

Zur Vorhersagbarkeit der Geschmacksstabilität (Teil 2)

BIERGESCHMACK | Die komplexen Mechanismen der Bieralterung bieten der Brauwissenschaft nach wie vor ein breites Spektrum an Forschungsmöglichkeiten. Eine Umwandlung dieser zahlreichen Ergebnisse in eine für die Qualitätssicherung in der Brauerei anwendbare Leitgröße oder Stabilitätskennzahl scheint jedoch nur schwer umsetzbar. Im Folgenden werden praktisch ausgearbeitete und bereits veröffentlichte Methoden vorgestellt, welche eine Vorhersagbarkeit der Geschmacksstabilität mit einfachen Mitteln und geringem apparativen Aufwand ermöglichen. Teil 1 in BRAUWELT Nr. 7, 2013, S. 184 ff., hatte sich mit der Einschätzbarkeit der Geschmacksstabilität beschäftigt.

DIE SENSORIK IST nach wie vor die bedeutendste Methode zur Abschätzung der Geschmacksstabilität, da die Berechnung einer Stabilitätskennzahl nur für frisch abgefüllte Biere, ohne übermäßige Sauerstoffbelastung, sinnvoll ist. Nach Back ist die Beeinflussung der Analytik durch die Vorgänge im Alterungsverlauf zu komplex, als dass sie durch eine einfache Kennzahl beschrieben werden kann [1].

Auszug ausgewählter sensorischer Prüfmethoden

Begleitende Verkostungen einer echtzeitgealterten Charge

Begleitende Verkostungen einer echtzeitgealterten Charge (S1) sind auf den ersten



Autoren: Dipl.-Ing. Dario Cotterchio und Dr.-Ing. Fritz Jacob, Forschungszentrum für Brau- und Lebensmittelqualität, TUM, Freising

Blick für die Brauerei aus zeitlichen und logistischen Gründen nur wenig sinnvoll. Obwohl das zusätzliche Training zur sensorischen Verfeinerung des betriebseigenen Verkosterpanels beitragen kann, ist das Bier in der Regel verkauft, bevor die ersten Alterungserscheinungen auftreten. Daher wird

diese Methode in der Qualitätssicherung nur selten angewandt. Jedoch ist sie notwendig, um das gegebene Mindesthaltbarkeitsdatum praxisnah mit der Geschmacksstabilität zu validieren. In einem Langzeitexperiment wurde am Forschungszentrum Weihenstephan mit verschiedenen Ansätzen die Aussagekraft dieser Methode geprüft. Fünf Chargen sortengleiches helles Vollbier aus einer Brauerei wurden 369 d bei 20 °C gealtert und in verschiedenen Abständen (die ersten 100 d zwischen 5 und 10 d, später in deutlich längeren Zyklen) mit mindestens fünf geschulten Prüfern verkostet. Die Probenreihen 1-3 waren drei verschiedene unbehandelte Chargen, die Reihe 4 „1, mit Vit C“ war ein Teil der Charge 1, welche mit 7,5 mg/l Ascorbinsäure versetzt wurde und die Reihe 5 „1, 1 Tag offen“ war ein Teil der Charge 1, welche erst 22-24 h nach dem Füllen verschlossen wurde. Durch die Reihe 5 wird beispielsweise ein hoher Sauerstoffeintrag am Füller simuliert. Die Verkostung wurde nach dem DLG-Schema durchgeführt [2]. Von der

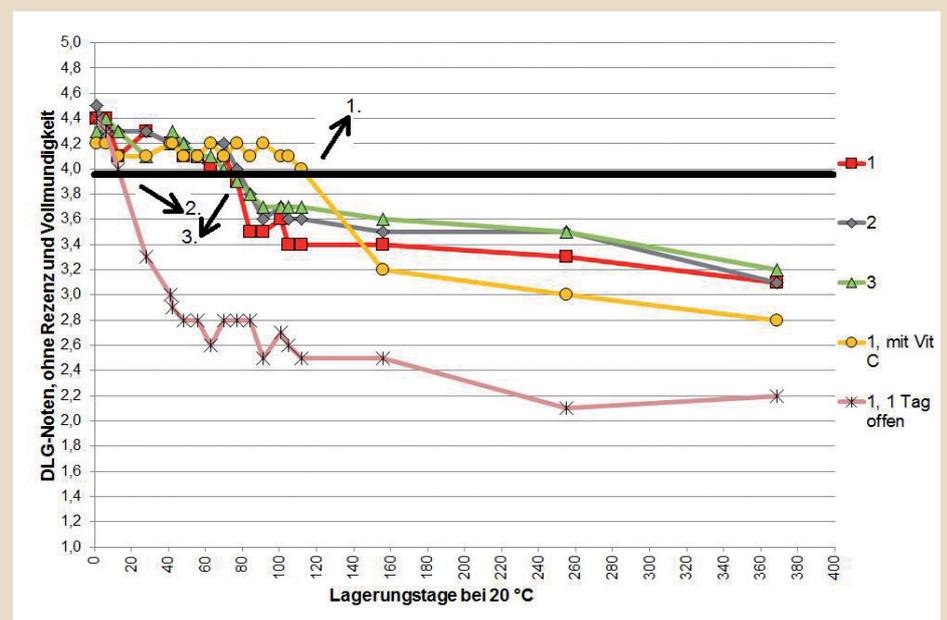


Abb. 1 Alterungsentwicklung der gewichteten DLG-Kriterien Geruch, Geschmack und Bittere bei einer 20°C-Lagerung fünf verschiedener Biere über mehr als ein Jahr

Alterung unabhängige Geschmacksfehler wurden nicht berücksichtigt. Die Benotung der Biere fand in Halbnotenschritten statt. Der Umfang der Kriterien wurde auf Alterungserscheinungen in Geruch, Trunk und der Bittere beschränkt [3, 4]:

$$\text{gewichtete Note} = \frac{2 \times \text{Geruch} + 2 \times \text{Trunk} + \text{Bittere}}{5} \quad (1)$$

In der Abbildung 1 ist zu erkennen, dass sich der Alterungsverlauf der Proben „1“-„3“ kaum voneinander unterscheidet. Dies spricht für konstante Produktionsbedingungen ohne nennenswerten Oxidationseintrag. Die Grenze, ab der die Alterung wahrgenommen wird (dargestellt durch die Horizontale knapp unterhalb des Werts von 4,0 auf der y-Achse), tritt stets zwischen den Tagen 77 und 84 auf (siehe Markierung „à 3.“). Erstaunlicherweise liegt auch nach 369 Tagen die gewichtete Note nicht unter 3,0, sodass im gesamten Bewertungszeitraum von einer dauerhaften Konsumentenakzeptanz ausgegangen werden kann. Das von der Brauerei gegebene Mindesthaltbarkeitsdatum in Höhe von einem Jahr ist als zutreffend zu werten. Wird der Verlauf von „1, mit Vit C“ betrachtet, ist zu beobachten, dass die sauerstoffseitige Stabilisierung mit Ascorbinsäure die Geschmacksstabilität um mindestens 35 Tage verlängert („à 1.“ im Vergleich zu „à 3.“). Dies zeigt der Brauerei, dass sauerstoffseitig noch Optimierungspotenzial herrscht. Mit der Versuchsreihe „1, 1 Tag offen“ wurde belegt, dass ein undefinierter Luftsauerstoffeintrag bereits nach zwei Wochen Lagerung zu einer deutlich wahrnehmbaren Alterung führt. Da diese Methode äußerst aufwändig ist und viel Zeit und Erfahrung in Anspruch nimmt, wurde an anderen sensorische Prüfkonzepten gearbeitet, welche mit geringerem Zeitaufwand Rückschlüsse auf die Stabilität ziehen können.

Temperaturempfindlichkeit des Bieres

Die Temperaturempfindlichkeit des Bieres (S2) kann Rückschlüsse über die Dauer der geschmacklichen Stabilität bei üblichen Lagerungsbedingungen liefern. Durch Anwendung der Arrhenius-Gleichung

$$k_{t+10} = 2 \sim 3 k_t \quad (2)$$

wobei Geschwindigkeit der chemischen Reaktion und die Reaktionsgeschwindigkeit ist, wenn die Temperatur um 10 °C erhöht wird, lassen sich direkte Aussagen über die

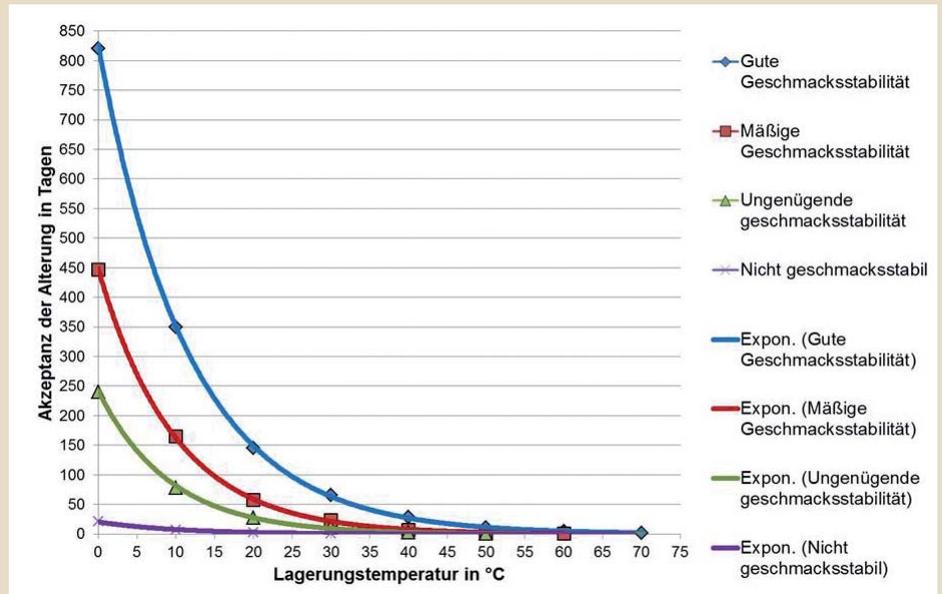


Abb. 2 Temperaturabhängige Stabilitätskurven unterschiedlich haltbarer Biere nach dem Prinzip der Arrhenius-Gleichung [5]

Hitzestabilität des Bieres machen. D.h. wird die Temperatur um 10 °C erhöht, so laufen die chemischen Reaktionen, welche zur Bildung alterungsbedingter Fehleraromen führen können, mit der zwei- bis dreifachen Geschwindigkeit ab. Dies zeigt einmal mehr, dass auch nach dem Vertrieb durch die Brauerei die Bierpflege zu den bedeutendsten QS-Kriterien zählt [5]. In Abbildung 2 sind nach einem Beispiel [5] musterhaft die temperaturabhängigen Verläufe für unterschiedlich geschmacksstabile Biere aufgezeichnet. Es wurden vier Klassen der Geschmacksstabilität für unstabiliertes helles Vollbier postuliert [6].

Die Idee war, dieses theoretisch vorliegende Alterungsverhalten durch spezielle Alterungsverkostungen nach Eichhorn zu prüfen [3]. Dabei wird in Halbnotenschritten eine Alterungsbewertung zwischen einem Punkt (keine Alterung erkennbar) und vier Punkten (stark gealtert) für die Merkmale Geruch, Trunk und Bittere gegeben. Die Gewichtung der Kriterien entspricht der Gleichung 1. Nun sollte es möglich sein, anhand von Verkostungsreihen bei 40 °C und 50 °C, welche verhältnismäßig wenig Zeit in Anspruch nehmen,

die Stabilität bei der 20 °C-Lagerung zu berechnen. Als Beispiel sind daher in Tabelle 1 alle aus der 20 °C-Lagerung hervorgehenden gemittelten Einzelergebnisse aufgelistet. Beispielhaft ist auch die Alterungsakzeptanz in Tagen bei der 40 °C-Lagerung angefügt. Analog dazu wurden die Haltbarkeitstage für 0 °C, 10 °C, 30 °C, 50 °C, 60 °C und 70 °C ermittelt und in Tabelle 1 grafisch zusammengefasst. Die rot markierten Zellen zeigen auf, dass die Probe signifikante Alterungserscheinungen aufweist.

So lässt sich erkennen, dass mit den zwei Messpunkten 30 °C und 40 °C sich die zu erwartende Haltbarkeit bei 20 °C vorhersagen lässt. Die Unter- und Obergrenze nach Arrhenius aus der Gleichung 2 ist natürlich zu beachten. Über 50 °C und 60 °C ist dies nur noch bedingt möglich, da die Biere sich bei zu hohen Temperaturen alle sehr ähnlich verhalten. Die Methode ermöglicht

AUSZUG AUS DER VERKOSTUNG ...

... bei 20 °C gelagerter Proben mit Angabe der gemittelten Alterungsakzeptanz des jeweiligen Tages und der Tag ab dem bei der 20 °C- und 40 °C-Lagerung eine Alterung erkannt wurde

Nr.	20 °C-Reihe						Alterung ab Tag x +/- 7	40 °C-Reihe
	nach Tag	Geruch	Trunk	Bittere	Gewichtete Note	Akzeptanz in %		
1	98	2,0	2,0	1,5	1,9	52,5	127	26
	134	2,5	2,5	2,5	2,5	37,5		
2	98	1,5	1,0	1,0	1,2	70,0	202	21
	134	1,5	1,5	2,0	1,6	60,0		
3	98	1,5	1,0	1,5	1,3	67,5	160	52
	134	2,0	1,5	2,0	1,8	55,0		
4	98	1,5	1,0	2,0	1,4	65,0	281	68
	134	1,5	1,0	1,5	1,3	67,5		
5	98	3,5	3,5	3,0	3,4	15,0	12	0
	134	4,0	3,5	3,5	3,7	7,5		

Tab. 1

auch (Abb. 3 „Charge 1, 1 Tag offen“ und „Charge 1, mit Ascorbinsäure“), dass stark geschädigte und stabilisierte Biere zuverlässig erkannt werden können.

Forcierte Alterung

Die forcierte Alterung (S3) wird eingesetzt, um längere Transport- und Lagerungsbedingungen zu simulieren. Die Proben werden bei Raumtemperatur 24 h mit 70 Bewegungen/min horizontal geschüttelt und im Anschluss vier Tage bei 40 °C gelagert. Dies entspricht einer natürlichen Alterung von drei bis vier Monaten bei 20 °C. Eine Vergleichsverkostung des frischen mit dem forciert gealterten Bier erlaubt eine schnelle Einschätzung über die zu erwartende Geschmacksstabilität [3]. Wird der Alterungsindex nach *Lustig* herangezogen, so ist der Vergleichszeitraum geringfügig niedriger (2,5 - 3 Monate) [7]. Durch den verstärkten thermischen Einfluss entwickeln sich jedoch vermehrt Alterungskomponenten mit sehr niedrigen Schwellenwerten [8]. Der dabei wahrgenommene Aromaeindruck, wird als pappe- oder kartonartig beschrieben. Verantwortlich sind die Substanzen 5-Methylfurfural mit einem Geschmacksschwellenwert von < 10 mg/l und t-2-Nonenal mit ein Wert von 0,01 - 2 µg/l [9]. Die forcierte Alterung erlaubt zwar eine schnelle Beurteilung der Geschmacksstabilität der Biere, hat aber den Nachteil, dass es nur eine Simulation des gewöhnlichen Alterungsprozesses erlaubt und den natürlichen Lagerungsbedingungen des Bieres beim Endkunden wenig ähnelt, da die vermehrte Bildung der

Wärmeindikatoren den Aromaeindruck dominiert [10]. Spezielle Profilverkostungen (S4) können Abhilfe schaffen. Dabei wird zwischen den sortentypischen Frische- und Alterungseigenschaften des Bieres unterschieden. Die spezifischen Alterungsaromaeindrücke lassen sich mit Merkmalen wie beerenartig, süßlich, karamellartig, brotartig, säuerlich, muffig, pappeartig, sherryartig, ledrig, fruchtig-faulig, etc. beschreiben. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala zwischen 0 (nicht erkennbar) und 9 (dominant) [6]. Ist der Alterungsgeschmack bei der natürlichen Alterung des Bieres bekannt (S1), kann somit der spezielle Aromaeindruck welcher aus der Art der Alterung hervorgeht besser eingeschätzt werden. Erfahrungen aus der Industrie haben gezeigt, dass mit diesem Testverfahren die Qualitätssicherer in der Lage sind, alterungsbedingte Fehleraromen, wenn sie vom üblichen Geschmacksprofil abweichen, zu bestimmen, um sie dann den jeweiligen technologischen Mängeln zuzuordnen. Für jede Brauerei bedarf es jedoch viel Zeit, die sortentypische und methodenbedingten Ausprägung der Alterungsaromen festzulegen und auszuwerten. Außerdem kann ein Wechsel im Verkosterpanel zu einer dramatischen Verschiebung der Durchschnittswerte führen.

Alterung bei 28 °C (S5)

Die Alterung bei 28 °C (S5) nach 4-8 Wochen Lagerung führt zu einer guten Zeiteinsparung und kommt nach *Meyna* den Bedingungen der Echtzeitalterung am nächsten, da die thermische Geschmacksausprägung

minimiert wird [11]. So konnte die Bildung der aromadominierenden oxigenierten Fettsäuren eingeschränkt werden. Anders als beim Versuchsaufbau von S2, wo große Kapazitäten an verschiedenen Brutschränken notwendig sind, ist der große Vorteil dieser Methode, dass sich meist die vorhandene Kapazität des 28 °C-Bebrütungsschranks (oder -raumes) nutzen lässt. Versuche haben gezeigt, dass Biere die ersten vier Wochen überstehen müssen, da sie sonst von einem Teil der Konsumenten nicht mehr als Geschmacksstabil gewertet werden können (s. untere Arrhenius-Grenze in Abb. 3) und zur Ablehnung durch den Konsumenten führen.

Auszug ausgewählter analytischer Prüfmethode

Ein hohes Reduktionsvermögen muss nicht unbedingt eine hohe Bierstabilität zur Folge haben [1]. Häufig ist der Ruf der Methoden jedoch schlechter als ihre Aussagekraft.

Photometrischer ITT

Die Bestimmung des spektralphotometrischen Reduktionsvermögens mittels DPI (2,6-Dichlorphenolindophenol) nach MEBAK, auch photometrischer ITT (A1-1) (Indikator-Time-Test) genannt, hat sich als Standard in der Routineanalytik etabliert [12]. Versuche haben gezeigt, dass die Methode schnell und einfach durchzuführen ist. Sie erlaubt eine allgemeine quantitative Aussage (d. h. verschiedene Sorten und Charge sind direkt miteinander vergleichbar), gibt den Wirkungsgrad der schnell reduzieren Bestandteile als Summenparameter wieder und lässt grobe Produktionsfehler, wie die Verschleppung von Reinigungsmitteln, erkennen. Sie erlaubt auf jeden Fall eine Abschätzung des Abpufferungsvermögens gegenüber starken Oxidantien. Allerdings ist die Vorhersagbarkeit der Bildung sortenspezifischer Alterungskomponenten zur Eingrenzbarekeit der nicht-biologischen Haltbarkeit nicht möglich, da nur ein Teil der reduzierenden Substanzen ermittelt wird. Aussagen zu den Matrixeffekten zwischen der oxidativen und reduktiven Spezies sind nur bedingt möglich. Außerdem ergaben Versuche, dass das Reduktionsvermögen nur für frisches Bier aussagefähig ist. Sowohl unbehandelte als auch mit starken Antioxidantien stabilisierte Biere veränderten nach mehrfacher forcierter Alterung ihr Reduktionsvermögen nicht, obwohl

das Alterungsaromaprofil und die analytisch erfassten Alterungskomponenten stark angestiegen waren [13]. Dies spricht zumindestens dafür, dass der während der Messung eingetragene Luftsauerstoff zu vernachlässigen ist. Weitere Fehlerquellen sind die tatsächlichen Konzentration des schwerlöslichen DPI und der unterschiedliche Wassergehalt des hygroskopischen DPI.

Visueller ITT

Falls eine kleinere Brauerei kein Spektralphotometer zur Verfügung hat, kann auf den visuellen ITT (A1-2) mit Blockkomparator zurückgegriffen werden [12]. Hier spielt die Routine und Objektivität des Anwenders eine entscheidende Rolle, sodass es zu groben Ergebnisabweichungen mit der spektralphotometrischen Methode kommen kann. Da bei diesen Verfahren stets eine Modellreaktion abläuft, für die ein Oxidationsmittel wie DPI oder auch DPPH zugegeben werden muss, liegen die Bierreduktone in einem bereits veränderten Milieu vor. So ist von *Burkert* eine Methode beschrieben, welche die elektrochemisch aktiven Bestandteile direkt an einer Arbeitselektrode reagieren lässt [14].

Elektrochemischer ITT

Beim elektrochemischen ITT (A1-3) mittels eines Analysenautomaten wurde das durch die Bierreduktone reduzierte, farblose DPI nicht photometrisch, sondern durch Rückoxidation bei einer spezifischen Spannung bestimmt. Als Kalibriergröße wurde eine schnellreduzierende Substanz (Ascorbinsäure) gewählt. Der resultierende Strom wird gemessen und erlaubt durch den Zeitpunkt des Stromanstiegs eine Einteilung der Reduktone in unterschiedliche Klassen. Die jeweiligen Stromanstiege sind proportional zu der Menge der in den jeweiligen Zeitabschnitten reduzierenden Substanzen. So konnte aus den jeweiligen Steigerungen der Stromstärke nach 4 (langsam), 10 (mittelschnell) bzw. 15 min (schnell reduzierend) die Anteile der jeweiligen Reduktonklassen errechnet werden. Im Gegensatz zur photometrischen Detektion können mit dieser Methode auch dunkle und trübe Proben bestimmt werden. Trotz des hohen apparativen Aufwands der Analytik entfällt die Probenvorbereitung, wie Filtration oder Zentrifugation, welche die Ergebnisse verfälschen kann [14]. *M.R. Pöschl* konnte mit dieser Methode gute Korrelationen mit dem tatsächlichen Geschmack bei überstabilisierter Bieren aufstellen [15].

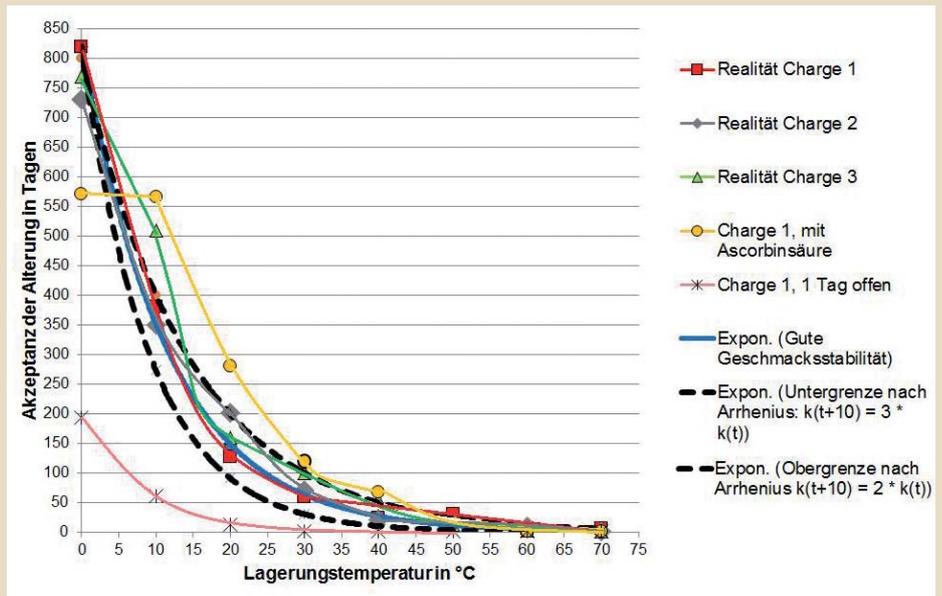


Abb. 3 Minimal und maximal theoretischer Spielraum der Geschmacksstabilität bei drei unbehandelten und zwei behandelten Bieren

Schnellmethoden

In der Literatur existieren zahlreiche Schnellmethoden, um die Geschmacksstabilität voraussagen zu können. Dabei haben sich zwei Methoden in großen Zentral- oder Auftragslaboren etabliert. Dies sind die Elektronenspinresonanzspektrometrie (ESR) (A2) und die Chemilumineszenzmessung (CL) (A3). Beide erfassen oxidative Radikalreaktionen, welche durch Erwärmen hervorgerufen werden. Da sie jedoch für die Routineanalytik apparativ recht aufwändig und teuer sind, werden weitere, in der Probenvorbereitung zwar etwas aufwändigere, jedoch deutlich günstigere Schnellmethode vorgestellt [16]. Zur Bestimmung des Adsorptionsintegrals (AI) (A4) wird lediglich eine Wasserdampf-Destillationsapparatur und ein Spektralphotometer mit passendem Messprogramm und Integrationssoftware benötigt [17]. Seine Anwendung sollte sich aber auf die technologische Optimierung des Produktions- und Abfüllungsprozesses beschränken. D.h. es lassen sich oxidative Schädigungen des Produktes erkennen, jedoch ist hier eine Vorhersage der Geschmacksstabilität nur tendenziell durchführbar [16]. Eine weitere Schnell-

methode ist die Bestimmung der Anilinzahl (AZ) (A5). Sie ist eine analytische Kennzahl zur Ermittlung der Wärmebelastung von untergärigen hellen Vollbieren während der Lagerung. Benötigt wird ein Rotationsverdampfer und einige Reagenzien, wie Anilin und Eisessig. Die Rotfärbung des Destillats wird spektralphotometrisch gemessen. Neben zuverlässigen Rückschlüssen auf die Wärmebelastung des abgefüllten Bieres während der Lagerung, ist zusätzlich ein hoher Korrelationskoeffizient der Alterung nach DLG mit 0,88 (n=63 deutsche Biere) belegt. Die Methode lässt weiterhin eine Überprüfung der Gär- und Lagerdauer in Bezug zur Geschmacksstabilität zu. Auch sie ist jedoch global nicht anwendbar und besitzt außerdem zum geschmacklich dominierenden t-2-Nonenal keine Korrelation [18, 19]. Umfragen erbrachten, dass die Methode nahezu verschwunden ist.

Bis jetzt konnte der positive Effekt von Polyphenolen (A6) (inklusive Polymerisationsindex) im fertigen Bier auf die Geschmacksstabilität nur bedingt belegt werden [20]. Versuche zeigten, dass Polyphenole im Brauprozess messbare Veränderungen bewirken, jedoch keine Abnahme während der forcierten Alterung oder durch Oxidation des abgefüllten Bieres mit Sauerstoff erfahren. Der Schwefeldioxidgehalt (A7) hingegen nahm, sowohl durch natürliche als auch durch forcierte Alterung deutlich ab [21]. Da das Schwefeldioxid nachweislich ein starkes Reduktionsmittel des Bieres ist, lohnt sich seine regelmäßige Bestimmung [20].

Aus der Vergangenheit sind zahlreiche Forschungstätigkeiten zur Bestimmung des Redoxpotenzials bekannt [22, 23]. Da das Redoxpotenzial sowohl die aktiven Reduktoren und Oxidantien als auch deren Matrixeffekte erfasst, hat die Arbeitsgruppe „Redoxpotential“ des Forschungszentrums in Anlehnung an die DIN 38404 C6 eine Testmethode zur Bestimmung der Langzeitgeschmacksstabilität von Bier entwickelt. Da die Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind, werden die Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt vorgestellt.

■ Fazit

Abschließend bleibt zu sagen, dass die Bestimmung der zu erwartenden Geschmacksstabilität auf das Sortenprofil der Brauerei zugeschnitten werden muss und nur tendenziell ermittelt werden kann. In der richtigen Kombination angewandt, erhöhen diese Methoden jedoch nicht nur die Produktqualität und Verbraucherezufriedenheit, sondern sorgen auch für eine Erhöhung der Sensibilität gegenüber dem Frischeprodukt Bier. Selbst wenn Halbwertszeit und Intensität der Frische nicht direkt messbar sind, ist die Bevorzugung von frischem gegenüber gealtertem Bier unbestritten. Daher muss jede Brauerei wissen, dass sich eine Investition in die Konservierung des Frischegeschmacks dauerhaft lohnt. Falls eine Brauerei hier vorgestellte Methoden anwendet, empfiehlt es sich, diese nach Abbildung 2 aus Teil 1 zu bewerten. ■

■ Literatur

1. Back, W. (Hrsg.): „Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie“. 2. Aufl. Nürnberg. Fachverlag Hans Carl GmbH, 2008. ISBN 978-3-418-00802-8.
2. Miedaner, H. (Hrsg.): „Band II. Metho-

densammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK)“. 4. Aufl., Freising-Weihenstephan. Selbstverlag der MEBAK, 2002, S. 208.
3. Eichhorn, P.: „Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres“. TU München, Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaften, Diss., 1987.
4. Gastl, M.: „Technologische Einflussnahme auf den Lipidabbau im Sinne einer Verbesserung der Geschmacksstabilität des Bieres“. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Diss., 2006.
5. Bamforth, C.W.: „A Critical Control Point Analysis for Flavor Stability of Beer“. Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas 41, 2004, S. 97-103.
6. Cotterchio, D.; Jacob, F.: „Möglichkeiten zur Vorhersagbarkeit der Geschmacksstabilität des abgefüllten Bieres“. 7. Weihenstephaner Praxisseminar. Geschmacksstabilität des Bieres – Probleme und Lösungsansätze. Forschungszentrum Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität, Schaffhausen, 2012.
7. Lustig, S.: „Das Verhalten flüchtiger Aromastoffe bei der Lagerung von Flaschenbier und deren technologische Beeinflussung beim Brauprozess.“ TU München, Fak. Brau, Lemi u. Milch., Diss., 1994.
8. Palamand, S.R.; Hardwick, W.A.: „Studies on the Relative Flavor Importance of some Beer Constituents“. MBAA Techn. Quart. 6 (1969), S. 117-128.
9. Hanke, S.; Becker, T.: „Geruch und Geschmack von Bier“. Vorlesung Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie des Sommersemesters 2010, Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising.
10. Preuß, T.: „Technologische Maßnahmen zur Erzielung malzaromatischer dunkler Biere hoher Geschmacksstabilität nach Charakterisierung der Schlüsselaromastoffe in ausgewählten dunklen Bieren“. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Diss., 2001.
11. Meyna, S.: „Freie und Triglyceridgebundene Hydroxyfettsäuren in Gerste und Malz und ihre Bedeutung für die Geschmacksstabilität des Bieres“. TU Berlin, Fakultät III – Prozeßwissenschaften, Diss., 2005.
12. Jacob, F. (Hrsg.): „MEBAK brautechnische Analysenmethoden. Würze, Bier, Biermischgetränke“. 1. Aufl., Freising-Weihenstephan. Selbstverlag der MEBAK, 2012.
13. Reinoso Cornejo, G.B.: „Langzeitversuchsreihe mit Bestimmung des Redoxpotentials und Abgleich des Reduktionsvermögens durch die Zugabe von Ascorbinsäure in abgefülltem Bier“. TU München, Wissenschaftszentrum, Masterth., 2012.
14. Burkert, J.: „Estimation of beer quality with different classes of reductones.“ TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Diss., 2005.
15. Pöschl, M.R.: „Die kolloidale Stabilität untergäriger Biere – Einflussmöglichkeiten und Vorhersagbarkeit“. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Diss., 2009.
16. Wackerbauer, K.; Zufall, C.; Legrand, J.: „Früherkennung der geschmacklichen Instabilität des Bieres – Vergleich der Methoden Chemilumineszenz und Absorptionsintegral“. BRAUWELT 40-41, 1999, S. 1796-1803.
17. Klein, H.; Krammer, R.; Natter, M.: „Schnellbestimmung zur Vorhersage der Geschmacksstabilität von Bier“. Proceedings of the 26th EBC Congress, Maastricht, NL, 1997, S. 553-560.
18. Urban, A.; Aichinger, K.; Klein, H.; Huber, C.: „Verhalten von Absorptionsintegral und Anilinzahl während der Bierherstellung 2“. BRAUWELT 17, 2002, S. 598-602.
19. Urban, A.; Aichinger, K.; Klein, H.; Huber, C.: „Absorptionsintegral und Anilinzahl“. BRAUWELT 49, 2002, S. 1880-1883.
20. Franz, O.: „Systematische Untersuchungen zur endogenen antioxidativen Aktivität von hellem, untergärigem Bier unter besonderer Berücksichtigung technologischer Maßnahmen beim Brauprozess“. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Diss., 2004.
21. De Stefano, F.: „Ermittlung molekülverändernder Prozessschritte im Kaltbereich der Bierbereitung im Vergleich zu chemisch-technischen Messgrößen nach MEBAK“. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Masterth., 2012.