
1. Einleitung

In allen handwerklichen oder industriellen Produktionsprozessen erfordert die Steuerung oder Regelung der Verfahrensabläufe Kenntnisse zum aktuellen Stand des Prozesses oder zum Ablauf der einzelnen Verfahrensschritte. Diese Kenntnisse werden durch Messung der die den Prozess beschreibenden, meist physikalischen Größen gewonnen.

Wichtige Messgrößen sind in Mälzerei, Brauerei und Getränkeindustrie:

- die Temperatur
- der Druck
- der Füllstand
- die Durchflussmenge und Volumenstrom
- die Masse und der Massenstrom
- die Leitfähigkeit
- die Zeit.

Weitere relevante Messgrößen sind beispielsweise:

- der pH-Wert
- die Trübung des Bieres
- der O₂-Gehalt von Würze, Bier oder CO₂
- der CO₂-Gehalt der Getränke
- der Ethanolgehalt
- der Stammwürze- oder Extraktgehalt bzw. die Dichtemessung
- die Messung der Hefezellkonzentration
- die Konzentrationsmessungen von Desinfektionsmittellösungen.

Darüber hinaus werden zunehmend Messwerte zur Charakterisierung der chemischen und biochemischen Verfahrensabläufe und zur Qualitätssicherung benötigt, die in der Vergangenheit überwiegend aus Labormessungen gewonnen wurden (beispielsweise Diacetylgehalt, Hefezellkonzentration, Verzuckerung, Viskosität, Desinfektionsmittelkonzentration, Abwasseranalysen), die aber teilweise auch schon als Betriebsmessung verfügbar sind.

Schließlich werden auch Messwerte nur im Laboratorium ermittelt, für die Betriebsmessgeräte nicht verfügbar sind oder die für diese Messungen zu aufwendig würden. Dazu zählen Messgrößen der Malz- und Bieranalytik (z.B. Keimfähigkeit, Extrakt-ermittlung, Enzymaktivitäten, Eiweißlösungsgrad des Malzes, Farbe des Malzes oder des Bieres, Schaumbestimmung, die genaue Stammwürze- und Alkoholbestimmung), der chemischen Analytik (Wasseranalysen, Gehalt an höheren Alkoholen und Aldehyden, Bieranalysen usw.) und der biochemischen/mikrobiologischen Analytik (z.B. die Gäraktivitäts-/Vitalitätsbestimmung von Hefe, mikrobiologische Betriebskontrollen, Untersuchung der Gerste auf Schimmelpilzbefall).

Im Bereich der Energiezentrale oder des Maschinenhauses sind elektrische Messgrößen (Spannung, Strom, Leistung usw.), Dampf- und Kondensatmengen,

Energieträgerverbrauchswerte (Heizöl, Gas, Kohle, Kälteenergie) und Messgrößen zur Kesselbetriebstechnik bedeutungsvoll.

Ziel jeder Messtätigkeit ist es, die Messwerte möglichst schnell und präzise und mit geringem Aufwand zu gewinnen. Die direkte Messwerterfassung - die „Messung“ - setzt ein geeignetes Messgerät voraus, das die Messgröße erfassen und in einer vergleichbaren und auswertbaren Form anzeigen oder ausgeben kann. Viele Messwerte werden indirekt durch Berechnung aus gemessenen Werten ermittelt, die mit der gesuchten Messgröße in einem definierten Zusammenhang stehen.

Anzeigende Messgeräte erfordern die Auswertung durch den Menschen, der als Bediener der Maschine oder Anlage fungiert und diese steuert oder regelt. Das ist in der Brauerei der Brauer oder der Mälzer in der Mälzerei oder der Maschinist in der Energiezentrale. Für automatische Steuerungen oder Regelungen der Verfahrensabläufe müssen die Messgeräte den Messwert in einer maschinenlesbaren Sprache ausgeben.

In den folgenden Ausführungen sollen wichtige Begriffe der Messtechnik und des Messens erläutert und ein Überblick zur betrieblichen Messtechnik, auch Prozessmesstechnik genannt, gegeben werden.

Nachfolgend werden unter „Produkt“ Würste, Bier, Hefe, Getränke usw., aber auch Gase wie CO₂, Sauerstoff, Sterilluft oder Inertgas verstanden, also Medien, die unter keimfreien oder keimarmen Bedingungen gefördert, behandelt oder verarbeitet werden müssen, um Kontaminationen und mikrobiell verursachten Verderb auszuschalten.

Die detaillierten Planungsunterlagen zu den verfügbaren Sensoren müssen den aktuellen Produktdokumentationen der einzelnen Hersteller entnommen werden. Aus prinzipiellen Gründen wird auch darauf verzichtet, die üblichen Sensoren/Messgeräte für Temperatur, Druck, Durchfluss, Füllstand usw. mit Bildmaterial zu illustrieren. Das können die einzelnen Hersteller nicht nur besser, sondern auch aktueller. Der allgemeine technische Fortschritt ist nun mal schneller als eine gedruckte Berichterstattung.

Es soll am Rande darauf verwiesen werden, dass die meisten derzeitigen Messverfahren oder Messprinzipien erst durch die Fortschritte der Mikroelektronik ermöglicht wurden. Das betrifft zahlreiche Aspekte, wie Bauvolumen, Preis und Betriebskosten, Zuverlässigkeit, die Messgenauigkeit und vor allem die nutzbaren Messprinzipien. Aus dem Übergang zur digitalen Signalverarbeitung resultieren zusätzliche Vorteile für den Anwender, beispielsweise eine große Störsicherheit, gute Speicherfähigkeit, Flexibilität bei der Weiterverarbeitung, vielfältige Übertragungsmöglichkeiten usw. Nicht zuletzt ist auch der breite Einsatz der speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) durch die Mikroelektronik erst ermöglicht worden.

Moderne Sensoren für nahezu alle Messaufgaben in Verbindung mit den SPS sind die Basis der umfassenden Automation oder Steuerung verfahrenstechnischer Prozesse und Anlagen.

Von diesen Vorteilen profitieren sowohl die tragbaren Messgeräte als auch die stationäre Messtechnik.

2. Begriffe und Grundlagen der Messtechnik

Die wesentlichen Begriffe der Messtechnik sind in DIN 1301 [1], 1313 [2] und DIN 1319 [3] genormt. Eine sehr zu empfehlende Quelle für wichtige und zu beachtenden Normen, Regeln, Vorschriften und gesetzliche Grundlagen ist der „DIN-Katalog für technische Regeln“ [4], der jährlich aktualisiert wird. Der Katalog erscheint in Papierform und als CD.

Im Interesse einer eindeutigen und sachlich richtigen Ausdrucksweise werden wichtige Festlegungen zu den nachfolgenden Begriffen kurz erläutert:

- Messen,
- Zählen,
- Prüfen,
- Klassieren, Sortieren und Dosieren,
- Justieren,
- Kalibrieren und
- Eichen.

Unter dem *Messen* wird ein Vorgang verstanden, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe ermittelt wird, z.B. das Messen einer Temperatur oder Messung eines Druckes. Die Auswertung von Messwerten zum Messergebnis gehört zum Messen. Dagegen wird die Weiterverarbeitung von Messwerten, Messergebnissen oder Messsignalen, beispielsweise für eine Regelungsaufgabe, nicht mehr zum Messen gerechnet.

Die *Messgröße* ist die zu bestimmende physikalische Größe, beispielsweise die Dichte, der Druck, die Temperatur.

Der *Messwert* ist der gemessene spezielle Wert einer Messgröße, der als Produkt aus *Zahlenwert* und *Einheit* der Messgröße angegeben wird.

Zum Beispiel wird der Druck mit einem Manometer gemessen. Messgröße ist also der Druck. Der Messwert soll $p = 3,7$ bar betragen, er ist gleichzeitig das Messergebnis. Der Zahlenwert des Messwertes beträgt 3,7; die Einheit der Messgröße ist das Bar.

Der *Größenwert* des Messwertes ist unveränderlich bei einem Einheitenwechsel der Messgröße, beispielsweise ist der Größenwert 3,7 bar den Werten 370 kPa oder 0,37 MPa gleichwertig.

Beim Messwert wird zwischen dem abgelesenen, unkorrigierten und dem korrigierten Messwert unterschieden. Bei letzterem werden die systematischen Abweichungen berücksichtigt.

Die *Messabweichung* (früher Messfehler genannt) ist die Differenz zwischen dem Messwert und dem wahren Wert der Messgröße (Bezugswert), der im Allgemeinen unbekannt ist, der aber möglichst genau angenähert werden soll.

Unter dem *Messergebnis* wird der aus einem oder mehreren Messwerten einer einzelnen Messgröße oder aus Messwerten verschiedenartiger Messgrößen mit Hilfe

vorgegebener eindeutiger Beziehungen ermittelte Wert verstanden. Im einfachsten Fall entspricht der Messwert dem Messergebnis. Zur vollständigen Angabe des Messergebnisses gehört auch die Angabe der zugehörigen Messunsicherheit u .

Die *Empfindlichkeit* eines Messgerätes lässt sich als Quotient aus der Änderung der Anzeige (bei Ziffernanzeige: Anzahl der Ein-Ziffernschritte) und der sie verursachenden Änderung der Messgröße definieren.

Die *Ansprechschwelle* eines Messgerätes ist derjenige Wert der Messgrößenänderung, der eine deutlich erkennbare Änderung der Anzeige hervorruft, der gleiche Zusammenhang am Nullpunkt eines Messgerätes wird als *Ansprechwert* bezeichnet. Der Ansprechwert bei integrierenden Messgeräten (z.B. Wasserzähler, Elektrozähler) heißt *Anlaufwert*. Deshalb müssen bei diesen Geräten immer bestimmte Mindestmengen je Zeiteinheit fließen, um eine Anzeige zu erhalten.

Bei vielen Messgeräten kann beobachtet werden, dass sich bei gleicher Änderung der Messgröße die Differenz der Anzeigewerte ändert, je nach dem, ob sich der Messwert langsam vergrößert oder verkleinert. Diese Erscheinung wird als *Umkehrspanne* bezeichnet.

Ursache dafür können die Reibung, toter Gang, elastische Verformungen oder Hysterese sein. Gegebenenfalls muss das Messverfahren entsprechende Festlegungen enthalten, um die Auswirkungen einer Umkehrspanne auf die Messunsicherheit zu verringern.

Das *Messobjekt* ist Träger der zu bestimmenden Messgröße, z.B. kann die Maische oder das Bier Messobjekt sein.

Ungewollte systematische Abweichungen der Messwerte werden von *Einflussgrößen* bewirkt, z.B. vom Luftdruck, Umgebungstemperatur, die selbst nicht gemessen werden.

Unter dem *Messprinzip* wird die charakteristische physikalische Erscheinung verstanden, die bei der Messung benutzt wird. Zum Beispiel wird die physikalische Erscheinung „Widerstandsänderung“ eines Platin-Widerstandes für die Temperaturmessung genutzt oder die „elastische Verformung“ einer Röhrenfeder für die Druckmessung.

Das *Messverfahren* ist die Gesamtheit aller für die Messwertermittlung notwendigen Maßnahmen. Es wird unterschieden in direkte und indirekte Messverfahren und in analoge und digitale Messverfahren und nach einem speziellen Messprinzip benannte Messverfahren. Die Unterscheidung ist oft nicht widerspruchsfrei.

Bei *direkten* Messverfahren wird der Messwert der Messgröße als Größenwert dieser Messgröße meist durch unmittelbare Anzeige eines Messgerätes ausgegeben (Beispiele sind die Längenmessung, die Temperaturmessung mittels eines Flüssigkeitsthermometers, die Druckmessung mittels Manometer oder die Wägung).

Bei *indirekten* Messverfahren wird der Messwert durch Größenwerte anderer Messgrößen ausgedrückt, aus denen der gesuchte Messwert mittels bekannter physikalischer Zusammenhänge ermittelt wird. So ist zum Beispiel die

Temperaturmessung mittels eines Thermoelementes oder mittels eines Pt 100-Widerstandes eine indirekte Messung.

Analog ist ein Messverfahren, wenn der Messgröße durch das Verfahren ein Signal zugeordnet wird, das eine eindeutig umkehrbare Abbildung der Messgröße ist. Beispiele sind das Quecksilber-Thermometer oder das Manometer mit Röhrenfeder oder Plattenfeder.

Digitale Messverfahren ordnen der Messgröße ein Signal zu, das eine mit fest gegebenen Schritten codierte und quantifizierte Abbildung der Messgröße ist, z.B. die Zeitmessung.

Beachtet werden muss, dass die Benennungen analog und digital nicht zur Kennzeichnung von Anzeigen für Messwerte verwendet werden dürfen. Hierfür müssen die Benennungen „Skalanzeige“ und „Ziffernanzeige“ verwendet werden.

Ergänzung zu Messverfahren

Offlinemessung: die Messung erfolgt in einer Probe, die dem Prozess entnommen wurde, z.B. im Laboratorium. Das Messergebnis steht erst mit einer zeitlichen Verzögerung zur Verfügung.

Onlinemessung: die Messung erfolgt unmittelbar im Prozessablauf (im Behälter, in der Rohrleitung) in Echtzeit.

Unterschieden werden kann bei der *Online*-Messung:

- die *Inlinemessung*: Messung direkt in Echtzeit im Produkt
- die *Messung im Bypass*:
 - die Messung erfolgt ohne oder mit einer sehr geringen Zeitverzögerung, also fast in Echtzeit
 - die Zeitverzögerung ist von der Dimensionierung des Bypasses abhängig (\dot{V}).

Eine Inlinemessung ist immer eine Onlinemessung (deshalb ist der Begriff Inlinemessung durchaus entbehrlich).

Ein *Messgerät*, bestehend aus Messaufnehmer (Synonym: Sensor, Messfühler), Messumformer und Ausgabegerät, liefert direkt Messwerte und kann auch mehrere voneinander unabhängige Messwerte miteinander verknüpfen, beispielsweise CO₂-Messgeräte, die aus dem Temperatur- und Druckmesswert einer Bierprobe den CO₂-Gehalt ermitteln.

Eine *Messeinrichtung* besteht aus einem oder mehreren Messgeräten mit zusätzlichen Einrichtungen, wie Hilfsgeräten (z.B. für die Hilfsenergiebereitstellung) und Signal- und Messleitungen. Zwischen Messaufnehmer und Ausgabegerät können sich außer dem Messumformer auch Messverstärker und Messumsetzer befinden (Übertragungsstrecke). Beispielweise kann ein Maischgefäß über eine Temperatur-Messeinrichtung verfügen, bestehend aus Temperaturaufnehmer (Pt 100-Widerstand), Messleitung, Messumformer, Anzeigegerät.

Mehrere unabhängige, in funktionalem Zusammenhang stehende Messeinrichtungen werden als *Messanlage* bezeichnet, zum Beispiel die Temperaturmessanlage einer Silobatterie für die Gerstenlagerung in der Mälzerei.

Messgeräte werden in solche mit *direkter* und mit *indirekter* Ausgabe unterschieden. Zu ersteren gehören die anzeigenden Messgeräte (mit Skalen- oder Ziffernanzeige), die registrierenden Messgeräte (Schreiber, Drucker), und die zählenden Messgeräte (Stückzähler und die eine Messgröße über die Zeit integrierenden Messgeräte, z.B. Elektrizitätszähler). Auch die Maßverkörperungen (z.B. Messkolben, Messzylinder, Gewichtsstücke) zählen hierzu.

Messgeräte mit *indirekter* Ausgabe stellen die Messwertinformation eindeutig und unverfälscht für die weitere Messwertverarbeitung (z.B. für Regler) bereit, meist als normiertes Einheitssignal.

Bei der Skalenanzeige werden *Strich-* und *Ziffernskalen* unterschieden. Strichskalen werden bei genauen Messgeräten als Spiegelskalen zur parallaxenfreien Ablesung gestaltet. Strichskalen in gerader oder kreisbogenförmiger, ebener oder gekrümmter Ausführung ermöglichen eine kontinuierliche Ablesung (z.B. Thermometer, Manometer). Projektionsskalen ermöglichen große Skalenlängen bei guter Auflösung (z.B. bei Waagen). Bei der Ablesung ist auf den Messbereich und den Skalenteilungswert zu achten.

Bei Ziffernskalen werden die Messergebnisse durch Ziffern ausgegeben, die sich auf einem Zifferenträger befinden und von denen meist nur die abzulesende Ziffer sichtbar ist (z.B. Elektrizitätszähler). Ziffernskalen verringern Ablesefehler.

Unter dem *Zählen* wird die Ermittlung der Anzahl von jeweils gleichartigen Elementen verstanden, die bei dem Messobjekt in Erscheinung treten, beispielsweise werden Flaschen, Dosen, Kästen, Paletten gezählt. Das Zählergebnis wird im Allgemeinen auf eine bestimmte Zeitspanne bezogen (Stunde, Schicht, Tag usw.). Es werden auch Messwerte gezählt (z.B. Flüssigkeits- und Gasmengenzähler mit definiertem Messkammervolumen).

Beim *Prüfen* wird der Prüfgegenstand (Probe, Messgerät) auf Einhaltung vorgegebener (vereinbarter, vorgeschriebener, erwarteter) Bedingungen durch Vergleich untersucht. Vorgegebene Bedingungen können beispielsweise Toleranzen und Fehlergrenzen sein (z.B. Extrakt- und Wassergehalt von Malz, Keimfähigkeit von Gerste, Füllmengenkontrolle mittels Füllhöhen-schablone, Kronenkorken-Kontrolle, Flaschen-Mundstück-Kontrolle). Quantitative Prüfungen von Merkmalen erfordern die Verwendung von Messgeräten, qualitative Merkmale werden oft ohne Messgeräte subjektiv geprüft (Geruchsprüfung auf NH_3 , Sichtprüfungen).

Beim *Klassieren* werden die gleichartigen Elemente einer Menge vorgegebenen oder vereinbarten Merkmalsklassen zugeordnet, aber körperlich nicht unbedingt getrennt (z.B. Messwerte nach Abweichung vom Sollwert).

Beim *Sortieren* werden Elemente nach ihren Unterschieden getrennt (z.B. Gerstensortierung nach Durchmesserbereichen, Flaschensortierung nach Größe oder Farbe).

Beim *Dosieren* werden aus einer Gesamtmenge Teilmengen abgetrennt oder es werden bestimmte Mengen zu einer neuen Menge mit vorgegebenen Eigenschaften hinzugefügt. Das Dosieren erfordert Dosier- oder Messeinrichtungen (z.B. die Dosierung von Malz, Filterhilfsmitteldosierung).

Beim *Justieren* wird ein Messgerät so eingestellt oder verändert, dass seine Messabweichung im Vergleich mit einem genaueren Messgerät/Messnormal oder einer Maßverkörperung möglichst klein wird (z.B. werden Waagen, Manometer, Widerstände, Uhren justiert). Das Skalieren oder Graduieren von Messgeräten gehört auch zum Justieren (z.B. Aräometer). Unter Justieren wird auch der Aufbau und die funktionstüchtige Einrichtung von Messgeräten verstanden (Justierung einer Waage, eines Induktiven Durchflussmessgerätes (MID), Abgleichen von Messleitungen für die Widerstandsmessung).

Beim *Kalibrieren* wird die Messabweichung einer Messgeräteanzeige zu der eines genaueren Messgerätes/Messnormal festgestellt. Die Messwertabweichung ist damit bekannt und kann entsprechend berücksichtigt werden (z.B. Kalibrierung eines Thermometers mit einem geeichten Thermometer, Ermittlung der systematischen Abweichung eines Manometers oder Druckaufnehmers mit einem Feinmess-Manometer, Kalibrierung einer Waage).

Beim *Eichen* wird durch die zuständige Eichbehörde für ein Messgerät oder eine Maßverkörperung die Übereinstimmung mit den Eichvorschriften festgestellt und beurkundet, d.h., dass das Messgerät oder die Maßverkörperung den Anforderungen an die Beschaffenheit und die messtechnischen Eigenschaften, insbesondere den Beträgen für die zulässigen Messabweichungen, bei sachgemäßer Handhabung entsprechend den gültigen Regeln der Technik innerhalb der Nacheichfrist genügt. Die Festlegungen zur Eichpflicht sind gesetzlich geregelt. Geeicht werden beispielsweise Waagen, Massestücke/ Gewichtsstücke für Waagen, Thermometer für das Labor, Aräometer für die Dichtebestimmung von Würze und Bier, Elektrizitätszähler, Wasseruhren, Kegs, Fässer, Biergläser.

Weiterhin können Messgeräte oder Messeinrichtungen so gefertigt werden, dass sie eichfähig sind und bei Bedarf geeicht werden können.