



Bestimmung pH-Wert mit Indikatoren und pH-Messgeräten (Glaselektroden)



BrauLabor
2
Physik/Chemie

pH-Wert
entscheidende
Schlüsselgröße

Aufwand: mittel	Material: einfach bis mittel	Zeit: gering	Experimenttyp: Messungen	Anspruch: gering-mittel
---------------------------	--	------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

Einführung

Neben der Temperatur ist zweifelsohne der **pH-Wert** ein zweiter ganz entscheidender Parameter im gesamten Brauprozess, vom Wasser über den Maischeprozess bis hin zum reifenden Bier: 1 Brauwasser/Brauwasserbehandlungen, 2 Enzyme des Maischeverfahrens (cf. unten), 3 Läutern und Hopfen, 4 Bierwürzen/Anstellwürze, 5 Fermentation/Gärlösungen, 6 Hefe-Flokkulation, 7 Reifung und Lagerung der Biere, 8 Anzuchtlösungen für Bakterien (Milchsäurebakterien)/Bierhefen. Details [hier](#) > “2.3. Kenngröße 2: Der pH-Wert”.

Der Haupteinfluss des pH-Wertes, abgesehen von der Wasserchemie (z.B. Wasserhärte, Säurekapazität u.a.) ist die Beeinflussung der Enzymaktivitäten innerhalb der Zellen (Hefe-/Bakterienzellen) als auch ausserhalb, z.B. auf die vielen während der **Maische** aktiven Enzyme. Dazu gehören

- ▶ der **Abbau von Stärke** durch Malzamyhasen (α -Amylase, pH-Optimum 5.6-5.8; β -Amylasen, pH-Optimum 5.4-5.6), Maltasen (pH 6.0), Grendextrinasen (pH 5.1), Saccharase (pH 5.5).
- ▶ der **Abbau von ungelösten * β -Glucanen** durch **Glucanasen** (Temp. Optima 40-48°C, 60°C, 50-70°C; pH 3.5-6.5, Optimum 5.5) → übrigen Enzyme gelangen ins Endosperm (= Mehlkörper).
- ▶ der **Abbau von Eiweissstoffen**: durch 4 verschiedene proteolytische Enzyme (Endo- [pH 4.0], Carboxy- [pH 5.2], Amino- [pH 7.2] und Dipeptidasen [pH 8.2]).
- ▶ die **Umwandlung von Fettsäuren**: durch fettabbauende Lipasen und Lipoxygenasen.
- ▶ Weitere **Abbauvorgänge**: führen zur Freisetzung von Phosphaten, Polyphenole, Zink und sind z.T. pH-abhängig (z.B. niedriger pH-Wert fördert Zn-Freisetzung). Das Zusammenwirken der pH-wirksamen Calcium- und Magnesium-Wassersalze mit den Phosphaten u.a. stellt sich ein Maische-pH-Wert von ca. 5.6-5.8 ein; wünschenswert ist allerdings ein **Maische-pH-Mischwert von ca. 5.4-5.5**.

Mehr Informationen zur Auswirkung des pH-Wertes auf verschiedene Phasen des Brauprozesses sind auf der Seite “MUG-MIKROBRAUEREI > Brauwasser > 2.3.4 pH-Wert und Brauprozesse” (cf. [hier](#)) zu finden.

Messverfahren zur pH-Bestimmung

pH-Indikatoren. Die einfachste, aber auch am wenigsten genaue Methode ist die Bestimmung mit pH-Indikatorfarbstoffen. Diese gibt es als pH-Flüssigindikatoren oder in “fester Form” auf Indikatorpapieren bzw. pH-Indikatorstäbchen ([Info](#)). Die Auswertung erfolgt meist anhand von Farbvergleichsskalen (vgl. Abb. 1).

- ▶ Mit **Indikatorpapieren** ist nur eine grobe pH-Bestimmung möglich, meist nur auf 1 pH-Einheit (Universalindikatorpapier, Abb. 2), 0.5-pH-Einheiten (pH-Messbereiche z.B. 0.5 - 5.0, 5.5 - 9.0). Als “pH-Indikatorpapier Spezialindikator” (pH-Messbereiche 3.8 - 5.4, 5.4 - 7.0, 6.4 - 8.0) ist schon eine feinere Abstufung (0.2-0.3 und 0.2-0.4) möglich.
- ▶ Mit **pH-Indikatorstäbchen/pH-Indikatorsteststreifen** sind die Farbindikatoren nicht blutend gebunden und erlauben schon eine hohe Messgenauigkeit (Abb. 3-5). Messbereiche/Abstufung z.B. 2.5 - 4.5/0.2-0.5 4.0 - 7.0/0.2-0.5 6.5 - 10.0/0.2-0.5.
- ▶ **Flüssige pH-Indikatoren** sind nur für praktisch farblose und klare Lösungen geeignet, also nur für reines Brauwasser, nicht aber für Bierwürze oder Biere. Messbereiche/Abstufungen: 5.0 - 9.0/0.2 0 - 5/0.5 4 - 10/0.5. Info: [pH-Tests im Überblick](#)

pH-Meter. Ein pH-Meter (syn. pH-Messkette) ist ein Messgerät zur Bestimmung des pH-Wertes (Abb. 1:2). Dieser Wert wird auf elektro-chemischem Wege bestimmt und nicht über Säure-/Base-Indikatoren. Elektronische potentiometrische pH-Messgeräte bestehen aus einer Elektrode und der Zentraleinheit. An der Elektrode wird eine Spannung erzeugt, die vom pH-Wert abhängt. Die Zentraleinheit



rechnet die Spannung in den pH-Wert um. (Info 1, LaborPraxis [März 2010] Info 2, Video: Potentiometrie - Messprinzip). Die gewonnenen Werte, sind - sofern das Gerät zuverlässig bei einer Standardtemperatur (optimal: 25 °C) geeicht wurde - sehr genau und können in allen Brauprozess-Lösungen und bei (fast*) jeder Temperatur eingesetzt werden.

*1: Kalibration immer bei der Messtemperatur (z.B. Messung in heisser Maische bei 60 °C -> Kalibration ebenfalls bei 60 °C); 2. Hohe Temperaturen verkürzen Lebensdauer der pH-Sonden. -> mehr fachtechnische Hinweise: cf. hier > Kap. 3.2 Bestimmung des pH-Wertes > Messfehler.



Abb. 1. pH-Messsysteme: pH-Meter, Indikatortests. 1: Pufferlösungen pH 4.0 und 7.0 für Kalibrierung pH-Meter. 2: pH-Meter. 3: pH-Indikatorstreifen. 4: Universalindikator. 5: pH-Indikatorsteststäbchen.



Abb. 2. Universalindikatorpapier, pH 1-11, Abstufung 1 pH-Einheit. 1: pH 4 (schwach sauer), 2: pH 7 (neutral), 3: pH 11 (stark basisch).

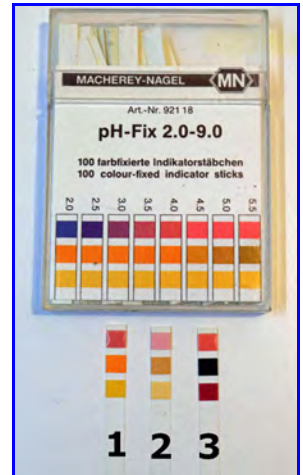


Abb. 3. pH-Indikatorsteststäbchen. Abstufung 0.5 pH-Einheiten. Eintauchen der Teststäbchen in Eichpuffer pH 4.0. Durch Farbvergleich der 3 Testfelder mit der aufgedruckten pH-Skala erfolgt die pH-Zuordnung: 1 und 3 keine passende Zuordnung, 1 = pH 4.0 (vgl. Abb. 4).

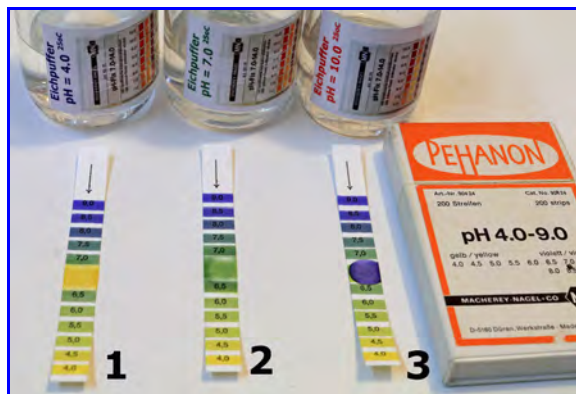


Abb. 5. pH-Indikatorsteststreifen pH 4.0-9.0. Abstufung 0.5 pH-Einheiten. 1: pH 4.0, 2: pH 7.0, 3: pH 10.0. Das Testfeld in der Mitte wird mit der aufgedruckten Farbskala verglichen. Beim Teststreifen 3 wurde ein Eichpuffer von pH 10.0 aufgetropft -> Farbe Blau im Testfeld bedeutet: pH \geq 9.0.

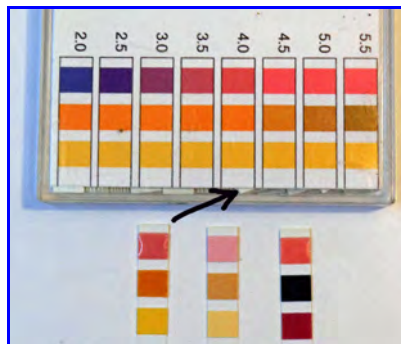


Abb. 4. pH-Zuordnung beim Indikatorsteststäbchen aus Abb. 3. Durch Farbvergleich der 3 quadratischen Indikatorfelder kann einzig das Teststäbchen I der Farbkombination unter pH 4.0 zugeordnet werden.

Materialien

Glaswaren/Geräte/ andere Materialien	Bechergläser, Pasteurpipetten oder Glasstab zum Auftupfen der Probelösung auf pH-Indikatoren. Elektronische pH-Meter: z.B. Hanna Instruments FC2142 HALO pH-Elektrode für Bier, Maische, Würze mit Titan-Hülle, Smartphone/iPad mit "Hanna Lab App" [Apple App Store, bzw. Android Play Store], Auflösung pH 0.001, Genauigkeit ± 0.005 pH, automatische Temp.kompensation ATC (Info 1, Info 2, Kurzanleitung HALO-Elektroden, Broschüre Bluetooth pH-/Temp.messung); Jenco VisionPlus Model pH 618 pH-Tester (Auflösung pH 0.01, Genauigkeit ± 0.02 , ATC (Info, Manual); digitales pH-Meter Greisinger GPH 014 (Info, Manual). 100 mL Behälter (z.B. Becherglas), Thermometer. pH-Meter mit integriertem Magnetrührer, Bsp. Hanna HI 208 (Info, Manual).
Verbrauchsmaterial	Linsoft (Kosmetiktüchlein), Haushaltspapier
Chemikalien	pH-Farbstoffindikatoren: Universalindikator, z.B. pH 1-11; pH-Indikatorsteststreifen (mit Farbvergleichsskala, z.B. PEHANON pH 4.0-9.0, Info), pH-Indikatorsteststäbchen (z.B. Macherey-Nagel MN pH-Fix 2.0-9.0, Skalenabstufung 0.5, Info); allgemeine Info zu pH-Tests (MERCK-Produkte). Flüssigindikatoren: z.B. Aquamerck pH mit Schiebekomparator (pH-Messbereich 4.5-9.0, pH-Abstufung 0.5 Einheiten, Info > S. 10-11). destilliertes oder entionisiertes Wasser. Pufferlösungen zur pH-Meter-Kalibrierung (pH 4.0, pH 7.0, evtl. pH 10; cf. Abb. 1). Elektrolytlösung/ Aufbewahrungslösung für pH-Elektroden, meist KCl, c = 3 mol/L (Info 1, Info 2), Reinigungslösungen für pH-Elektroden (Info 1, Info 2)
Biologische Objekte	Testlösungen (Brauwasser, Anstellwürze, Bierwürzen allgemein, Bier in verschiedenen Reifestufen, Hefe-Anzuchtnährlösungen/Nährlösungen für Bakterien (Milchsäurebakterien)/Startermedium

Durchführung der pH-Messungen

1. Messvariante: Universalindikator zur Grobbestimmung

pH-Indikatorpapiere sind seit langem in Rollenform im Einsatz. Diese Verpackungsform der pH-Indikatorpapiere ist sehr lagerstabil, da diese gegenüber äusseren Einflüssen, wie Feuchtigkeit, Lichteinfluss, saure und alkalische Gase, geschützt sind. Universalindikatorpapiere eignen sich nur für eine rasche Abschätzung des ungefähren pH-Wertes.



Vorgehen: Abb. 6

1. Ein kürzeres Stück Indikatorpapier aus der Rolle abreißen
2. Ganz kurz, ca. 1 sec lang in die Probelösung eintauchen bzw. besser mit Pasteurpipette 1-2 Tropfen Probelösung aufs Indikatorpapier auftragen
3. Entstandene Farbe auf dem Indikatorpapierstreifen mit der aufgedruckten Farbskala vergleichen
4. Durch Farbzunordnung den pH-Wert ablesen und protokollieren.



Abb. 6. pH-Grobbestimmung mit Universalindikatorpapier.

1-2 Tropfen Testlösung auftropfen und Farbvergleich mit der pH-Skala.

2. Messvariante: pH-Indikator-teststreifen oder -Teststäbchen zur genaueren pH-Bestimmung

Die pH-Indikator-teststreifen und -Teststäbchen weisen eine Reihe von Vorteilen auf, z.B. kein Ausbluten des Indikators, keine Kontamination des zu untersuchenden Mediums, deutliche Farbunterschiede zwischen einzelnen pH-Werten, relativ gute Messgenauigkeit mit Abstufungen zwischen 0.2 bis 0.5 pH-Einheiten je nach gewünschtem pH-Messbereich.

Vorgehen: Abb. 7 und 8

1. Indikatorstäbchen bzw. Teststreifen entnehmen und Packung wieder verschliessen
2. Indikatorstäbchen bzw. Teststreifen in Pfeilrichtung mit allen Reaktionszonen in die entnommene Probelösung so tief eintauchen, dass alle Farbzonen benetzt sind (je nach Probelösung mindestens 3 sec bis 1 min)
3. Überschüssige Flüssigkeit vom Indikatorstäbchen/Teststreifen abschütteln
4. Anschliessend mit der Farbskala vergleichen bzw. einem Farbwert zuordnen:
 - Teststreifen: unbedrucktes Farbfeld in der Mitte einer bedruckten Farbzone zuweisen
 - Teststäbchen: alle drei Testfelder müssen mit einer gedruckten Farbskala vertikal ↓ übereinstimmen
5. pH-Wert ablesen und protokollieren.



Abb. 7. pH-Bestimmung mit pH-Indikator-teststreifen mit aufgedruckter pH-Skala.

Eintauchen - Abschütteln - Ablesen: evtl. bei Betrachtung in der Durchsicht!

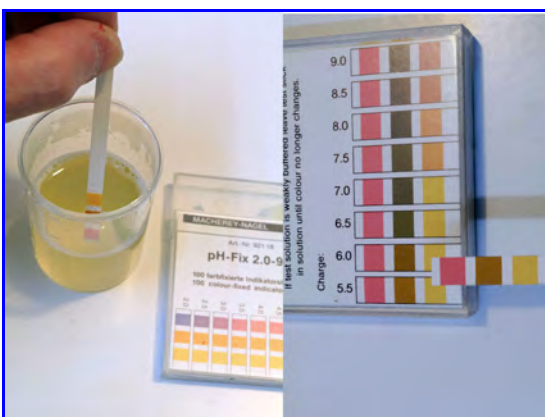


Abb. 8. pH-Bestimmung mit pH-Indikator-teststäbchen.

Eintauchen - Abschütteln - Ablesen durch Vergleich mit der Mehrfachskala: 3 Farben müssen "deckungsgleich" sein —> hier: pH 5.5.

3. Messvariante: flüssige pH-Indikatoren

Bei Verwendung von flüssigen pH-Indikatoren (pH-Indikatorlösungen) soll die zu untersuchende Lösung möglichst farblos und klar sein. Dies ist letztlich nur beim reinen Brauwasser gegeben. Da auch die Abstufungen mit 0.5 pH-Einheiten keinen Vorteil bringen, hat dieses pH-Bestimmungssystem für den Heimbrauer keinen Vorteil, weder bezüglich Kosten noch Zeitaufwand.



Abb. 9. Kolorimetrischer pH-Test mit Flüssigindikatoren und Farbkarten, Bsp. MERCK [\[Quelle\]](#)

4. Messvariante: pH-Meter mit Glaselektroden

Das Wasser wird für die Bierproduktion sorgfältig ausgewählt und nicht selten aufbereitet. Dazu gehört auch die genaue Einstellung des pH-Werts in einen Bereich, der für die Enzyme physiologisch zuträglich ist. Bei sehr weichem Wasser, wird auch die Alkalinität, d.h. die Pufferkapazität, geprüft. Manche Brauereien behandeln Trinkwasser zusätzlich mit Säure oder Calciumsulfat. Während des Maischens werden Malz-Inhaltsstoffe wie Stärke und Eiweiße enzymatisch gespalten, wodurch Nährstoffe für die Hefe freigesetzt werden. Die genaue Kontrolle der Temperatur und des pH-Wert der Maische ist ausschlaggebend für den Umwandlungsgrad. Normale pH-Werte der Maische bewegen sich im Bereich 5.2 bis 5.5. Bei niedrigerem pH-Wert kann es, genau wie bei zu hoher Temperatur, zur Deaktivierung der Enzyme (z.B. Amylase) kommen. **Wer ohne grossen Aufwand, häufig und sehr genau den kritischen pH-Wert messen möchte, kommt an einem elektronischen pH-Meter nicht vorbei.**



Abb. 10. pH-Meter messen sehr genau den pH-Wert, meist sogar temperaturkompensiert.

- 1: Klassisches pH-Meter mit separater Elektrode (neben Aufbewahrungsbehälter mit Elektrolyt KCl, 3 mol/L).
- 2: pH-Tester sind einfach zu bedienen, mobil und robust.
- 3: pH-Tester mit App, komfortabel, einfach und mit vielseitigen Möglichkeiten zur Speicherung und Auswertung der Messdaten.

mit der zweiten Pufferlösung (pH=7.0). Mit Hilfe einer Taste wird der angezeigte pH-Wert korrigiert, bis er mit dem pH-Wert der Pufferlösungen übereinstimmt. **Es ist zu berücksichtigen, dass der angezeigte pH-Wert temperaturabhängig ist.** Für genaue Messungen arbeitet man daher mit exakt eingestellten Standardtemperaturen (zw. 20-25 °C, optimal 25 °C) und setzt ACT-pH-Messgeräte mit automatischer Temperaturkompensation ein (cf. Abb. 12).

Kalibrierung: [Videos](#), [Video](#) Hanna HI 208, [Info1](#), [Info 2](#).

***Wann kalibrieren:** 1. vor der ersten Messung, 2. Dann alle zwei Wochen, 3. Nach dem Reinigen, 4. Wenn die Messfühler ausgetrocknet sind, 5. Wenn die Ergebnisse ungenau werden.

Vorgehen pH-Messung:

I. Geräte kalibrieren*

Die genauen Arbeitsvorschriften zur Kalibrierung sind i.d.R. gerätespezifisch → entspr. Manuals für genaues Vorgehen konsultieren.

Prinzip: Vor einer Messung müssen die pH-Meter kalibriert werden. Dazu werden genau eingestellte Eichpufferlösungen mit unterschiedlichen pH-Werten (zwei je nach erwartetem pH-Messbereich, meistens pH 4.0 und 7.0 → sog. Zweipunktkalibrierung, evtl. Zusätzlich mit pH 10.0 → Dreipunktkalibrierung) verwendet (Abb. 11). Zunächst misst man den pH-Wert in der ersten Eichpufferlösung (pH=4.0). Dann spült man die Elektrode mit dest. Wasser ab und misst den pH-Wert



Abb. 11. pH-Eichpuffer.

Oben: pH-Puffer-Set in Trockenform (z.B. Kapseln, Tabletten), zum Lösen. z.B. [Info](#).
Mitte: Pufferlösungen in Beuteln. z.B. [Info](#).
Rechts: Pufferlösung in Flaschen. z.B. [Info](#).



Abb. 12. pH-Kalibrierung (Eichung mit Eichpufferlösungen).

A: Hanna-HALO-pH-Meter in pH-Puffer (3-Punkt-Kalibrierung), Durchführung mit Hilfe des Hanna Lab Apps auf iPad). Empfehlenswert für jedes pH-Messgerät: Kurzanleitung erstellen.
B: Kalibrierung des Jenco-pH-Testers in pH 4.01 (rot eingefärbte) und pH 7.01 (grün eingefärbte) Eichpufferlösung bei 25 °C. Beide pH-Messgeräte haben eine automatische Temperaturkompensation.



Abb. 13. Hanna HI 208-pH-Meter.

A: Digitales, einfach zu bedienendes pH-Meter mit integriertem Magnetrührer.
B: Magnetrührer mit Elektrodenhalterung, Becherhalterung und Magnetsstab unten.

Vorgehen pH-Messung:

2. pH-Messung durchführen

Eine allgemeine genaue Beschreibung des Messablaufs ist infolge der Gerätevielfalt nicht möglich: Man halte sich natürlich am besten an die Anleitungen/Manuals des jeweiligen Herstellers bzw. Produktes. Im Folgenden wird der generelle allgemeintypische Ablauf einer pH-Bestimmung geschildert:

2.1. Vorbereitungen:

- Probe bereit stellen: die Probe, ca. 25-30 mL, wird am besten in ein 100 mL Becherglas eingefüllt → die pH-Elektrode sollte ca. 2 cm tief eintauchen können
- bei nicht temperatur-kompensierten ACT-pH-Messgeräten am besten die Temperatur der Probenflüssigkeit auf 25 °C einstellen
- das pH-Messgerät wurde gemäss Pkt. 4.1 kalibriert. Wichtig: die Kalibrierung sollte unabhängig vom Gerät nie älter als 2 Wochen sein!

2.2. pH-Messelektrode:

- die pH-Messelektrode bzw. bei pH-Testern die Elektrodenspitze zunächst mit dest./ention. Wasser gut abspülen, insbesondere wenn die pH-Sonde vorher in einer Elektrolytlösung aufbewahrt wurde
- mit Kosmetiktüchlein sanft abtupfen

2.3. pH-Messung:

- Elektrode/pH-Tester in die 20-25 °C temperierte Probelösung einführen und leicht schwenken
Hinweis: die Glaselektrode/Messspitze sollten komplett in Kontakt mit der Probe sein (ohne Luftblasen/CO₂-Blasen, unter der Oberfläche)
- falls ein Magnetrührer* vorhanden ist: langsames Rühren beschleunigt die Stabilisierung des Messwertes
*Hinweis: es gibt auch pH-Messgeräte mit integriertem Rührer (vgl. Abb. 13)
- solange warten, bis sich der Messwert stabilisiert hat
- stabilen Messwert festhalten
- Elektrode für weitere Messungen jeweils mit dest./ention. Wasser abspülen, mit Kosmetiktüchlein abtupfen und nächste Messung durchführen

2.4. Pflege und Aufbewahrung:

- **Reinigung + Kontrolle:** der pH-Elektrodenenteil sollte nach der pH-Messung möglichst rasch gereinigt werden:
wässrige Proben: gutes Spülen unter lauwarmem Leitungswasser und abschliessendes Abspritzen mit dest./ention. Wasser genügt
Proben mit Eiweissstoffen: z.B. mehrere Messungen in Maische, Anstellwürze u.ä. oder längere Messungen in eiweisshaltigen Proben: in Reinigungslösungen ≤ 30 min stehen lassen, dann ca. 1 Stunde lang in der Elektrolyt-Aufbewahrungslösung regenerieren, bevor nächste Kalibration durchgeführt wird (oder dann einfach in der Elektrolyt-Aufbewahrungslösung versorgen
bei nicht reproduzierbaren pH-Messungen: Elektrode kann verschmutzt sein \rightarrow behandeln wie unter "Proben mit Eiweissstoffen"
- **Kontrolle:** im Innern der Puffer-/Elektrolyt-gefüllten pH-Elektrode (Abb. cf. [hier](#)) darf keine Luftblase (evtl. durch Lagerung, Transport bedingt) sein; wenn ja \rightarrow Elektrode vorsichtig "ausschütteln" wie ein klassisches Thermometer
- **Aufbewahrung:** nach voran gegangener Reinigung und Spülung muss die pH-Elektrode bzw. der Elektrodenenteil feucht in der Aufbewahrungslösung gelagert werden: z.B. mit aufgesetzter Verschlusskappe, in separatem Elektrolytbehälter (cf. Abb. 14).

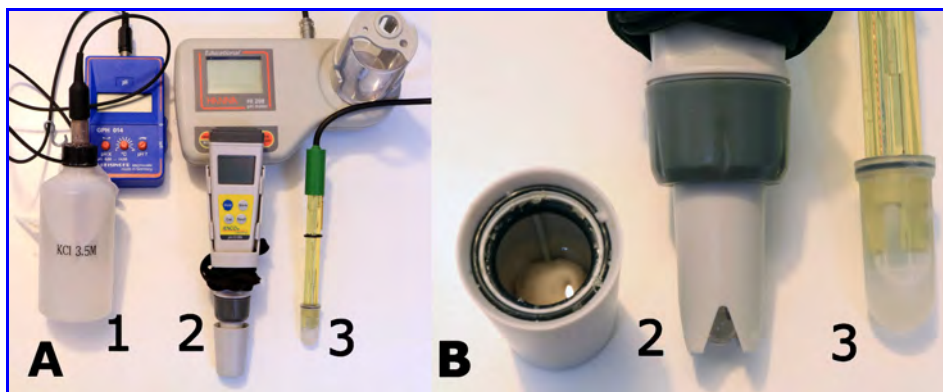


Abb. 14. Aufbewahrung von pH-Elektroden.

- A:** Elektrodenaufbewahrung
1: in KCl-Behälter ($c = 3.5$ mol/L)
2: Elektrodenspitze in Kappe mit Elektrolyt.
3: Elektrode mit Verschlusskappe mit Elektrolyt.
- B:** Verschlusskappen
2: Elektrodenspitze (rechts) und mit Elektrolyt gefüllter Verschluss (links)
3: gefüllte Verschlusskappe

3. Vergleich der verschiedenen pH-Bestimmungsmethoden

Am Beispiel einer pH-Bestimmung im fertigen Bier sollen die Unterschiede der verschiedenen pH-Bestimmungsmethoden aufgezeigt werden.

pH-Bestimmung im Weizenbier (Abb. 15-17):



Abb. 15. pH-Bestimmung im selbstgebrauten Weizenbier.

pH-Meter: Jenco Vision Plus \rightarrow pH-Wert: **4.16**.

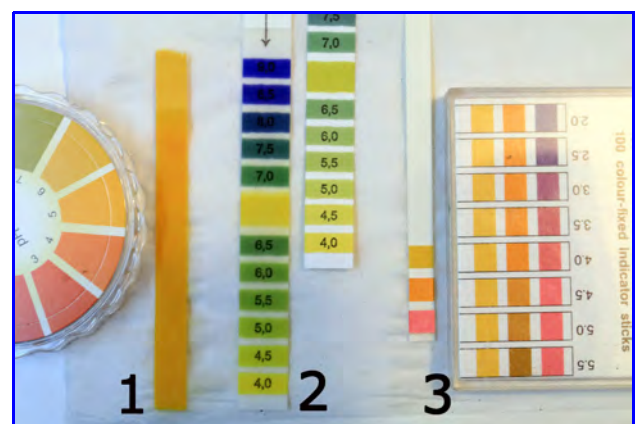


Abb. 16. Versuch der klassischen pH-Bestimmung im Weizenbier.

- 1: Universalindikatorpapier pH I-II \rightarrow pH ca. **< 5**.
- 2: pH-Indikatorstreifen PEHANON (li: mit Bier, re: trocken, als Vergleich) \rightarrow pH ca. **4.5**.
- 3: pH-Teststäbchen \rightarrow **pH 4.5**.



Abb. 17. pH-Bestimmung im kalten Bier.

pH-Meter: Hanna-HALO → pH **4.15** (bei einer Temp. gemessen bei 10.8 °C).

Vergleich der 3 Messmethoden:

- ▶ Universalindikator: ungenau, nur Tendenz aussagefähig, Abweichung $\nabla = 0.85$ pH-Einheiten
- ▶ pH-Teststäbchen: genauer, rel. schwierige Zuordnung
Abweichung $\nabla = 0.35$ pH-Einheiten
- ▶ pH-Teststreifen mit Skala: genauer, einfache Ablesung
Abweichung $\nabla = 0.35$ pH-Einheiten
- ▶ pH-Meter Jenco: sehr genau, etwas kompliziertere Bedienung als übrige getestete pH-Meter
Abweichung $\nabla = 0.01$ pH-Einheiten
- ▶ pH-Meter Hanna: sehr genau, einfache geführte Handhabung mit App. Referenz-pH-Meter.



Schlussbemerkung:

1. Mit **pH-Teststreifen** kann auf einfache Weise eine rel. genaue pH-Auskunft erhalten werden; allerdings sind gewisse Schwankungen in einer Bandbreite von < 0.5 -Einheiten zu erwarten.
2. **pH-Meter** sind zwar teurer (pH-Tester) bis teuer (Hanna), aber dafür sehr zuverlässig. Der Hanna-pH-Meter kann sogar direkt in den Sudkessel eingetaucht werden, um während des Maischevorgangs den pH semi-kontinuierlich zu bestimmen und allfällige pH-Korrekturmaßnahmen zu ergreifen (z.B. Zugabe von Milchsäure).

Schlussinfo als Zusammenfassung