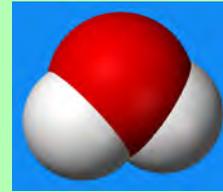




## Temperaturbestimmung Messgeräte und Vorgehen



**BrauLabor**  
Physik/Chemie

**Temperatur**  
eine  
Schlüsselgröße

<b>Aufwand:</b> gering	<b>Material:</b> einfach bis mittel	<b>Zeit:</b> gering	<b>Experimenttyp:</b> Messungen	<b>Anspruch:</b> gering
---------------------------	--	------------------------	------------------------------------	----------------------------

### Einführung

“It’s the temperature, stupid” würde wohl ein Bill Clinton sagen, wenn er denn Homebrewer wäre ....

Nun, die **Temperatur** ist tatsächlich ein ganz entscheidender Parameter im gesamten Brauprozess. Das beginnt schon bei der Mälzung ([Info-Abb.](#)), ein behutsames Starten der normalen Keimung von Getreidekörnern (hier Gerste), die vor allem in der Mobilisierung von Enzymen besteht für den späteren aufbauenden Stoffwechsel des gesamten Pflanzenkörpers.

- ▶ **Mälzung:** 1 Trocknung der Erntegerste **35-50 °C**, 2 Lagern **12-15 °C**, 3 Weichen **12-15 °C**, 4 Keimen **12-18 °C**, 5 Darren **75-80 °C** (→ helles Malz) **105-120 °C** (→ dunkles Malz), 6 Lagerung **18 °C**.

Der Heimbrauer kommt erst beim Maischen zum Einsatz der Temperaturmessungen, weil

- ▶ **Maische:** hier nun alle Enzyme der Stärkemobilisierung und Umwandlung in vergärbare und nicht vergärbare Zuckereinheiten bei einer ganz bestimmten Temperatur aktiv werden (Abb. I): **von 35 °C → 45 °C → 50-55 °C → 60-65/70 °C → 72-75 °C → 78-79/80 °C**
- ▶ **Sudprozess:** hier wird die ausgelaugten und enzymatisch gelösten Bestandteile inkl. der Hopfenkomponenten bei ca. **98 °C** gekocht und dann auf die
- ▶ **Anstelltemperatur** von ca. **8-11°C** (untergärige Hefen) bzw. **18-19°C** (obergärige Hefen)
- ▶ **Hauptgärung (Primärgärung):**  
obergärig **18-21°C - 19-21°C - 21°C**  
untergärig **8-11°C - 10-13°C - 18-20°C**
- ▶ **Nachgärung (Sekundärgärung):** **21-27°C** bzw. **18-24°C**
- ▶ **Kaltlagerung:** **4-12°C** bzw. **1°C**.

Temperatur	Wirkung
35°C	Hier erfolgt manchmal das Einmaischen. Zytolytische Enzyme beginnen die Zellwände zu zerlegen, was eine höhere Ausbeute beim Läutern ergibt. Für den Heimbrauer ist diese Temperaturstufe von geringer Bedeutung.
45°C	Untere Temperaturgrenze für die Eiweißbrast. Es werden hauptsächlich gärungsfördernde Eiweiße gebildet.
50°C	Übliches, ausgewogenes Temperaturoptimum für die Eiweißbrast.
55°C	Obere Temperaturgrenze für die Eiweißbrast. Es werden hauptsächlich schaumstabilisierende Eiweiße gebildet.
60–65°C	Optimaler Bereich für die Aktivität von β-Amylase. Stärke wird hauptsächlich in vergärbare Zucker zerlegt.
70°C	β-Amylase wird geschädigt.
72–75°C	Optimaler Bereich für die Aktivität von α-Amylase. Stärke wird hauptsächlich in nicht vergärbare Zucker zerlegt. Ein Bier, das ausschließlich bei dieser Temperatur gemaischt würde, wäre sehr süß, jedoch relativ alkoholarm.
78–79°C	Typische Temperatur für das Abschließen des Maischens und den Beginn des Läuterns.
80°C	α-Amylase wird geschädigt.

Abb. I. Temperatur und Maische.

Die Aktivierung der Enzymaktivitäten ist stark temperaturabhängig [Quelle: Lehl, Bier brauen, Ulmer, 2. Aufl., S. 55, 2008]

Aber noch weitere Prozesse wie die

- ▶ **Rehydrierung von Trockenhefen:** **25-29°C** (ALE-Hefen, obergärig) bzw. **21-25°C** (LAGER-Hefen, untergärig)
- ▶ **Anzucht von Starterkulturen (18-24°C)**, oder die
- ▶ **Lagerung von Schrägagarkulturen (4°C)** sind stark von der Temperatur beeinflusst.

Aber mit Abstand am stärksten sind die **M a i s c h e** und die **H a u p t g ä r u n g** von der Temperatur betroffen.



Die scheinbar einfache Temperaturbestimmung:

- kritisch auf Genauigkeit hin zu überprüfen
- kriterienorientiert entscheiden können, welche Messinstrumente (Flüssigkeit-Thermometer, Digitale Thermometer, IR-Thermometer) für welchen Einsatz optimal sind

**Materialien**

Glaswaren/Geräte/ andere Materialien	Analoge Thermometer: Flüssigkeitsthermometer: Eichthermometer bzw. Vergleichthermometer (mit feiner Temperaturskalaunterteilung, z.B. 0.5 °C), billiges Brauthermometer (z.B. <a href="#">Info</a> ), Laborthermometer ( <a href="#">Info</a> ), Digitale Thermometer: elektronisches Digitalthermometer (z.B. <a href="#">Info</a> ), Infrarot-Thermometer (z.B. <a href="#">Info</a> ) Gefäße wie Bechergläser, Erlenmeyerkolben, Gärbehälter etc., Tauchsieder oder Heizplatte
Verbrauchsmaterial	Wasser, Linsoft (Kosmetiktüchlein)
Chemikalien	wässrige Lösungen für Temperaturmessungen, z.B. Hefe-Anzuchtnährlösung, Hefestarter-Nährlösung, Maische, Anstellwürze, Bier Eiswürfel für Eiswasser, destilliertes oder entionisiertes Wasser
Biologische Objekte	--

**Überlegungen vor der Messung**

Welche Thermometer sollten in einem Braukeller vorhanden sein? Nützlich dazu sind Kenntnisse zu Vorteilen/ Nachteilen der verschiedenen Thermometer-Messprinzipien und Bauweisen

Analoge Flüssigkeitsthermometer		Digitale Thermometer	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
äußerst kostengünstig (ausser Eichthermometer)	nur Hg-Thermometer: potenziell gesundheitsschädlich	Messfühler meist an langem Kabel → jeder Messort leicht zugänglich	teurer
keine Batterien notwendig daher immer einsatzbereit	physikalisch bedingte Ungenauigkeit bei der Messung rel. träge reagierend	genauere Messwerte sehr rasch reagierend	Batterien notwendig → immer Ersatzbatterien lagern
dauerhaft konsistente Messwerte	Ungenauigkeiten beim Ablesen begrenzte Temperaturskala → evtl. mehrere Thermometer notwendig	einfaches und genaues Ablesen dank Display Speichermöglichkeit Auswertung der Daten	nicht ganz so einfach handhabbar wie klassische Thermometer
einfache und rasche Messung möglich	wenige robust	Messfühler belastbar kann auch zum Rühren benutzt werden	Messfühler belastbar kann auch zum Rühren benutzt werden
	begrenzte Eintauchtiefe muss jedesmal frisch entkeimt werden zum hygienischen Messen in Gärlösungen	kann auch keimfrei in Gärlösungen ständig eingetaucht bleiben zur Erfassung einer Messwertreihe	
Spezialformen: "geschützte" Stabthermometer, z.B. Maischethermometer → <a href="#">Info</a>		Spezialformen: IR-Thermometer → <a href="#">Info</a>	

**Temperaturen korrekt messen**

I. Wahl des "richtigen" Thermometers: **kriteriengestützt**

- Robustheit: muss das Thermometer robust sein (z.B. häufiger Einsatz → Gefahr des aus der Hand gleiten, vom Tisch weg rollen/ wird es gleichzeitig mechanisch beansprucht, z.B. zum Rühren)?  
JA → digitale Thermometer/ NEIN → Flüssigkeitsthermometer (zum Rühren: niemals Quecksilber-Thermometer)
- Präzise Messungen: muss das Messergebnis sehr genau sein (z.B. ±0.5 °C)?  
JA → Eichthermometer bzw. Präzisions-Laborthermometer/ NEIN → alle übrigen Thermometertypen



- Muss die Messung sehr rasch erfolgen? oder Muss nur eine einmalige Messung erfolgen  
JA → meistens genügen dazu Flüssigkeitsthermometer/ JA sehr rasch → IR-Thermometer (aber nur begrenzt materialabhängig einsetzbar)
- Erfolgt die Messung tief in einem Behälter (z.B. Gärtank, Sudkessel) und /oder soll die Messung eine ganze Datenreihe liefern?  
JA → elektronisches Digitalthermometer mit Speichermöglichkeiten/ NEIN → analoge Thermometer
- soll berührungsfrei und ohne Materialverbrauch gemessen werden, z.B. heiße Oberflächen?  
JA → IR-Thermometer
- weitere Kriterien im Voraus beachten, z.B. vor dem Kauf oder vor Spezialeinsätzen → Tab. I konsultieren, cf. auch Abb. 2.

## 2. Eichung eines Flüssigkeits-Thermometers

Für genaue Messungen müssen Flüssigkeitsthermometer "geeicht" bzw. untereinander abgeglichen werden; dies geschieht am besten mit einem Quecksilber-Thermometer (bzw. einem als Präzisions-Laborthermometer" bezeichneten Flüssigkeitsthermometer (vgl. dazu Abb. 2).

Zum Eichen von einem Thermometer müssen zwei Punkte auf einer Skala bestimmt werden.

### ► Einpunktkalibration I: Eiswassermethode (Abb. 4)

- eine Eis-Wasser-Mischung aus dest. oder entionisiertem Wasser herstellen: genügend Eis ins Wasser geben
- zu "eichendes" Thermometer/ Messfühler in die Mischung einführen und in der Mitte und auf halber Höhe des Eis-Wasser-Gemisches Thermometerspitze/ Messfühler positionieren (z.B. mit Klebeband am Becherglasrand fixieren)
- mit einem Löffel oder Glasstab hier und da rühren und Temperaturskala beobachten
- nach ca. 5 min sollte ein konstanter Wert erreicht sein: 0 °C
- evtl. Abweichungen notieren: z.B. + 0.5 °C → bedeutet: Thermometer zeigt 0.5 °C zu viel an  
- 1.0 °C → bedeutet: Thermometer zeigt 1.0 °C zu viel an

- Korrektur  $\Delta$ : im Temperaturbereich rund um

### ► Einpunktkalibration 2: Siedewassermethode<sup>plus</sup>

Der Siedepunkt wird immer bei Normaldruck (= 1013.25 hPa) angegeben und liegt bei reinem Wasser unter Normaldruck bei 100 °C. Anders formuliert: Wasser siedet leider nicht bei exakt 100 °C, sondern ist abhängig vom Luftdruck (und damit natürlich auch von der Höhe über Meer).

Definition "Normaldruck": mittlerer Luftdruck, den die Erdatmosphäre im Meeresniveau idealerweise ausübt. Dieser beträgt 1013,25 Hektopascal [hPa].

Vorgehen:

- 1: in einem Behälter (z.B. Becherglas) auf einer Heizplatte oder mit einem Tauchsieder dest. oder entionisiertes Wasser zum Sieden bringen
- 2: Thermometer und Digitalthermometer-Messfühler so platzieren bzw. fixieren, dass die die Enden jeweils in der Mitte des Gefäßes mitten im siedenden Wasser umspült werden

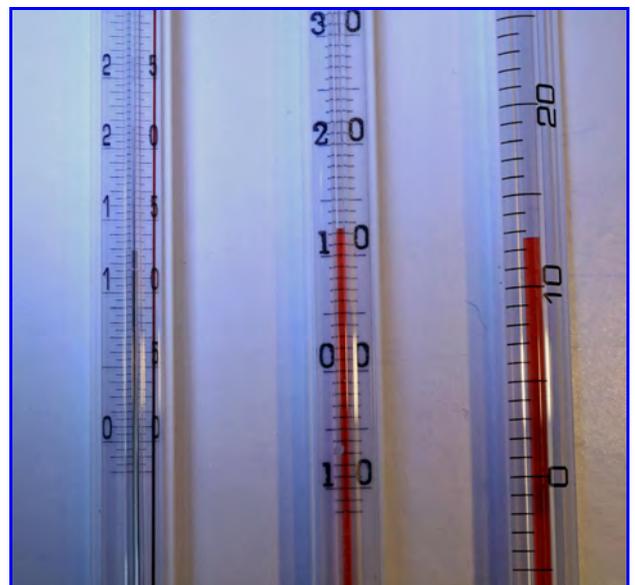


Abb. 2. Flüssigkeitsthermometer im Vergleich: Raumtemperatur im Gärkeller am 25.01.2018. Nummerierung: vgl. Abb. 3.  $\Delta$  = Korrektur.  
Links: Präzisionslaborthermometer 1 aus Abb. 3 → 12.9 °C.  
Mitte: Laborthermometer 3 → 12.4 °C,  $\Delta$  = + 0.5 °C.  
Rechts: Laborthermometer 4 → 12.6,  $\Delta$  = + 0.3 °C.



Abb. 3. Typische Messgeräte zur Temperaturbestimmung. Klassische analoge Flüssigkeitsthermometer Nr. 1-4.

- 1: Eichthermometer bzw. Präzisionslaborthermometer als Vergleichsthermometer mit Quecksilber.
- 2: Brauthermometer (gelb)  $-20-110^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ .
- 3: Laborthermometer  $-10-110^{\circ}\text{C}$ ,  $1.0^{\circ}\text{C}$ .
- 4: Laborthermometer  $-30-50^{\circ}\text{C}$ ,  $1.0^{\circ}\text{C}$ .
- 5: elektronisches Digitalthermometer,  $-50-300^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1^{\circ}\text{C}$ .
- 6: Infrarot-Thermometer  $-30-260^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1^{\circ}\text{C}$ .



Abb. 4. Kalibrieren mit Eis-Wasser-Mischung.

Utensilien: dest. Wasser, Becherglas, Flüssigkeitsthermometer (günstiges Brauthermometer Nr.2), Rührstab, Messfühler Digitalthermometer).  
Hinweis: die Messinstrumente dürfen nicht den Boden berühren  $\rightarrow$  Fehlanzeige: zu hohe Temperatur, da der wärmere Boden Wärme nach oben ausstrahlt.  
Resultat: Das Digital-Temperaturmessgerät ist erstaunlich genau und zeigt den "Soll" Wert von  $0.0^{\circ}\text{C}$  an; das Brauthermometer 2 zeigt den Wert  $+ 1.2^{\circ}\text{C}$  an  $\rightarrow$  Korrektur  $\Delta = - 1.2^{\circ}\text{C}$ . Das Laborthermometer 4 (nicht im Bild) zeigte den Wert  $+ 0.0^{\circ}\text{C}$  an  $\rightarrow$  als Referenzthermometer auch geeignet.



Abb. 5. Messung mit IR-Thermometer.

Das IR-Thermometer misst die kalte Eiswasser-oberfläche mit einer beträchtlichen Abweichung von  $2.0^{\circ}\text{C}$ .

Fazit: Für Bestimmung von Wassertemperaturen ungeeignet; bei Temperaturen in der Nähe des Siedepunktes sind die Abweichungen noch grösser.



Abb. 6. Kalibrieren mit Siedewasser.

Platzieren des Messfühlers und des Thermometers in der Mitte und auf halber Höhe des Becherglases im siedenden Wasser.

Resultat: Das Digitalthermometer zeigt einen Wert von  $97.7^{\circ}\text{C}$ , während das klassische Thermometer  $96.0^{\circ}\text{C}$  anzeigt. Gemäss Rechner beträgt der Siedepunkt bei einer H.ü.M. von  $490\text{ m} = 98.4^{\circ}\text{C}$  bei normaler Wetterlage.

3: Temperaturwerte sowohl vom Referenzthermometer als auch von den übrigen Thermometern/ Digitalthermometer ablesen (vgl. Abb. 5,6)

4: Auswertungsbeispiel:

- Die Abweichung vom Referenzthermometer = Digitalthermometer beträgt  $- 1.7^{\circ}\text{C}$   
 $\rightarrow$  Korrektur  $\Delta = + 1.7^{\circ}\text{C}$ .
- diesen "Korrekturfaktor" bei den weiteren Messungen berücksichtigen



### 3. Normale Temperaturmessung einer Flüssigkeit:

- geeignetes Thermometer kriteriengestützt bestimmen nach Angaben im Pkt. 1
- falls notwendig (z.B. Messung direkt in Gärwürze, in sterilen Anzuchtlösungen u.ä.): Thermometer/Temperaturfühler inkl. Kabel in geeigneter Flüssigkeit entkeimen, z.B. ca. 60 sec eintauchen in 65%iges Isopropanol oder in anderes geeignetes Desinfektionsmittel (cf. Webseite "Mikrobiologisches Braulabor I > Braulabor 6 > Braulabor Minimaltechnik 8: Sterilisations- resp. chemische Desinfektionsverfahren - Desinfektion/Keimreduzierung durch chemische Mittel", sowie "Liste Desinfektions-/Reinigungsmittel [hier](#)")
- Thermometer bzw. Temperaturfühler in Flüssigkeit eintauchen und warten, bis ein stabiler Wert angezeigt wird
- abgelesenen Wert evtl. korrigieren mit gemäss Vorgehen nach Pkt. 2 ermitteltem  $\Delta = \text{Korrekturfaktor}$ .

### Konsequenzen/ Empfehlungen:

- **Digitalthermometer:** ideal für alle Messzwecke sind gute elektronische Digitalthermometer
  - **Präzisions-Laborthermometer:** sind i.d.R. sehr genau (aber in der Anschaffung etwas teurer)
  - **Flüssigkeitsthermometer:** je nach Bereich der Temperaturmessung (z.B. Maische bis 50 °C, > 50°C bis Siedepunkt) sind diejenigen Flüssigkeitsthermometer zu bevorzugen, die in diesem Bereich die geringste Abweichung vom Referenzthermometer aufweisen
  - **IR-Thermometer:** sind nur bedingt zu gebrauchen, z.B. für rasche Kontrolle der Temperatur in einem Anzucherlenmeyerkolben (Startkerkultur, Aussenseite Sudkessel, Oberfläche Gärbehälter. Da die Genauigkeit der Temperaturmessung von dem Emissionsgrad (und vom Empfangswellenlängenbereich des verwendeten IR-Thermometers) der Oberfläche des Materials abhängt, sind die meisten Messungen im Braulabor je nach Oberfläche relativ ungenau bis stark abweichend von der tatsächlichen Temperatur (z.B. bei Metall/Metallblechen, Glas, heissen Flüssigkeiten mit Dampfabgabe) (Info 1 - [Emissionsgrade](#), Info 2 - [Messprinzip](#)). Einzig bei Wasser/wässrigen Lösungen sind Messungen direkt über der Oberfläche der Flüssigkeiten im Temperaturbereich 10 - 50 °C relativ genau.
- **Tip p:** Es empfiehlt sich, in demjenigen Temperaturbereich den Korrekturfaktor  $\Delta$  zu ermitteln, in dem die meisten Messungen durchgeführt werden, z.B. Maische: Bereich 30-50 °C und 50-80 °C.

