100$$

(G = eingeweichte Gerstenmenge, M = entkeimtes Darrmalz)

$$\text{Schwand wasserfrei} = 100 - \frac{\text{MTrS} \times 100}{\text{GTrS}}$$

(MTrS = Malztrockensubstanz = M × (100 – Wassergehalt des Malzes),
GTrS = Gerstentrockensubstanz = G × (100 – Wassergehalt der Gerste)).

1.8 Die Eigenschaften des Malzes

Für die weitere Verarbeitung des Malzes zu Bier ist es von Bedeutung, seine Eigenschaften genau zu kennen. Die Beurteilung des Malzes erfolgt aufgrund äußerer Merkmale und einer Reihe mechanischer und chemisch-technischer Untersuchungsmethoden.

1.8.1 Äußere Merkmale

Anhand derselben werden ermittelt:

1.8.1.1 Der *Reinheitsgrad des Malzes* nach Resten von Wurzelkeimen, seinem Gehalt an Unkraut, Fremdgetreide, Staub, Halbkörnern, verletzten Malzkörnern, verschimmelten Körnern (s. a. Farbe), Krummschnäbeln oder gar ungemälzten Gerstenkörnern.

1.8.1.2 Die *Farbe des Malzes*: sie soll gelblich und rein sein, eisenhaltiges Weichwasser ergibt eine stumpfe, graue Farbe, „getigerte“ Malze deuten auf stärker schwefelhaltige Brennstoffe beim Schwelken und Darren hin, Schimmelbefall ist grün-, schwarz- oder rotfleckig. Eine Unterscheidung in „irrelevante“ und „relevante“ rote Körner, Letztere < 1,5 ‰ ist eine Vorsorge gegen Gushing (s. Abschn. 7.6.8).

1.8.1.3 *Geruch und Geschmack des Malzes;* je nach Malztyp neutral bis aromatisch, nicht dumpf, sauer oder verbrannt. Schimmelig oder grablig riechendes bzw. schmeckendes Malz ist abzulehnen, ebenso rauchiges Malz. Diese Geschmacksnoten können durch Schmecken der *unzerkauten* Körner festgestellt werden, oder sicherer durch den Heißwassertest.

1.8.2 Die mechanische Analyse

Sie umfasst die Bestimmung von Hektolitergewicht, Tausendkorngewicht, Sortierung, Mehligkeit bzw. Mürbigkeit und Blattkeimentwicklung.

1.8.2.1 Das *Hektolitergewicht* gibt Einblick in die Volumenverhältnisse des Malzes, es sagt aber über den Malzschwand nichts aus, auch das hl-Gewicht der ursprünglichen Gerste kann hierdurch nicht

abgeschätzt werden. Es schwankt zwischen 47 und 60 kg. Gut gelöste, sachgemäß getrocknete und gedarrte Malze haben hl-Gewichte zwischen 48 und 55 kg. Genauer kann das Volumen des Malzes über sein spezifisches Gewicht bestimmt werden, das im Bereich zwischen 1,08 und 1,20 g/cm^3 liegt, für ein gutes Malz jedoch nicht höher als 1,12 g/cm^3 sein soll. Scharfes Polieren, Spelzenverluste und Abrieb bei langen Transportwegen erhöhen Hektoliter- und spezifisches Gewicht. Vor allem Letzteres ist nur im frisch gedarrten und entkeimten Malz zuverlässig bestimmbar.

1.8.2.2 Das *Tausendkorngewicht* des Malzes vermittelt im Vergleich zu dem der Gerste einen Überblick über den Mälzungsschwand. Es wird auf Trockensubstanz berechnet und ergibt Werte zwischen 25 und 35 g. Dunkle Malze haben niedrigere Tausendkorngewichte als helle.

Die Sortierung erlaubt ein Urteil über die Gleichmäßigkeit der Kornstärke des Malzes.

1.8.2.3 Die *Mehligkeit* eines Malzes kann mithilfe des Kornquerschneiders nur unvollständig ermittelt werden. Objektiv richtig, wenn auch aufwendig, ist die Erstellung von Kornlängsschnitten, die einen guten Überblick über mehlige, teilglasige und glasige Körner ergeben. Die Menge der ganzglasigen Körner zeigt die Zahl der Ausbleiber an, sie sollte 2 % nicht übersteigen. Die Mehligkeit soll bei hellem Malz über 95 % liegen.

1.8.2.4 Die *Mürbigkeit des Malzes* kann durch den Sinkertest (< 10 % sehr gut) und durch das Friabilimeter von Chapon zur Darstellung gelangen. Gut gelöstes Malz soll über 80 % mehlige Körner aufweisen sowie weniger als 2 % ganzglasige. Verschiedentlich wird der halbglasige Anteil über das 2,2 mm Sortiersieb weiter differenziert. Die Färbemethoden nach dem Carlsberg-Test mittels Calcofluor definieren die Auflösung „M“ (über 85 %) und die Homogenität „H“ (über 75 %). Eine Färbung mit Methylenblau liefert bezüglich der Auflösung ähnliche Werte.

Durch die NIR-Spektroskopie lassen sich Einzelkornanalysen zur Bewertung der Homogenität von Gerste und Malz durchführen. Es ist möglich, große Probemengen als ganze Körner (ca. 1000) gut reproduzierbar und automatisierbar zu vermessen. Die Korrelation zwischen Vorhersage und NIR-gemessenen Körnern liegt bei über 0,92, ebenso bei Eiweiß und β-Glucan.

1.8.2.5 Auch die *Blattkeimentwicklung* vermittelt einen Überblick über die Gleichmäßigkeit eines Malzes. Außerdem lassen sich Ausbleiber und Husaren feststellen.

Die landläufige Auffassung: Mittlere Blattkeimlänge bei hellen Malzen 0,75, bei dunklen über 0,8 genügt heute nicht mehr. So wird zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Keimung die Verteilung auf die einzelnen Längenintervalle geprüft. Diese ist dann als gleichmäßig zu bezeichnen, wenn der Anteil der Körner von 1/2 bis 3/4 und 3/4 bis ganze Kornlänge bei > 84 % liegt. Ein höherer Anteil von Körnern mit 1/4 bis 1/2 deutet auf nachkeimende Körner einer ungleichmäßigen Partie hin. Hier sind dann meist auch Anteile von 0 bis 1/4 sowie Husaren zu finden.

1.8.3 Die chemisch-technische Analyse

Diese schließt ein: den Wassergehalt, die Laboratoriumsausbeute nach der Kongressanalyse mit Feinschrot oder auch Grobschrot, die Farbtiefe, die Verzuckerungszeit und eine Reihe anderer Daten, die dazu dienen, den Auflösungsgrad des Malzes erkennen und Rückschlüsse auf seine spätere Verarbeitungsmöglichkeit ziehen zu können.

1.8.3.1 Der *Wassergehalt* beträgt bei frisch abgedarrten hellen Malzen zwischen 3,5 und 4,2 %, bei dunklen 2,0–3,0 %. Durch die Lagerung nimmt der Wassergehalt um 0,5–1 % zu. Er sollte bei Handelsmalzen nicht über 5 % liegen

1.8.3.2 Die *Extraktergiebigkeit* des Malzes schwankt lufttrocken zwischen 72 und 79 %, wasserfrei zwischen 77 und 83 %, sie liegt meist über 80 %.

1.8.3.3 Die *Mehlschrotdifferenz* diente über Jahrzehnte zur Bestimmung der cytolytischen Lösung sowie gleichzeitig auch der Enzymkapazität eines Malzes. Die Differenz war bei gut gelösten Malzen, nach der EBC-Mühle unter 1,8 %, nach der neueren DLFU-Mühle bestimmt, unter 1,4 %. Ihre mangelnde Reproduzierbarkeit beim Vergleich der Werte verschiedener Laboratorien, ebenso wie die ungenügende Aussage bei inhomogenen Malzen waren Gründe, sie nicht mehr bei der Zulassung von Gersten-Neuzüchtungen oder Garantie-Analysen z. B. bei Sudhausabnahmen usw. heranzuziehen. Bei der Beurteilung der Cytolyse von Malzen aus anderen Getreidearten (s. Abschn. 1.9.1 ff.) käme der Mehlschrotdifferenz immer noch Bedeutung zu, da bei diesen weder der Friabilimeterwert noch die Färbemethoden anwendbar sind.

1.8.3.4 Die *Viskosität der Kongresswürze* sagt etwas über den Abbau der Stütz- und Gerüstsubstanzen, bei Gerstenmalzen vornehmlich von β-Glucan aus. Sie liegt bei diesen zwischen 1,44 und 1,75 mPa s, normal bei 1,48–1,55 mPa s in 8,6 %iger Würze. Die Kongressmaische erfährt bei 45 °C Einmaischtemperatur noch einen gewissen Abbau von β-Glucanen und liefert im Vergleich zu gängigen Praxismaischverfahren zu niedrige Werte an β-Glucan (s. Abschn. 1.4.1.1) Eine gute Aussage ergibt hier die 65 °C-Maische, die den potenziellen Gehalt an β-Glucanen und eine hiermit korrespondierende Viskosität anzeigt. Diese steigt in der Regel von der Kongress- zur 65 °C-Würze um 0,06–0,16 mPa s an und weist auf eine zu knappe oder inhomogene Cytolyse hin.

1.8.3.5 Die *Bestimmung der β-Glucane* (nach Carlsberg) in der Kongress- und der 65 °C-Würze gibt eine eindeutige Aussage über den Zellwandabbau und seine Homogenität. Der β-Glucangehalt soll in der Kongresswürze unter 200 mg/l und in der 65 °C-Würze unter 350 mg/l liegen.

1.8.3.6 Die *Verzuckerungszeit* nimmt bei hellen Malzen 10–15, bei dunklen 15–30 min in Anspruch. Daneben wird der *Geruch der Maische* geprüft.

Sie ist durch die dünne (1 : 6) Kongressmaische weit kürzer als in der Praxis und liefert deshalb nur bei groben Fehlern eine Aussage.

1.8.3.7 Die *Farbtiefe* der Laboratoriumswürzen wird in EBC-Einheiten ausgedrückt: Sie beträgt bei hellen Malzen 2,5–4, bei mittelfarbigen („Wiener“) Malzen 5–8 und bei dunklen 9,5–21 EBC-Einheiten. Einen günstigeren Ausdruck über die zu erwartende Bierfarbe vermittelt die *Kochfarbe der Kongresswürze* oder die Farbe der endvergorenen Würze. Bei Pilsener Malzen soll die Kongresswürzefarbe unter 3,3, die Kochfarbe unter 5,2 EBC-Einheiten sein.

1.8.3.8 Das *Aussehen der Würzen* und die Ablaufzeit derselben werden ebenfalls festgehalten. Auf raschen, klaren Ablauf wird Wert gelegt.

1.8.3.9 Der *scheinbare Endvergärungsgrad* der Kongresswürze soll ein Niveau von über 80 % erreichen. Dieser Wert ist bei den hochgezüchteten deutschen Gerstensorten in der Regel gegeben. Da die Kongressmaische keine eigentliche „Maltoserast“ bei 62 °C enthält, fällt der Endvergärungsgrad meist niedriger aus als bei den üblichen Maischverfahren in der Praxis.

1.8.3.10 Die *Verkleisterungstemperatur der Malzstärke*, mittels Rotationsviskosimeter bestimmt, liegt zwischen 58 und 66 °C. Sie beeinflusst den Stärkeabbau beim Maischen hinsichtlich Verzuckerungszeit, Endvergärungsgrad und Zuckerspektrum. Sie ist abhängig von Gerstensorte, Anbauort und Jahrgang. Sie liegt bei heißen, trockenen Aufwuchsbedingungen (z. B. in der Kornfüllphase) höher.

1.8.3.11 *Eiweißgegebenheiten*: Der Eiweißgehalt des Malzes liegt um 0,1–0,3 (–0,5) % unter dem der Gerste. Er sollte für sehr helle Pilsener und Exportbiere nicht über 10,5 % liegen. Helle Lagerbiere und satter gefärbte Export- oder Spezialbiere vertragen hier bis zu 11,0 %. Dunkle Biere sollen, um der Vollmundigkeit und des Aromas willen aus Malzen bis zu 12 % Eiweiß hergestellt werden. Einen Einblick in den Eiweißabbau gibt der Eiweißlösungsgrad („Kolbachzahl“). Bei einem Malz mit ca. 10,5 % Eiweiß ist ein Eiweißlösungsgrad von 38–42 % als günstig zu bezeichnen. Bei dunklen Malzen liegt er infolge des Verbrauches an niedermolekularem Stickstoff zur Melanoidinbildung niedriger, etwa zwischen 37–40 %. Nachdem die Kolbachzahl bei unterschiedlichen Eiweißgehalten z. T. erheblich schwanken kann, wird häufig die Menge des löslichen Stickstoffs pro 100 g Malztrockensubstanz angegeben. Sie beläuft sich normal zwischen 640 und 700 mg, kann aber bei eiweißreicheren Malzen jedoch im Sinne einer günstigen Verteilung der Stickstofffraktionen (s. Abschn. 1.4.1.2) auch etwas höher liegen. Hierbei soll der Anteil des *freien Aminostickstoffs* (FAN) über 20 % des löslichen Stickstoffs betragen.

1.8.3.12 Die *Viermaischenmethode* nach Hartong-Kretschmer hat eine weite Verbreitung gefunden. Sie bietet Bewertungsmaßstäbe für die präexistierend löslichen Extraktstoffe, die Enzymkraft des Malzes und seine Mürbigkeit. Die Standardzahlen für befriedigend gelöste Malze betragen bei VZ 20 °C = 24 %, VZ 45 °C = 36 %, VZ 65 °C = 98,7 % und VZ 80 °C = 93,7 %. Hieraus errechnet sich eine Verarbeitungszahl von 5,0. Höhere Ansprüche an die Malzauflösung lassen eine VZ 45 °C von etwa 38 % wünschenswert erscheinen, auch liegt die VZ 80 °C bei modernen Einhordendarren zumeist über 95 %. Die VZ45 °C hat seit 2005 an Bedeutung verloren, da sie bei den heutigen hochlösenden und enzymstarken Sorten nicht mehr unbedingt die Relationen zu anderen Lösungsmerkmalen signifikant bestätigt.

1.8.3.13 Der *pH der Kongresswürze* liegt normal bei ca. 5,9. Dunkle Malze haben je nach Farbe einen pH von 5,7. Die Verwendung schwefelhaltiger Brennstoffe beim Schwelken und Darren erniedrigt den pH um ca. 0,15. Hierdurch ergeben sich höhere Werte für den Extraktgehalt, den Eiweißlösungsgrad und die VZ 45 °C der Malze.

Die Titrationsazidität der Kongresswürze liegt in der ersten Stufe (bis pH 7,07) normal bei 3,8–4,2, in der zweiten Stufe (bis pH 9,0) bei 10,5–13 ml, die Gesamtsäure normal zwischen 14,3 und 17,2 ml 1 n NaOH.

1.8.3.14 Die *Darrfestigkeit* eines Malzes kann weder durch die Bestimmung seiner Keimfähigkeit noch durch *Nachdarren* (5 h bei 86 °C) zuverlässig bestimmt werden. Auch die *Kochfarbe* liefert keinen Anhaltspunkt hierüber, obwohl sie einen Fingerzeig auf die zu erwartende Bierfarbe geben kann. Die Zufärbung beim Kochen hängt ab von Sorte und Herkunft der Gerste, vom Mälzungsverfahren und von der Abdarrtemperatur (s. Abschn. 1.6.1.2). Sie ist umso höher, je höher die Abdarrtemperatur war. Sie kann bei hellen Malzen zwischen 1,5 und 3,5 EBC-Einheiten betragen; normale Werte liegen bei 2–2,5 EBC-Einheiten. Einen sehr guten Hinweis gibt der Gehalt an Dimethylsulfid-Vorläufer, der je nach den Gegebenheiten der Würzekochung 5–7 ppm betragen darf.

Einen Einblick in den Verlauf der Farbebildung gibt die Thiobarbitursäurezahl (TBZ). Bei korrekt geschwelkten und gedarrten hellen Malzen liegt diese im Malzauszug bei 9–12, in der Kongresswürze bei 13–15.

1.8.3.15 *Ergänzende Untersuchungen* stellen direkte Enzymbestimmungsmethoden (Diastatische Kraft 220–290 °DK, α-Amylase 30–60 ASBC) dar, des Weiteren mikrobiologische, chromatographische und spektralphotometrische Analysen.

Der Jodwert der Labortreber gibt einen Einblick über den Grad des Stärkeabbaus in der Kongressmaische. Nachdem aber die Wirkung der beiden Amylasen auf die Stärkekörner wiederum vom Auflösungsgrad des Malzes abhängig ist, so gibt dieser Jodwert jeweils von Fein- und Grobschrot einen Hinweis auf Ausmaß und Gleichmäßigkeit der Auflösung. Er liegt bei gut gelösten Malzen in Feinschrot bei 1,8–2,5, bei Grobschrot bei 6–8,9, im mittleren Bereich bei 2,6–4,0 bzw. 9,0–14,5 und bei schlechter Auflösung bei 4,1–4,8 bzw. 14,6–17,5.

Die Analyse umweltrelevanter Substanzen umfasst das Nitrosodimethylamin (NDMA), welches unter dem „technischen Wert von 2,5 ppb liegen soll.

Wasserdampfflüchtige Phenole können zur Definition und Bewertung von „Rauchmalz" dienen. Für normale helle und dunkle Malze ist ein Rauchgeschmack unerwünscht. Bei einem Gehalt von unter 0,2 mg/kg an flüchtigen Phenolen ist kein Rauchgeschmack zu erwarten. Bei der Malzannahme ist von jeder Charge eine Geschmacksprobe des (unzerkauten) Malzes vorzunehmen (s. Abschn. 1.8.1.3).

Ein Test zur Ermittlung der *Gushing-Neigung* kann sowohl von der Gerste als auch vom Malz mittels eines unvergorenen, hochcarbonisierten Auszuges mit guter Aussagekraft vorgenommen werden. Er sollte bei Auftreten von „relevanten" roten Körnern durchgeführt werden (s. Abschn. 1.8.1.3). Auch die Ermittlung der Gehalte an bestimmten Toxinen, für die Höchstmengen verordnet sind, kann dann ratsam sein.

Ein Malz muss so beschaffen sein, dass es eine gute Verarbeitung und Ausbeutung im Sudhaus ermöglicht, vor allem aber eine flotte und nachhaltige Gärung sicherstellt. Dann werden auch die Eigenschaften des fertigen Bieres hinsichtlich Farbe, Geschmack, Geschmacksstabilität, kolloidaler Stabilität und Filtrierbarkeit im gewünschten Sinne ausfallen.

1.9 Malze aus anderen Getreidearten

1.9.1 Weizenmalz

Es wird wohl nach den gleichen Richtlinien wie das Gerstenmalz hergestellt, doch sind hierbei wegen der fehlenden Spelzen einige besondere Gesichtspunkte zu beachten.

1.9.1.1 Der *Brauweizen* leitet sich nicht von speziellen „Brauweizensorten" ab, da der Bedarf nur 0,7 % der gesamten Winterweizenernte im Bundesgebiet und 3 % in Bayern ausmacht. Es hat sich nämlich gezeigt, dass Winterweizensorten eine gute, aber nicht zu weitgehende Auflösung zeigen und eine geringere Anfälligkeit gegen Mikroorganismenbefall haben. Sie sind günstiger als Sommerweizen. Generell sind dies Weizen, die aufgrund ihrer (niedrigen) Eiweißgehalte nicht als Backweizen geeignet oder somit als Futtermittel unwirtschaftlich sind. Es hat sich im Laufe der Jahre ein Sortenspektrum an Winterweizen herausgestellt, das bei entsprechenden Witterungs- und Umweltbedingungen eine gute mälzungs- und braufähige Ware ergibt. Auch dieses Sortenspektrum ist demselben Wandel unterworfen wie das der Braugerste. Die jeweils günstigsten Sorten sind den jährlichen Veröffentlichungen zu entnehmen.

Die Analyse des Brauweizens: Er sollte Wassergehalte von 12–13 % aufweisen, eine Keimfähigkeit von über 96 % sowie einen Eiweißgehalt von unter 12 %, wobei dieser für Braumalz aus dem Stickstoffgehalt mit Faktor 6,25 berechnet wird, während die Landwirtschaft den Faktor 5,7 anwendet. Im Streitfall kann der Stickstoffgehalt zugrunde gelegt werden. Es wird ohnedies in der Analytik von „löslichem Stickstoff", den Stickstofffraktionen und dem freien Aminostickstoff gesprochen. Die Körner dürfen keinen Besatz, vor allem an Schimmelpilzen (relevante rote Körner, in manchen Jahren generell rote Körner), aufweisen. Es gelten hier die gleichen Bedingungen wie für Braugerste (s. Abschn. 1.1.3). Die Stütz- und Gerüstsubstanzen sind durch einen niedrigen β-Glucangehalt (0,5–2,0 %), aber einen höheren an Pentosan (2–3 %) gekennzeichnet. Dieser erschwert den Zellwandabbau. Um normale, reine Würze- und Bierfarben zu erzielen, sind niedrige Oxidasengehalte wichtig. Die Phenolzahl gibt hierüber einen groben Anhaltspunkt.

1.9.1.2 Die *Vermälzung* des Weizens: Die erste Weiche zielt auf einen Wassergehalt von 30–32 % und eine Luftrast von 12–20 h zum Abbau der Wasserempfindlichkeit, die zweite Weiche auf einen Wassergehalt von 37–39 % zur gleichmäßigen Ankeimung, die dann meist in der Keimanlage erfolgt. Hier wird auf eine Keimgutfeuchte von ca. 44 % eingestellt. Die Keimguttemperaturen liegen im mittleren Bereich von 14–15 °C, bei Bedarf (Zerreiblichkeit) kann in den letzten zwei Keimtagen auf 18 (bis 20 °C) gesteigert werden. Schwer lösliche Weizen, die sonst eine zu hohe Viskosität vermitteln würden, können auch auf höhere Wassergehalte (bis 47 %) aufgespritzt werden. Dabei soll die Eiweißlösung nicht über 38–39 % ansteigen. Der Weizen ist kleinkörniger als Gerste und liegt deshalb dichter. Damit ist die Schüttung sowohl auf der Tenne als auch im Keimkasten um etwa 20 % zu verringern, was bei Trommeln, Umsetzkasten und Saladinkasten mit Schaufelwendern (s. Abschn. 1.5.2.2, 1.5.3.3 und 1.5.3.5) nicht nötig ist. Der Blattkeim wächst zunächst unter der Samenschale, durchbricht diese aber am 3. Tag und entwickelt sich seitlich am Korn. Ein zu häufiges Wenden kann sehr leicht eine Verletzung des Keimlings bewirken. Hierdurch kann sich eine Störung der Stoffumsetzungen im Korninnern sowie Schimmelbefall ergeben. Die Zerreiblichkeit des Weizenkorns ist schwieriger zu verfolgen als bei Gerste, da das Eiweiß in der Aleuronschicht stärker und schwerer abbaubar ist. Gegenüber Braugersten derselben Provenienz benötigt der Weizen bei gleicher Keimzeit niedrigere Temperaturen und eine geringere Keimgutfeuchte.

1.9.1.3 Das *Darren des Weizenmalzes* wird vor allem bei Mehrhordendarren etwas vorsichtiger gehandhabt als bei Gerstenmalz. Bei Einhordenhochleistungsdarren wird bei Temperaturen von 50–55–60–65 °C geschwelkt, wobei jedoch vor einer weiteren Temperatursteigerung der Durchbruch (Ablufttemperatur 45 °C) abzuwarten ist. In zwei Stunden wird dann auf 77 °C aufgeheizt und hier zwei Stunden, bei 80 °C weitere zwei bis drei Stunden ausgedarrt. Die Rückluftverwendung dürfte etwas vorsichtiger gehandhabt werden als bei hellen Gerstenmalzen, um Zufärbungen zu vermeiden. Infolge der Entfernung des Blattkeims beim Putzen des Malzes ist der Keimverlust beim Vermälzen des Weizens etwas höher als bei Gerste, auch ergibt sich hierdurch ein Eiweißverlust von 0,5–0,7 %.

1.9.1.4 Die *Analyse des Weizenmalzes* ist durch einen, entsprechend der etwas schwierigeren Entwässerung, höheren Wassergehalt von ca. 5 % gekennzeichnet. Der Extraktgehalt beträgt, auf Trockensubstanz berechnet, 83–87 %, je nach Eiweißgehalt. Dieser sollte im Idealfall bei etwa 11,5 % liegen, doch erlauben die unfiltrierten Hefeweißbiere im Hinblick auf eine konstante Trübung auch Eiweißgehalte von 12–12,5 % Für die filtrierten „Kristallweizenbiere" ist eher ein Eiweißgehalt von 11 % oder etwas darunter günstig. Der Eiweißlösungsgrad liegt durch den Verlust des Blattkeims, bei 36–39 %. In diesem Bereich liegt auch die VZ 45 °C. Die Stickstofffraktionen sind durch mehr koagulierbaren und mit $MgSO_4$ fällbaren Stickstoff (Letzterer ca. 40 %) sowie weniger FAN (12–14 %) gekennzeichnet. Bei der (hier noch nützlichen) Mehlschrotdifferenz von 1,0–2,0 (EBC-Mühle) beträgt die Viskosität 1,65–1,85 mPa s. Friabilimeter und Carlsberg-Test sind nicht anwendbar. Höhere Viskositätswerte sind bei unfiltrierten Weißbieren kein Problem, doch kann die Abläuterung behindert werden, was dann eine Intensivierung des Maischverfahrens nötig macht (Abschn. 8.4.3.4). Die Farben liegen bei 3,5–4,5 EBC, die Kochfarben bei 5–6 EBC. „Kristallweizenbiere" bedürfen der niedrigeren Werte. Es werden auch mittelfarbige oder dunkle Weizenmalze (10–20 EBC), je nach Biersorte verwendet. Der Gehalt an DMS-Vorläufer ist bei Weizenmalz niedrig, er stellt keinen begrenzenden Faktor dar. Ebenso ist der Polyphenolgehalt durch die fehlenden Spelzen niedriger. Die für den typischen Weißbiergeruch und -geschmack wichtige Ferulasäure liegt um den Wert eines vergleichbaren

Gerstenmalzes. Das Amin Hordenin als Vorläufer von Nitrosodimethylamin liegt nur in einer geringen Menge vor.

Der Endvergärungsgrad des Weizenmalzes bewegt sich zwischen 78 und 81 %, die Diastatische Kraft bei 250 und 420 °WK, die α-Amylase jedoch ist niedriger als bei vergleichbaren Gerstenmalzen, je nach Sorte und Jahrgang bei 30–60 ASBC-Einheiten. Noch niedrigere Werte an α-Amylase können eine verzögerte Verzuckerung sowie eine nicht entsprechende Jodreaktion in Würzen und Bieren zur Folge haben. Die Jodreaktion der Labor-Treber, aber auch der Praxistreber liegt höher als bei solchen aus Gerstenmalzen.

Vom Weizenmalz wird in kritischen Jahrgängen auch der „Gushingtest" durchgeführt. Er ist in der Folge beschrieben. Der Oxalsäuregehalt, der ebenfalls beim Überschäumen des Bieres eine Rolle spielen kann, ist im Weizenmalz um ca 50 % höher als in einem vergleichbaren Gerstenmalz.

Die Ermittlung der Gushing-Neigung eines Weizens oder Weizenmalzes kann durch einen carbonisierten Auszug geschehen, der nach 4–5 Tagen einem Überschäumtest unterzogen wird. Aus einer 0,5 l-Flasche weist eine Überschäummenge von 1–10 ml auf ein „stabiles", eine solche von 11–30 ml auf ein „labiles" und über 30 ml auf ein „Gushinginstabiles" Bier hin. Es muss aber auch berücksichtigt werden, dass der Weizen gegenüber Gerste einen um ca. 50 % erhöhten Oxalatgehalt aufweist, der wiederum von Standort und Jahrgang abhängig ist.

Zu den vorstehend dargestellten Analysenwerten ist ergänzend auszuführen, dass der Eiweißgehalt des Weizens von den hauptsächlichen Verarbeitern durch Multiplikation des Stickstoffgehalts mit dem Faktor 5,7 errechnet wird anstatt mit dem Faktor 6,25 bei Gerste bzw. Gerstenmalz. Der immer wieder auftauchenden Diskrepanz zwischen beiden „Faktoren" kann durch Bezug auf den Stickstoffgehalt des Weizens bzw. Weizenmalzes begegnet werden, da auch sonst nur von „löslichem Stickstoff", den Stickstofffraktionen und dem freien Aminostickstoff gesprochen wird.

1.9.2 Malze aus anderen Getreidearten

Hier haben sich Roggen, Triticale, Dinkel, Emmer, Einkorn, Hafer, Hartweizen (Kamut) und Tritordeum sowohl als Malze für Backhilfsmittel oder andere Lebensmittelbereiche als auch als Malze für (obergärige) Spezialbiere eingeführt. Auch Reis und Mais können bei entsprechender Keimfähigkeit vermälzt werden. Doch sind Malze aus Reis, Mais und einigen Hirsearten, wie auch aus Pseudogetreidearten (Amarant, Buchweizen, Quinoa) nach dem deutschen Biersteuergesetz nicht zugelassen.

1.9.2.1 *Roggen*: Zum Vermälzen wird meist Winterroggen herangezogen. Er hat beim Anbau nur eine kurze Vegetationszeit und reift sehr rasch. Er wird deswegen weniger von Pilzen und tierischen Schädlingen befallen. Seine Keimruhe ist nur mäßig ausgeprägt. Er tendiert somit zu Auswuchs, weswegen es besser ist, ihn nach Erreichen der Reife verfrüht, d. h. noch bei einem Wassergehalt von 18–20 % zu ernten und anschließend zu trocknen. Für Braumalze werden Eiweißgehalte um 12 % (N × 6,25), für Diastasemalze solche von 14 % akzeptiert.

Die Vermälzung der keimreifen Ware ist infolge des hohen Pentosangehaltes etwas schwieriger, doch ist auch hier ein Weichverfahren mit den Stufen von 30 und 38 % Feuchte und Einstellen derselben im Keimkasten auf 43 % am besten geeignet. Bei einer Weich- und Keimtemperatur von 15 °C liegt die gesamte Vegetationszeit bei 7 Tagen. Im Hinblick auf die Zellwandlösung wird die Keimtemperatur während der letzten 24–36 h auf 18–20 °C angehoben. Beim üblichen Schwelkvorgang werden Abdarrtemperaturen von 80–85 °C angestrebt.

Die Analyse des Roggenmalzes beinhaltet: Wassergehalt ca. 5 %, Extrakt wfr. 85–88 %, Mehl-Schrotdifferenz 1,5–2,0 %, Viskosität 3,8–4,4 (!) mPa s, Eiweiß 10,5–12 %, Eiweißlösungsgrad 45–55 %, VZ 45 °C (fast) gleich hoch, Endvergärungsgrad 80–82 %, Diastatische Kraft 300–500 °WK, α-Amylase 50–100 ASBC, Farbe je nach Typ 6–20 EBC-Einheiten.

1.9.2.2 *Triticale*: Diese Kreuzung aus Weizen (Tricium) und Roggen (Secale) soll die Qualität des Ersteren mit der Winterhärte, der Anspruchslosigkeit und der Resistenz des Roggens kombinieren. In den gemäßigten Zonen werden nur die Winterformen angebaut. Wenn auch Triticale meist als Futterpflanze oder zur Herstellung von Bioethanol verwendet wird, so wurde sie doch in den 1980er-Jahren als Malz und – wo zugelassen – als Rohfrucht zum Brauen verwendet. Eine breitere Erfahrung hierüber ist heute nicht mehr gegeben.

Die meist etwas eiweißreichere Triticale wird nach dem pneumatischen Weichverfahren, wie auch Gerste, Weizen und Roggen mit den Feuchtigkeitsstufen 30 %, 38 % und – im Keimkasten – mit maximal 42–43 % bei 15 °C in ca. 7 Weich- und Keimtagen vermälzt. Auch hier kann die Keimtemperatur in den letzten 1 1/2–2 Tagen auf 18–20 °C

erhöht werden. Der Schwelk- und Darrprozess ist wie bei Weizen und Roggen zu führen. Auch hier ist durch die fehlenden Spelzen ein dichteres Keim- und Trockenbett gegeben und damit eine um 10–20 % geringere Schüttung als bei Gerste anzuraten.

Die Analyse des Triticalemalzes zeigt einen Wassergehalt von rund 5 %, der wasserfreie Extrakt liegt zwischen 84 und 87 %, je nach dem Eiweißgehalt, der bei 12,5–15 % liegen kann. Ein Eiweißlösungsgrad von 45–55 % vermittelt hohe Werte an löslichem Stickstoff. Die VZ 45 °C ist um 4–10 % niedriger als der Eiweißlösungsgrad. Die Mehlschrotdifferenz ist 1,5–2,0 %, die Viskosität mit 1,9–2,3 mPa s deutlich niedriger als bei Roggen. Bei einer DK von 430–700 °WK und einer α-Amylase von 60–120 ASBC ist der Endvergärungsgrad in einem weiten Bereich von 74–82 % angesiedelt. Die Farbe beträgt je nach Abdarrung 5–9 EBC.

1.9.2.3 *Dinkel, Emmer und Einkorn* sind frühe Weizenarten, die bespelzt sind. Die Spelzen werden beim Dreschen nur unvollständig entfernt. Die sog. „Vesen" werden wohl zur Aussaat verwendet; zum Mälzen müssen jedoch die Spelzenreste durch einen weiteren Entspelzungsvorgang in Mühlen mit einem sog. „Gerbgang" entfernt werden. Um ein Abschlagen oder eine Beschädigung des Keimlings zu vermeiden, ist eine sorgfältige Einstellung der Anlage wichtig. Die Eiweißgehalte liegen zwischen 12 und 14 %.

Der Vermälzung liegt wiederum das pneumatische Weichverfahren mit stufenweiser Befeuchtung, doch etwas kürzeren Luftrasten von jeweils 10–12 h zugrunde. Nach dem gleichmäßigen Spitzen des Keimgutes wird im Keimapparat eine Feuchte von 47 % bei einer Keimtemperatur von 17 °C angestrebt. Die gesamte Weich- und Keimzeit beträgt 6 Tage. Hier resultieren nach der „Statistikmälzung" (s. Abschn. 1.9.5) die günstigsten Extraktwerte von 83–84 % sowie ein Endvergärungsgrad von 80–82 %. Die α-Amylase-Aktivität ist bei einer diastatischen Kraft von 360 °WK nur 18 ASBC-Einheiten, trotzdem ist die Verzuckerungszeit der Kongressmaische kurz. Der Zellwandabbau umfasst hauptsächlich Pentosane, wodurch sich unter den obigen Keimbedingungen eine Viskosität von ca. 1,70 mPa s erreichen lässt. Bei einem Eiweißgehalt von 14,5 % liegt der Eiweißlösungsgrad bei 43 %, der Anteil des FAN nur bei 14 %. Die Farben erreichen je nach Auflösungsgrad und Darrweise Werte von 3–6 EBC.

Emmer weist etwa dasselbe Enzymmuster wie Weizen auf. Bei einem Eiweißgehalt von 12 % wurde ein Extraktgehalt von 88 % sowie ein Endvergärungsgrad von 80 % erreicht. Die DK von 350 °WK beinhaltet eine α-Amylase-Aktivität von nur 27 ASBC. Der Eiweißlösungsgrad lag bei 42 %, der Anteil des FAN am löslichen Stickstoff bei 13 %, die Viskosität bei 1,70 mPa s. Die Farbe der Kongresswürze entsprach etwa der des Weizenmalzes (3–6 EBC).

Einkorn zeigt ein kleineres Korn als die anderen Weizenarten. Bei einer Vermälzung nach dem Standard-Kleinmälzungsschema für Gerste (Keimgutfeuchte 45 %, 7 Tage Weich- und Keimzeit bei 14,5 °C) lag der Extraktgehalt bei 85 %, der Endvergärungsgrad jedoch nur bei 71 %, trotz ähnlicher α-Amylase- und DK-Werte wie bei Emmer und einer Verzuckerungszeit von 10–15 min. Bei 14,5 % Eiweiß belief sich der Eiweißlösungsgrad auf 33 %, der Anteil des FAN betrug 15,7 %. Die Viskosität war mit 2,9 mPa s verhältnismäßig hoch. Sicher sind bei einer intensiveren Mälzung noch bessere Werte zu erreichen. Die Farbe entsprach der des Weizenmalzes.

1.9.2.4 *Hafer* war als Braugetreide in Vergessenheit geraten. Seine Zusammensetzung (hoher Eiweiß-, β-Glucan- und Fettgehalt) ließen ihn für die Malz- und Bierbereitung wenig geeignet erscheinen. Neuzüchtungen erbrachten günstigere Werte, sodass der Hafer als Rohstoff für spezielle Biere sowie für funktionelle Getränke an Bedeutung gewinnt.

Bei der Vermälzung nimmt das schlanke Haferkorn während des Weichens und bei der Keimung sehr rasch Wasser auf. Es liegt auch wegen der kräftigen Spelzen lockerer. So genügt nur eine kurze Nassweiche nebst einer verkürzten Luftrast, um nach einer vorsichtigen zweiten Wassergabe das Gut im Keimkasten rasch zum Keimen zu bringen. Das optimale Mälzungsprogramm ist: 8 Vegetationstage bei 46 % Keimgutfeuchte und 17 °C Weich- und Keimtemperatur.

Die Malzanalysendaten zeigen einen Extraktgehalt von unter 75 %, einen Endvergärungsgrad von 80,7 % und bei einem Eiweißgehalt von 12,5 % einen Eiweißlösungsgrad von 38 %. Die Viskosität der Kongresswürze liegt sehr günstig bei 1,47 mPa s. Dieser Wert steigt bei der 65 °C-Würze um 0,12 mPa s, was durch eine deutliche Erhöhung des ursprünglich niedrigen β-Glucangehaltes bedingt ist. Die α-Amylase-Aktivität liegt bei 24 ASBC, die diastatische Kraft bei 270 °WK, wodurch eine Verzuckerungszeit von unter 10 min erreicht wird. Die Farbe beträgt etwa 3,5 EBC-Einheiten.

1.9.2.5 *Hirsen*: Die kleinkörnigen Hirsearten werden unter dem Sammelnamen „Millets" geführt. Hiervon sind die Perlhirse, die Kolbenhirse, die Fo-

niohirse, Teff und Fingerhirse interessant, da sie in verschiedenen überseeischen Ländern zum Mälzen und Brauen eine Rolle spielen. Von diesen Arten soll die Rispenhirse besprochen werden.

Infolge der dicken Spelze erfolgt die Wasseraufnahme beim Weichen nur langsam. Bei einer Weich- und Keimtemperatur von 22 °C waren bei einer Feuchte von 44 % nur 5 Weich- und Keimtage nötig, um eine normale Auflösung zu erzielen. Bei der Kleinkörnigkeit dieses Getreides von nur 2–3 mm sind wohl noch die normalen Horden in Keimkasten und Darren zu verwenden, doch ist die Schüttungshöhe um ein Drittel zu verringern.

Die Analysendaten sind: Extraktgehalt 64 % (wasserfrei!), Viskosität 1,53 mPa s, Endvergärungsgrad 74 %, Eiweißgehalt 11 (bis 13,5) %, Eiweißlösungsgrad 39 % sowie ein normaler FAN-Anteil von 22 %. Die α- und β-Amylase-Aktivitäten sind niedrig, doch liegt die Grenzdextrinase-Aktivität hoch. Hirsen enthalten kein Gluten, weswegen sie für Getränke für Zöliakie-Kranke geeignet sind.

1.9.2.6 *Sorghum* (-Hirse) ist botanisch eher dem Mais oder dem Zuckerrohr zuzuordnen. Sie wird häufiger als Rohfrucht denn als Malz zum Brauen verwendet.

Die Enzymausstattung von Sorghum schwankt je nach Herkunft und Sorte sehr stark. Sie wird auch durch die Lagerung des Getreides, je nach Dauer und Temperatur (12–23 °C) beeinflusst. Hierbei kann aber auch das Auftreten von Schimmelpilzen begünstigt werden. Es ist deshalb auf den Besatz des Getreides zu achten. Im Ausland werden desinfizierende Weichzusätze wie Natronlauge oder Calciumhydroxid angewendet, auch ist eine Kombination mit Gibberellinsäure (0,02–0,2 ppm) und Bromat (15–150 ppm), wie in Abschn. 1.5.3.9 geschildert, verschiedentlich anzutreffen. Der Effekt dieser Maßnahmen wird jedoch nicht einheitlich beurteilt.

Die Vermälzung wird sehr unterschiedlich gehandhabt; sie ist je nach Gegend und angebauten Sorten mehr oder weniger empirisch. Kurze Nassweichzeiten (2 × 5 h) und eine ausgedehnte Luftrast von ca. 20 h sowie eine Keimgutfeuchte von 44–48 % erzielen während einer Keimung von 36 h bei 25–28 °C günstige Analysenwerte, wobei eine abschließende Warmwasserweiche von 1,5–3 h die Bildung von Amylasen und Proteasen fördert. Die in der Praxis angewandten Abdarrtemperaturen liegen in einem weiten Bereich, zwischen 45 und 100 °C. Braumalze werden meist nur bei 50 °C getrocknet und „gedarrt".

Die Analysendaten der Malze schwanken in weiten Grenzen, je nach Anbaugebiet, Sorte, Jahrgang und Mälzungsweise: Extrakt (wfr.) 71–84 %, Viskosität 1,29–1,75 mPa s, Endvergärungsgrad 73–95 %, Farbe 2,2–15 EBC, Eiweißgehalt 7,5–12,5 %, Eiweißlösungsgrad 20–38 %, Diastatische Kraft 12–60 °WK und α-Amylase 12–60 DU. Die DMS-Gehalte liegen trotz niedriger Abdarrung im Bereich von Gerstenmalzen.

Wurde Sorghum nach dem Kleinmälzungsschema für Gerste (7 Weich- und Keimtage bei 14,5 %, Feuchte 45 %, Abdarrtemperatur 80 °C) vermälzt, dann ergaben sich folgende Werte: Extrakt 73,9 %, Viskosität 1,96 mPa s, Endvergärungsgrad 79,7 %, Eiweißgehalt 7,8 %, Eiweißlösungsgrad 34 %, FAN 25 % des löslichen N, Diastatische Kraft 83 °WK, α-Amylase 8 ASBC. Sorghum enthält kein Gluten.

1.9.3 Pseudogetreide

Zu diesen zählen Amarant, Buchweizen und Quinoa. Sie sind nach dem Deutschen Biersteuergesetz nicht für die Herstellung von „Bier" zugelassen, doch können sie für verschiedene Getränke, auch solche funktioneller Art, Verwendung finden. Da sie kein Gluten enthalten, sind sie auch für Zöliakie-Patienten geeignet.

1.9.3.1 *Amarant* stammt ursprünglich aus den Tropen. Die Körner sind sehr klein (TKG nur 0,6 g). Die Vermälzung erfolgt bevorzugt auf der Tenne, ansonsten müssen die Sieb- bzw. Hordenböden von der Weiche bis hin zur Darre auf diesen kleineren Korndurchmesser angepasst werden. Die Wasseraufnahme ist sehr rasch, die Schütthöhe beträgt nur 20 % der der Gerste. Nach intensiver Wäsche können die Keimtemperaturen bei ca. 30 °C liegen. Dennoch erwies sich ein Verfahren von 8 Weich- und Keimtagen bei 8 °C und 54 % Feuchte als am günstigsten.

Mit dem oben genannten Standardverfahren für Gerstenmalz wurden folgende analytischen Werte erreicht: Extrakt 79,7 %, Viskosität 1,97 mPa s, Farbe 5,6 EBC, Eiweißgehalt 15,2 %, Eiweißlösungsgrad 42 %, FAN in % des löslichen N 18 % Die DK betrug nur 88 °WK, α-Amylase war nur in Spuren vorhanden, weswegen die Kongresswürze unverzuckert blieb und auch zu einem Endvergärungsgrad von nur 22 % führte.

1.9.3.2 *Buchweizen* stammt ursprünglich aus den hochgelegenen Gebirgsländern Zentral- und Ostasiens. Die Vegetationszeit der Pflanzen ist dort nur kurz (10–12 Wochen). Die Vermälzung des bespelzten Buchweizens ist durch eine sehr rasche Wasseraufnahme, d. h. eine sehr kurze Weichzeit

bestimmt. Die Keimung erfolgt bei 20 °C, um ein Maximum an β-Amylase zu erreichen. Dennoch ist die Entwicklung der α-Amylase so schwach, dass beim Maischen exogene Enzyme eingesetzt werden müssen, um einen normalen Prozessablauf zu garantieren.

Nach der Standardmälzung für Gerste war der Extraktgehalt mit 52,9 % sehr niedrig. Der Eiweißgehalt betrug 15,4 %, der Eiweißlösungsgrad 30 %, wobei der FAN nur 15 % des löslichen Stickstoffs betrug. Die Viskosität lag bei 3,50 mPa s. Bei ähnlichen DK- und α-Amylase-Werten wie Amarant war die Kongressmaische nicht verzuckert und der Endvergärungsgrad erreichte nur 46 %. Die Würzefarbe war mit 2,5 EBC sehr hell.

1.9.3.3 *Quinoa* stammt aus den Andenregionen in Lateinamerika, wird aber auch in Nordamerika und in Europa angebaut. Die Frucht weist ursprünglich Saponine in der Samenschale auf. Diese sind physiologisch ungünstig und schmecken bitter. Durch Selektion kann nun Quinoa nahezu saponinfrei gewonnen werden. Der Quinoa-Samen ist sehr klein, das TKG beträgt nur 1,85–4,2 g. Quinoa hat keine Keimruhe.

Vor der Vermälzung wird Quinoa schonend – ohne den Keimling zu verletzen – geschält. Die Keimung beginnt bei 8 °C sehr schnell und intensiv und ist nach 3–4 Tagen Vegetationszeit beendet. Das Standardmälzungsverfahren führt zu einem Extraktgehalt von 83,2 %, einer normalen Viskosität von 1,52 mPa s, doch infolge der niedrigen DK und nur Spuren von α-Amylase erreicht die nicht jodnormale Würze nur einen Endvergärungsgrad von 63,5 %. Bei einem Eiweißgehalt von 13,7 % war die Eiweißlösung bei 40 % und der FAN-Gehalt bei 23 % des löslichen Stickstoffs. Die Verarbeitung im Sudhaus bedarf wiederum eines Zusatzes von exogenen Enzymen.

1.9.4 Spezialmalze

Sie werden in einem bestimmten Prozentsatz der normalen Malzschüttung zugesetzt, um im Bier eine Beeinflussung z. B. der Farbe, des Geschmackes, der Vollmundigkeit, des Schäumvermögens, der Säureverhältnisse und der Stabilität hervorzurufen. Hierzu gehören Röst- und Karamellmalz, Melanoidinmalz, Spitzmalz und Sauermalz.

1.9.4.1 *Röstmalz* wird verwendet, um Bieren eine bestimmte, mehr oder weniger große Farbtiefe zu geben. Gerade bei dunklen Bieren kann die gewünschte Farbe mit dem dunklen Malz selbst nicht erreicht werden. Der Zusatz beträgt nur 1–2 %. Zu seiner Herstellung wird angefeuchtetes helles Malz im Trommelröster unter ständiger Drehung allmählich und vorsichtig auf Temperaturen von über 200 °C (bis 220 °C) erhitzt. Dabei findet zunächst eine kräftige Melanoidinbildung statt, der Wassergehalt sinkt auf 1–2 %, Stärke wird depolymerisiert, Eiweißkörper werden denaturiert und teilweise in niedermolekulare Verbindungen zersetzt. Es bilden sich schließlich dunkle, bittere Röstprodukte (Assamare), deren Menge in engen Grenzen gehalten werden kann, wenn angefeuchtetes, nicht trockenes Malz verwendet wird. Um Brenz- und Bitterstoffe zu entfernen, wird das Röstmalz entweder in Vakuumapparaten geröstet, oder – da diese Substanzen wasserdampfflüchtig sind – durch Einspritzen von Wasser gegen Ende der Röstung verbessert. Um den Röstprozess abzubrechen wird der Inhalt der Rösttrommel auf flache Horden entleert und durch Rühren gekühlt und homogenisiert. Die Enzyme werden bei der Röstmalzbereitung vollständig vernichtet. Der Mehlkörper des Röstmalzes soll gleichmäßig mürbe und dunkel, kaffeebraun, aber nicht glänzend sein, während die Spelzen selbst einen Glanz aufweisen sollen.

Neu ist die Herstellung von Röstmalz aus Nacktgerstenmalz, sodass die störenden Spelzenbitterstoffe vermieden werden können. Stärker eingeführt hat sich Röstmalz aus geschältem Malz, das ebenfalls weniger Brenzaromastoffe enthält. Das an sich günstige Weizenröstmalz darf nur für die Bereitung obergäriger Biere verwendet werden. Dasselbe gilt für Röst-und Karamellmalze, die aus Roggen oder anderen Getreidearten hergestellt werden. Je nach Färbekraft des Röstmalzes sind drei Kategorien gegeben: ca. 800, 1000–1200 und 1300–1400 EBC-Einheiten. Eine ähnliche Unterteilung, wenn auch auf einem etwas niedrigeren Niveau ist auch bei Weizen-, Roggen- und Dinkel-Röstmalzen der Fall.

Die Färbekraft des Röstmalzes beträgt je nach Herstellungsweise 1300–1600 EBC-Einheiten. Die Extraktausbeute liegt wasserfrei bei nur 60–65 %.

In diesem Zusammenhang ist das *Röstmalzbier* zu erwähnen, das, nach dem Reinheitsgebot hergestellt, zum nachträglichen Färben von Würze und Bier verwendet wird. Seine Herstellung erfolgt aus 60 % hellem und 40 % Röstmalz mit hoher Hopfengabe. Vergoren kommt es mit einem Stammwürzegehalt von 16–20 % zum Verkauf. Seine Farbe beträgt etwa 8000 EBC-Einheiten. Durch Vakuumverdampfung kann der Extrakt und damit die Farbe dieses Produkts noch weiter erhöht werden. Auch gelingt es mithilfe des Vakuums brenzlige Aromanoten zu entfernen und das Röstmalzbier neutra-

ler zu gestalten. Der Extraktgehalt liegt hier bei 30–32 %, die Farben liegen bei ca. 12 000 EBC.

1.9.4.2 *Karamellmalz*: Zur Betonung der Vollmundigkeit und des malzigen Charakters eines Bieres kann ein Zusatz von 3–5 %, bei manchen Bieren sogar von 10 % Karamellmalz erfolgen. Es wird hergestellt aus Grünmalz oder Darrmalz, das durch nachträgliches Weichen auf einen Wassergehalt von 40–44 % gebracht wurde. In der Rösttrommel erfolgt bei 60–75 °C innerhalb von drei Stunden eine Verflüssigung und Verzuckerung des Korninhaltes, auch bildet sich reichlich löslicher Stickstoff, der Säuregrad erhöht sich. Anschließend wird auf Temperaturen von 120–180 °C erhitzt.

Hier bilden sich die typischen Karamellsubstanzen aus. Durch das Entweichen der Heißluft werden reichlich Aromastoffe wie Streckeraldehyde, Furfural und heterocyclische Verbindungen mit den Dampfschwaden entfernt. So weisen z. B. Karamellmalze gleicher Farbentiefe wie das dunkle Münchner Malz wesentlich niedrigere Gehalte an diesen Substanzen auf. Auch dunkles Karamellmalz zeigt bei Berechnung auf gleiche Farbentiefe wie z. B. dunkles Münchner Malz wesentlich niedrigere Gehalte. Dies ist für den Einsatz dieser Malze, z. B. bei hellen Bieren im Hinblick auf Geschmack und Geschmacksstabilität von großer Bedeutung.

Bei den hohen Temperaturen werden die Enzyme inaktiviert und die Eiweißkörper völlig verändert.

Helles Karamellmalz lässt sich in zwei Farbkategorien einteilen: 20–30 und 30–40 EBC-Einheiten. Der Wassergehalt des vor allem bei niedrigeren Farben noch weichen Korns ist um 2–3 % höher, der Extraktgehalt dagegen liegt, durch die Verluste beim Röstvorgang um 1,2–1,6 % niedriger als bei hellem Malz aus derselben Gerste, der Eiweißlösungsgrad fällt um 7–8 %, liegt also bei rund 32 %. Die Viskosität der Kongresswürze ist um 0,1 mPa s höher, der pH um 0,5 % niedriger, was durch den Anstieg der Titrationsacidität bestätigt wird.

Dunkles Karamellmalz wird entsprechend länger bei Rösttemperatur gehalten. Es weist drei Farbkategorien auf: 80–100, 110—130 und 140–160 EBC-Einheiten. Die Extraktverluste sind um weitere 2 % höher, d. h. um 3,2–3,6 % insgesamt. Der pH liegt bei 5,3, die anderen Werte verändern sich gegenüber dem hellen Karamellmalz nur geringfügig.

Eine Zwischenstufe stellt Karamellmalz dar, das bei einer Farbe von 35–50 EBC der Würze bzw. dem Bier einen rötlichen Farbton verleiht.

„Aromamalze“ weisen Farbtiefen von ca. 250 EBC auf, sie können bei dunklen bzw. Spezialbieren mit einem intensivem Malzaroma beitragen.

Um den Röstapparat besser auszunützen, wird das Grünmalz am letzten Keimtag durch Abschalten der Lüftung einer Erwärmung auf 40–50 °C überlassen (s. Brühmalz). Hierdurch werden niedermolekulare Abbauprodukte gebildet, die eine „Verzuckerungsrast“ bei 70 °C in der Rösttrommel von nur 1–1 1/2 h ermöglichen. Die Führung des Karamellisierungsprozesses ist die übliche.

Sehr helles Karamellmalz, das nur eine Farbe von 3,5–6 EBC-Einheiten hat, wird 45–60 min in Röstapparaten bei 60–80 °C einer Verflüssigung des Korninhalts ausgesetzt und anschließend auf der Darre bei 55–60 °C getrocknet.

Es können auch aus Weizen, Roggen oder anderen Getreidearten sowohl Röst- als auch Karamellmalze hergestellt werden. Da sich hier immer wieder neue Entwicklungen ergeben, können die jeweiligen Sortimente bei den Spezialmalzfabriken erfragt werden.

Aus Röst- und Karamellmalzen werden auch Extrakte in flüssiger und fester, sprühgetrockneter oder granulierter Form sowie „Karamellmalzbiere“ (wie Röstmalzbiere) hergestellt.

Ein Weg führt über entspelzte Karamell- oder Farbmalze (die heute hauptsächlich verwendete Bezeichnung ist „Röstmalze“), über eine Feinvermahlung zur Granulierung. Die Granulierung vermindert die hygroskopischen Eigenschaften des „Malzpulvers“, das weder verstaubt noch verbackt. Es kann in der Würzepfanne zugesetzt werden und löst sich rasch auf. Je nach Verwendungszweck werden Farben von 30, 100, 300 und 1000 EBC angeboten.

Es kann auch eine Würze hergestellt werden, wobei hierfür meist ein Maischefilter zur Trennung herangezogen wird, der die Herstellung höherprozentiger Würzen erlaubt. Dieser Würzeextrakt wird nun zur Sterilisation kurzzeit- oder ultrahochkurzzeit erhitzt und anschließend und nach Eindampfen im Vakuum ein Extrakt gewonnen, der der Würze bei Kochende oder im Heißwürzestadium zugegeben werden kann.

Wird der Prozess ab Maischefilter über Würzekochung, Gärung, Klärung, Eindampfung und aseptische Verpackung bis zum Bier geführt, dann kann es, ähnlich dem Röstmalzbier, vor dem Bierfilter zur Korrektur der Farbe, der Vollmundigkeit und generell des Biercharakters zugegeben werden. Über die Zulassung dieser Produkte hat sich der Verarbeiter zu informieren.

1.9.4.3 *Melanoidinmalze* sind aus den früheren „Brühmalzen“ abgeleitet worden, wobei es die mo-

dernen Keimanlagen erlauben die Prozessbedingungen besser zu steuern. So wurde früher das Brühmalz in der Tennenmälzerei ein für dunkles Grünmalz bestimmter Haufen ca. 36 h vor Beendigung der Keimzeit auf eine Höhe von ca. 50 cm „zusammengesetzt" und verschiedentlich sogar unter Abdeckung mit Brettern oder Planen einer Selbsterwärmung überlassen. Diese erreichte Temperaturen von 40–50 °C, die aber dann infolge der Anreicherung von CO_2 nicht weiter anstiegen. In diesem Stadium häufen sich reichlich Abbauprodukte im Korn an, die infolge des zum Erliegen gekommenen Wachstums nicht bzw. kaum mehr für Atmungs- und Baustoffwechsel verwertet werden. Die Zucker (Invertzucker), Aminosäuren, niedere Peptide und organische Säuren führen dann beim Schwelken und Darren zu einer Fülle von Maillard-Produkten mit ausgeprägten reduzierenden Eigenschaften (daher auch die frühere Bezeichnung „rH-Malz"). Es genügen aber schon relativ niedrige Abdarrtemperaturen von 70–85 °C, um hohe Farbwerte von 40–60 EBC-Einheiten zu erzielen. Die Verzuckerungszeit der Kongressmaische beträgt 15–20 min, der Extraktgehalt ist um 1–1,5 % niedriger als bei dunklem Malz, der pH liegt ebenfalls um 0,1–0,15 (je nach Farbe) niedriger. Im Keimkasten sind bei ähnlicher Führung die Gegebenheiten etwas anders als auf der Tenne, da die gebildete Kohlensäure sich zunächst nicht im Gut anreichert, sondern in den Raum unter der Horde fällt und damit Frischluft von oben in den Haufen nachzieht. Die CO_2-Schicht baut sich naturgemäß in (älteren) Keimkasten mit niedrigerem Hordenraum rascher auf als in großen Einheiten mit ca. 2 m Raumhöhe unter der Horde.

Der Zusatz des Melanoidinmalzes kann zur Verstärkung von Farbe und Charakter von hellen Bieren ca. 5 % betragen, zur Herstellung von dunklen oder Spezialbieren bis zu 35 % der Menge des dunklen Malzes, ebenso bei Märzenbieren.

Die früher bei Tennenmalzen üblichen Probleme unkontrollierter Stoffwechselvorgänge mit Einflüssen auf Geschmack und biologische Stabilität sind bei der ordnungsgemäßen Herstellung in pneumatischen Mälzungssystemen nicht mehr gegeben.

1.9.4.4 *Spitzmalze* werden in einer Menge von 10–15 % zur Malzschüttung gegeben, um entweder ein sehr weitgehend gelöstes Malz zu kompensieren, oder um den Schaum der Biere zu verbessern. Ihre Herstellung erfolgt aus „spitzendem" Keimgut, das bei richtiger Führung schon von der Weiche aus verwendbar ist (s. Abschn. 1.3.6.2). Eine Abwandlung des (gedarrten) Spitzmalzes sind Gerstenmalzflocken oder Grünmalze entsprechenden Wachstums.

Grünmalze verderben in ganz kurzer Zeit, sie sind deshalb unmittelbar nach ihrer Entnahme aus der Keimanlage zu verwenden. Damit ist ihr Einsatz auf Brauereien mit eigenen Mälzereien beschränkt. Sie entsprechen aber nicht dem Biersteuergesetz, das bei Malz „eine Darrung" verlangt.

Kurzmalze werden etwa zwei Tage nach dem gleichmäßigen Spitzen oder nach der Hälfte der üblichen Weich- und Keimzeit gedarrt. Sie können in etwas höheren Anteilen zur Schüttung beigegeben werden, wobei aber die Abläuterzeit bei Läuterbottichen und die Filtrierbarkeit des Bieres zu beobachten sind.

1.9.4.5 *Sauermalze* dienen als Zusatz von 2–10 % zur Schüttung einer Verbesserung der Aciditätsverhältnisse während des Maischens. Hierdurch wird auch der Würze-pH, weniger stark aber der pH des Bieres, beeinflusst. Der wirksame Bestandteil dieser Spezialmalze ist Milchsäure. Diese kann durch Einweichen des Malzes bei einer Temperatur von 45–48 °C im Verlauf von 24 h von den auf dem Malz vorkommenden Milchsäurebakterien gebildet werden. Die „Mutterlösung" wird abgelassen und kann zur Säuerung anderer Partien herangezogen werden. Das gesäuerte Malz wird vorsichtig getrocknet und entsprechend einer gewünschten Farbe von unter 6 EBC-Einheiten abgedarrt.

Es kann aber das Sauermalz auch aus Grünmalz mittels einer aus biologisch gewonnener Milchsäurelösung besprengt werden. Diese Milchsäure ist, wie oben geschildert, nach einem besonders genehmigten Verfahren hergeführt worden, z. B. durch Beimpfen einer Vorderwürze mit diesen Milchsäurebakterien bei 47 °C (s. Abschn. 2.1.3.15).

Bei einem Milchsäuregehalt von 2–4 % weist der wässrige Auszug einen pH-Wert von ca. 3,8 auf. Ein wässriger Auszug kann mit Vorteil zum Säuern der kochenden Pfannenwürze verwendet werden (s. Abschn. 2.5.3).

1.9.5 Die Kleinmälzung

Die Kleinmälzung gestattet es, kleine Gersten- bzw. Getreidemengen von 50–1000 g unter definierten Keimbedingungen (Feuchte, Temperatur, Zeit) zu Malz zu verarbeiten. Dabei kann das Verhalten des Gutes bei der Keimung festgestellt werden. Je nach vorliegender Malzmenge ist es möglich, einfache Analysen, Standardanalysen und Sonderuntersuchungen vorzunehmen. Außerdem dienen diese Malze für Brauversuche in entsprechenden Kleinbrauanlagen.

Die Kleinmälzung kann am Beispiel von Braugerste für folgende Aufgaben eingesetzt werden:

a) zur Beurteilung des Brauwertes von Gerstenneuzüchtungen,
b) zur (frühzeitigen) Prüfung des Mälzungsverhaltens und der Malzeigenschaften eines neuen Jahrgangs,
c) zur Ermittlung der Mälzungseignung und der Malzqualität von wenig bekannten Sorten bzw. Importgersten,
d) zur Erarbeitung des optimalen Mälzungsverfahrens bei a, b und c,
e) zur Kontrolle der Praxismälzung im Ganzen oder in den verschiedenen Abschnitten.

Die ursprüngliche Art der Kleinmälzung in der „Weihenstephaner Klimakammer" im Chargenverfahren ist mit kleinen Korrekturen nach MEBAK auch heute noch gültig:

Weichen: 5 h nass, 19 h trocken, 4 h nass, 20 h trocken, 2 h nass, nach insgesamt 72 h Einstellen der Keimgutfeuchte auf 45 %. Lufttemperatur 14 °C, Luftfeuchte 95 %, Guttemperatur 14,5 °C, gesamte Weich- und Keimzeit 144 h. Der Grünmalzwassergehalt muss 45–45,5 % betragen.

Schwelken 16 h bei 50 °C (Wassergehalt soll unter 10 % liegen), Aufheizen auf 80 °C in 2 h, Darren bei 80 °C 3 h bzw. bis zu einem Endwassergehalt von 4,0 ±0,5 %.

Für andere Getreidearten kann (s Abschn. 1.9) das Standardverfahren zur Orientierung ebenfalls angewendet werden, doch ist es verschiedentlich notwendig, anhand der „Statistikmälzung" mit jeweils drei verschiedenen Keimgutfeuchten, Keimtemperaturen und Keimzeiten bei konstantem Schwelk- und Darrverfahren die günstigsten Parameter der Mälzung festzustellen, um eine optimale Malzbeschaffenheit für eine jeweils bestimmte Verwendung eines Malzes (z. B. Braumalz, Diastasemalz, Nährmittel) zu finden.