



Hefewachstum und Gärung: Optimale Beimpfung der Anstell- Bierwürze mit konditionierten Hefen

**BrauLabor
21
Anstellwürze
Anzucht von
Hefen zur
Gärbereitschaft**

Aufwand: klein	Material: mittel	Zeit: klein	Experimenttyp: Hefewachstum	Anspruch: einfach
--------------------------	----------------------------	-----------------------	---------------------------------------	-----------------------------

Einführung

Nach dem Sudprozess, wenn die Bierwürze vom Kochtrub* befreit ist und bereits in den Gärbehälter transferiert und auf die jeweilige ober- bzw. untergärige Hauptgärtemperatur abgekühlt wurde, wird sie mit der Hefe angestellt. Diese Anstellhefe*zellen werden sich zunächst noch sauerstoffabhängig (aerob*) etwas vermehren und dann die Hauptgärung* anerob*, also ohne Sauerstoff ausführen. Diese Anstellhefe muss gewisse Bedingungen erfüllen: 1. eine optimale Anstellhefezellzahl* (= Hefedosage, Höhe der Hefegabe) aufweisen, 2. das Anzuchtverfahren des Hefestarters, 3. die Hefen müssen im richtigen Zeitpunkt für die Anstellung geerntet werden, damit sie eine hohe Viabilität* aufweisen und "gärhungrig" sind. Weitere Parameter sind 4. die Anstelltemperatur, 5. das Einmischverfahren/Belüftung und 6. die Dauer der Würzebelüftung.

Die Beimpfung der sterilen Anstellwürze ist der eigentliche Schlussakt und Startschuss zum gesamten Gärprozess. Im Braulabor 21 werden nur noch die Punkte 3-6 besprochen.

*: definierte Begriffe -> siehe INFO > Glossar Biochemie/Mikrobiologie/Brautechnologie



Die optimale geistige Durchdringung und Verständnis zur Vorbereitung der Anstellhefe, die Vorbereitung selbst und die Durchführung einer gelingenden Anstellung der Bierwürze, um dann das gewünschte Resultat der optimalen Bierqualität zu erreichen.

Materialien

Glaswaren/Geräte/ andere Materialien	cf. jeweiliges Braulabor 19 + 20, diverse Messgeräte (sofern vorhanden: cf. Abb. 10, 11), Belüftungset (Aquariumpumpe, Schlauchmaterial, Sterilfilter 0.2 µm, Würzebelüftungstein aus Edelstahl, Digitalthermometer, Milchsieb, Kühlschlange)
Verbrauchsmaterial	cf. jeweiliges Braulabor 19 + 20
Chemikalien	cf. jeweiliges Braulabor 19 + 20, evtl. Methylenblau 0.01%, Alufolie, Desinfektionsmittel (65% Isopropanol oder 70% Ethanol)
Biologische Objekte	Brauhefen-Flüssigkultur (z.B. eingekaufte Hefeflüssigkultur [Wyeast, White Labs, Hefe-Anzuchtkultur aus Trocken-Bierhefe (rehydrierte Hefen), Anstellhefe [Starterkultur] u.a.), gewaschene Ernte-Hefen, Schrägagarkultur/Hefe-Arbeitskultur u.a.

Durchführung in 6 Teilschritten

Schritt I: Bestimmung der optimalen Anstellhefezellzahl

Der wichtigste Faktor einer guten optimalen Gärung ist neben der Temperatursteuerung die Beimpfung der sterilen Anstellwürze mit einer gesunden Hefepopulation in der richtigen Dosierung (Anzahl Hefezellen pro Volumeneinheit, z.B. Mio./mL Bierwürze). Die Verfahren sind abhängig von der Hefeart (Trockenhefe, Flüssighefe) und dem Bierstil (obergärige Ale-Hefen, untergärige Lager-Hefen).



Verfahren: siehe unter "Braulabor 19: Bestimmung der optimalen Anstellzellzahl (Hefegabe, Hefedosage)"



Abb. 1. Rechner für Anstellzellzahlen.



Schritt 2: Bereitstellung bzw. Anzucht eines Hefestarters

Je nach Herkunft der Hefezellen (Schrägagarstammkultur, Trockenhefebeutel, Flüssigkultur, Bierflaschenhefesediment u.a.) empfiehlt es sich, eine Starterkultur anzulegen, um eine optimale Fermentation zu gewährleisten.



Verfahren: siehe unter “Braulabor 20: Hefestarter - Anzucht der Anstellhefen”

Wichtig: Der Hefestarter selbst ist ja ein kleiner Gäransatz und sollte bis an das Ende dieser Starterfermentation kommen, wo die Hefen ihren Glykogen*- und Trehalose*vorrat anlegen. Er sollte dann nicht allzu lange gelagert werden, bevor er zum Einsatz kommt, denn sonst baut er diese für die Zellvermehrung wichtigen Reservestoffe wieder ab.

Info dazu: cf. Glossar Biochemie > Glycogen.

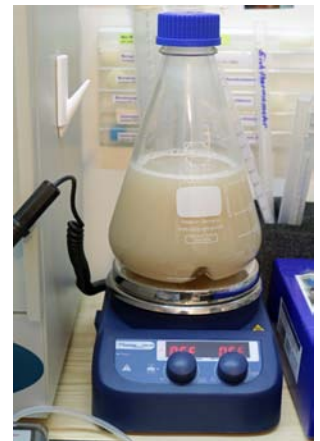


Abb. 2. Starterkultur auf heizheizbarem Magnetrührer, IL-EMK mit Schikanen.

Schritt 3: Zeitpunkt und Form der Hefegabe

Zeitpunkt: Die Hefegabe sollte zeitlich optimal auf den Zeitpunkt der Fertigstellung der Anstellwürze abgestimmt sein, oder umgekehrt - was für den Heimbrauer u.U. einfacher zu timen ist. Jede Wartezeit ermöglicht es den bis zu 10fach kürzeren **Generationszeiten** ○* “schnelleren” Bakterien, meist aus Bakteriensporen* stammend, sich zu unerwünschten Mitkonkurrenten als “Würzebakterien” zu entwickeln, welche die für Bierhefen notwendigen Vitamine und Wachstumsstoffe entziehen. Das Ziel der optimalen Abstimmung zwischen Bereitstellung der sterilen Anstellwürze und dem Hefestarter ist die maximale mikrobiologische Sicherheit, dass sich nur die gewünschten Bierhefen vermehren können.

Der Hefestarter sollte innerhalb von etwa 18 Stunden nach dem Erreichen seines optimalen Zustandes (Kriterium 1: Zellzahl, Kriterium 2: Hochkräusenstadium) eingesetzt werden.



Abb. 3. Richtiges Timing ist wichtig.

○ Hefen : 90-120 min, Bakterien 10-60 min.

Form der Hefegabe: in den kommerziellen Brauereien wird zwischen 4 Formen unterschieden: 1. Reinzucht*- oder Propagationshefe*, 2. Mischung Propagationshefe und Erntehefe*, 3. nur Erntehefe, 4. Kräusen*beimpfung. Für den Hobbybrauer kommen die ersten 3 Formen in Frage, die grösste mikrobiologische Sicherheit aber bietet Form 1, also immer frisches Hefematerial einzusetzen.



Verfahren: siehe auch unter “Braulabor 5: Gesamtzellzahlen bestimmen” sowie folgende Hinweise

1. Abstimmung Zeitpunkt:

- Der Ablauf des Brauprozesses am Sudtag bis zur Gewinnung der Anstellwürze ist i.d.R. dem Heimbrauer genau bekannt und vertraut, die zeitlichen Variationen je nach Bierrezept gering, also bis auf ca. 1 Std. genau planbar
- Der zeitliche Verlauf des Hefewachstums im Hefestarter schwankt etwa zwischen 12 - 36 Stunden, je nach Impfmenge; als Richtwert können 24 h angenommen werden (cf. “Braulabor 20: Hefestarter: Anzucht der Anstellhefen”, S. 5ff.).
- Aufgrund der eigenen Erfahrungswerte kann diese Zeitdauer relativ genauer bestimmt werden, insbesondere wenn die Hefezellzahlen bestimmt werden, z.B. mit dem Zählkammer-Verfahren “Braulabor 5: Gesamtzellzahlen bestimmen”, oder ganz komfortabel, wenn auch nicht billig mit dem schnellen und raffinierten Oculyze-Verfahren (cf. MUG-MIKROBRAUEREI > Brau- und Messtechnik > 22 Oculyze Hefeanalysemikroskop; cf. auch [hier](#)).

- Mit dem Oculyze-Messverfahren kann gleichzeitig auch noch die Hefeviabilität* bestimmt werden. Die übliche Methode zur Bestimmung der Hefeviabilität ist unter "Braulabor 4: Hefequalität I: Viabilitätstest ("Lebensfähigkeit")" beschrieben.

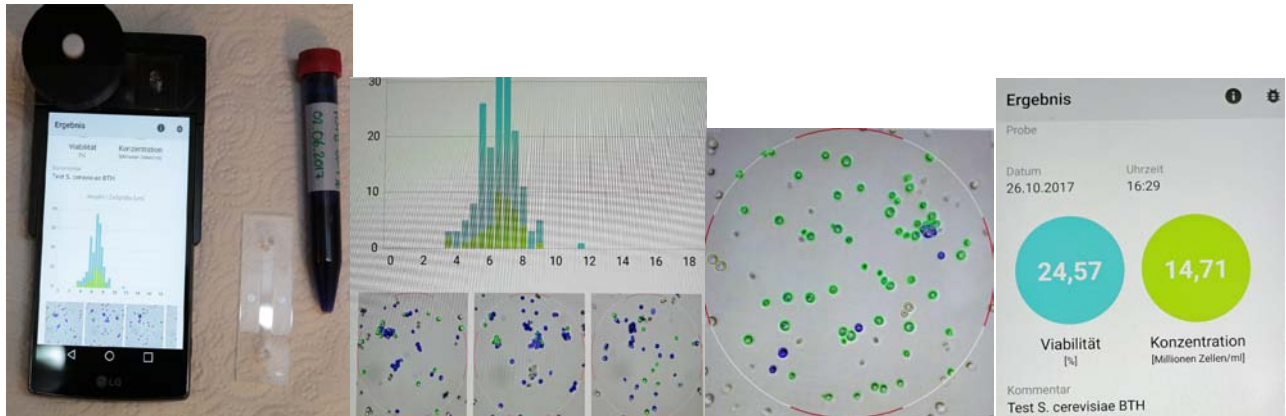


Abb. 4. Das [Oculyze-Hefeanalyse](#)system: Oculyze-Hefeanalysemikroskop, Zellbilder (grün Hefezellen = vital, blau = tot) und Auswertung mit Zellzahlen/mL und Viabilität.

- Optische Gärstadien: das Stadium der Gäraktivität (= Gärverlauf) lässt sich auch optisch beobachten: Ankommen → Weisskräusen → Hoch-/Braunkräusen → Deckenbildung/Durchbruch → Schlauchreife. Das Stadium mit der höchsten Gäraktivität, Hochkräusen ist ebenfalls ein guter Hinweis, dass der Hefestarter einsatzbereit ist.

2. Form der Hefegabe:

- Jede Form der Hefegabe hat ihre Vor- und Nachteile. Für den Heimbrauer kommen nur Form I-3 in Frage, wobei er mit Form I (frischen Reinzuchthefen) wohl die besten Resultate bei der Erprobung neuer Bierstile erzielen kann. Bei der Produktion des immer gleichen Biertyps können auch Mischungen und reine Erntehefen mit gutem Resultat eingesetzt werden.

Schritt 4: Die optimale Anstelltemperatur und Gärtankbefüllung

Die Temperatur der Anstellwürze muss der jeweiligen Temperatur der Hefestarterlösung entsprechen, um ein "Abschrecken" der Hefen zu vermeiden. Und diese Anstelltemperatur wiederum muss einer kalten untergärigen oder warmen obergärigen Gärführung korrespondieren. Die Abkühlung des heißen Sudes auf die optimale Würzeanstelltemperatur wird am besten mit einem Kühlspirale (Kühlschlange) und durchfließendem Leitungswasser erreicht. Die Temperatur sollte dabei fortlaufend verfolgt werden, z.B. mit Hilfe eines Digitalthermometers mit langem Edelmetallfühler, der direkt im Sud bzw. in der abzukühlenden Bierwürze hängt.



Verfahren: siehe auch unter "MUG-BRAUPROZESSE & BIERE" > Brauprozesse mit Braumeister > Abb. 5.5"

1. Kühlspirale entkeimen:

Nach dem Sud und Whirlpools wird die zunächst mit Alkohol (70% Ethanol oder 65% Isopropanol) entkeimte Kühlspirale in den noch heißen Sud eingehängt

2. Temperaturmessung:

Die Temperatur wird einem elektronischen Thermometer, dessen Messfühler ebenfalls im heißen Sud sich befindet laufend beobachtet (beim Braumeister ist die Temperatur direkt am Display der Brausteuerung sichtbar)



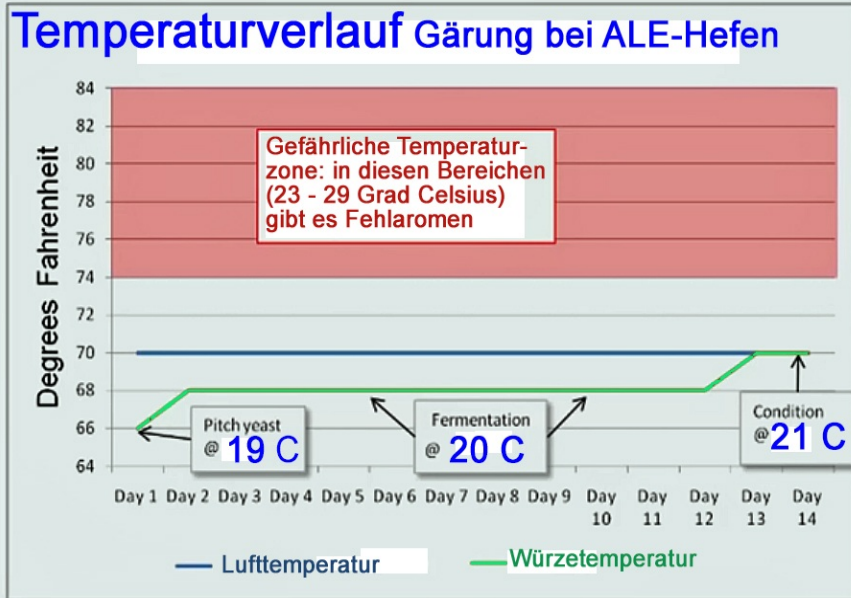
Abb. 5. Das Kühlsystem. Desinfektionsmittel (65% Isopropanol), Kühlschlange, Digitalthermometer.

3. Wahl der optimalen Anstelltemperatur:

- ▶ für **obergärige ALE-Hefen**: stammspezifisch: cf. "Handlingtipps Nr. 5 Wahl der Brauhefen"
 - [Fermentis](#) Bsp. Safale WB-06: Temp. 18-24 °C Nelkenaroma: < 20 °C, Bananenaroma: > 20 °C
 - [Lallemand](#)
 - [Mangrove Jack's](#)
 - [Brewferm](#)
 - [Mauribrew](#)
 - [Gozdawa](#)
 - [Zymoferm](#)
 - TROCKENHEFEN
 - FLÜSSIGHEFE
 - [Wyeast](#)
 - [White Labs](#)
 - [Fermentum mobile](#)
 - [Zymoferm](#)
 - [Omega Yeast Lab](#)
- ▶ für **untergärige LAGER-Hefen**: unter den gleichen Links sind auch die verfügbaren untergärigen Hefestämme zu finden
Bsp. Wyeast: Pilsen Lager 2007: Temp. 9-13 °C.

4. Modifikation der Anstelltemperatur zu Verhinderung von **Fehlaromen**:

Um die Bildung von Fehlaromen zu verhindern, sollte der folgende Temperaturverlauf für das **Anstellen** und die anschließende **Hauptgärung** berücksichtigt werden:



1. Phase: ca. 1 Tag
Anstelltemperatur 1-1.5 °C tiefer als empfohlene Hefestammtemp.

2. Phase: Hauptgärung
Gärtemperatur von z.B. 19°C auf 20°C anheben und dann konstant halten

3. Phase: Ende Hauptgärung
Gärtemperatur um 1°C anheben z.B. auf 21°C

Abb. 6. Idealer Temperaturverlauf beim Anstellen bis zum Ende der Hauptgärung.

[Abb. mod., [Quelle](#)]

5. Würze abkühlen:

Mit dem kalten Leitungswasser wird nun die Anstellwürze relativ rasch auf die optimale Anstelltemperatur bzw. je nach Umgebungstemperatur leicht darüber abgekühlt, die der Temperatur des Hefestarters entsprechen sollte



6. Würzetransfer in Gärbehälter:

Ohne Verzug wird nun die temperierte Anstellwürze möglichst keimarm in den keimfreien desinfizierten Gärbehälter über ein Milchsieb (→ Trubfiltration: Befreiung vom Kochtrub insbes. der Hopfenreste*, [Info](#)) abgelassen (das Milchsieb sollte mit einer Alufolie bedeckt bleiben, das seinerseits die Öffnung des Gärbehälters bedeckt) → die Anstellwürze kann nun beimpft werden.

***Hinweis:** die Trubentfernung ist äusserst wichtig, weil sonst der Gärverlauf gehemmt werden kann, die Haltbarkeit des Bieres reduziert und damit auch die Qualität des Bieres leidet. Das Milchsieb kann dabei allerdings verstopfen und muss u.U. durch einen zweiten desinfizierten Siebeinsatz (oder durch ein 2. Milchsieb) ersetzt werden.



Abb. 7. Würzetransfer.
Ablassen der abgekühlten Anstellwürze über ein Milchsieb in den Gärbehälter.

Schritt 5: Belüftung und Hefeeinmischverfahren

Die Anstellung muss sowohl möglichst keimarm wie auch rasch durchgeführt werden mit dem Ziel, eine möglichst intensive Vermischung der Hefezellen mit dem Würzesubstrat von Anfang an zu erzielen. Eine gute Durchmischung Würzesubstrate - Hefen kann natürlich klassisch durch Schütteln (5 min → ca. 2.7 ppm O₂) oder 10 min langes Rühren mit einem Kochlöffel erreicht werden (→ max. 4 ppm O₂). Wird der Gärbehälter mit reinem Sauerstoff O₂ gefüllt und dann 30, 60 oder 120 sec geschüttelt, wird ein Wert von → ca. 5, 9 und 14 ppm O₂ erreicht. Aber einfacher und besser ist es, die Belüftung mittels Luftpumpe (meist Aquariumpumpe mit Sterilfilter 0.2 µm und Würzebelüftungsstein aus Edelstahl) gerade auch zur Durchmischung einzusetzen.



Abb. 8. Belüftungseinheit aus Aquariumpumpe, 0.2 µm Sterilfilter und Edelstahl-Würzebelüftungsstein.



Verfahren: siehe auch unter "MUG-BRAUPROZESSE & BIERE" > Brauprozesse mit Braumeister > Abb. 6.4-6.7"

Belüftung mit steriler Luft:

1. Vorbereitung Belüftungseinheit:

Nachdem die sterile Anstellwürze im Gärbehälter ist, wird via Aquariumpumpe → 0.2 µm Sterilfilter → Schlauch mit Würzebelüftungsstein belüftet, nachdem die ganze Belüftungseinheit in einem Vernichtungsbeutel im Dampfkochtopf während 15 min bei 121 °C autoklaviert wurde

2. Belüftung:

Während 5 - max. 15 min wird mit sterilfiltrierter Luft belüftet, bis der O₂-Gehalt ca. 8 ppm beträgt (1 ppm = parts per million, "Teile von einer Million", 10⁻⁶, 1 mL in 1 m³ = 1'000 L = 1'000'000 mL Gasvolumen)



Abb. 9. Anstellung mit der Starterhefesuspension bei laufender Belüftung und brennendem Gasbrenner.

Hinweise zur Belüftungsdauer (20 L-Ansatz): empfohlenes O₂-Optimum 12 - 15 ppm

Belüftungsmethode	Dauer	messbare O ₂ -Konzentration [ppm]	Quelle, Kommentar White, C. et al, Yeast. Brewers Publ. Colorado (2010); Video
Schütteln des Gärbehälters mit Luft	45 sec - 5 min	2.7 bis max. 4	
Schütteln des Gärbehälters mit reinem O ₂	45 sec	≥ 10	
Würze plätschernd umgessen		≤ 4	
mit Bierrührkelle an Bohrmaschine Luft-O ₂	5 min	8	cf. Video
Begasung mit reinem O ₂ mit Belüfungsstein	30 sec/ 60 sec/ 60 sec / 120 sec	5.1 5.1 9.2 14.1	beste Methode cf. Video
Aquariumpumpe mit Edelstahl-Belüfungsstein via 0.2 µm Sterilfilter	5 - 15 min	≤ 8	längere Belüfungszeiten bringen nicht mehr O ₂ in die Würze

[Info.](#)

Hefeeinmischverfahren:

3. Hefezugabe (= Anstellung) und Hefeeinmischung:

Aus dem Hefe-Anzuchtgefäß, z.B. Erlenmeyerkolben wird bei noch laufender Sterilluftbelüftung die Hefestarterlösung in den Gärbehälter eingegossen und noch kurz (ca. 3 min) weiter belüftet → gute Durchmischung Hefe - Bierwürze.

Ein oder zwei brennende Gasbrenner neben dem Gärbehälter sowie die fast abgedeckte Öffnung des Gärbehälters erschweren, dass während des Anstellens Luftkeime in den Gärbehälter gelangen können.

4. Beginn der Gärung:

Der Gärbehälter wird mit dem Gärspond (Gärglocke) verschlossen und mit einer Sperrflüssigkeit gefüllt (z.B. ention. Wasser, besser: schweflige Säure, 2-6%, [Info](#))

Beobachtung de

5. Überwachung der Gärung:

- Phase 1: **Lag-Phase** (latente Phase, Adaptationsphase) = Synthese Zellbestandteile: 0 - 15 Stunden

Anpassung an chemisch-physikalische Umgebung

Aufnahme von Nahrungsstoffen (Aminosäuren*, Mineralstoffe, Wachsfaktoren) und Sauerstoff

Enzymmobilisierung

Synthese von Zellbestandteilen (z.B. **Sterin**synthese), Zellmembranen

→ keine sichtbaren "Aktivitätszeichen"

- Phase 2: **Exponentielles Wachstum** = Hauptgärung (Primärgärung): 5 Stunden - 4 Tage

Sauerstoff verbraucht

Zellvermehrung

Bildung von Ethanol und Geschmackskomponenten

CO₂-Gasproduktion

Schaumproduktion

→ sichtbarste Aktivitätszeichen: Gasblasenbildung, Bewegung der Gärglocke, Hochkräusen und andere Schaumstadien

- Phase 3: **Stationäre Phase** = Nachgärung (Sekundärgärung): 3 - 10 Tage)

Hauptmenge an Zucker in Alkohol umgewandelt

Abnahme Zellwachstum

Bildung von Geruchs- und Geschmackskomponenten abgeschlossen (inkl. Ester, Fuselalkohole, S-haltige Komponenten)

Bierreifung/Konditionierung: Reabsorption von Diacetyl, Acetaldehyd

Schwefelwasserstoff H_2S entweicht

Ausflockung der Hefe

Ausblick: Maximale Möglichkeiten des Heimbrauers zur Gärsteuerung und Überwachung:

In den letzten Jahren sind **ganz innovative Produkte*** für den ambitionierten Heimbrauer erschienen, mit denen sich der Gärprozess auf einfache Weise steuern und überwachen lässt (→ genauere Hinweise: siehe Handlingtipp Nr. 9 - Überwachung/Steuerung Gärungsprozess).

- **Gärglocke:** Gärungsablauf/ Gärungsintensität als $f(CO_2\text{-Gasbildung})$: konventionell mit einer Gärglocke (Gärspund, z.B. [Info](#), [Video](#), [Video](#)). Die Intensität des Gasdurchtritts orientiert zuverlässig über den Gärverlauf: sichtbares Anheben des Stopfens, Ton des Blubbers, Anzahl Blobs pro Zeiteinheit.
- ***Gärspundmobil** von Speidel: registriert Gäraktivität über die Anzahl der Blobs im Gärspund sowie die Temperatur im Gärbehälter und sendet diese Daten per WLAN an das Kundenportal in [myspeidel.com](#). Über diese Gär- und Temperaturkurven kann der Gärverlauf überwacht und analysiert werden. Der voraussichtliche Abfüllzeitpunkt lässt sich auf diese Weise besser voraussagen und planen. ([Info](#), [Video](#)).
- **TILT Hydrometer:** kontinuierliche Messung des Extraktgehaltes (spezifische Dichte, engl. specific gravity SG → Plato-Werte) und der Temperatur im Gärbehälter, Übertragung via Bluetooth aufs iPad oder Mobiltelefon und WLAN-Übertragung ins Internet (Google sheet). Ideal zur Kontrolle des Gärverlaufs und Bestimmung des Abfüllzeitpunktes FG (Final Gravity). ([Info](#), [Video](#), App [Brewometer](#)).
- **Brew Jacket:** Heiz- und Kühlfinger zur genauen Temperaturregelung im Gärbehälter. ([Info](#), [Video](#))

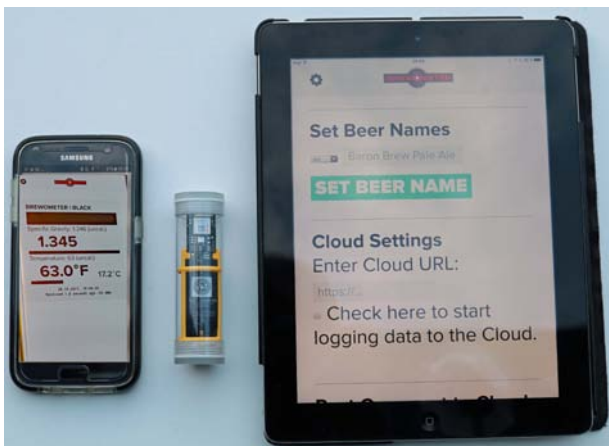


Abb. 11: Elektronisches Hydrometer TILT sowie Mobiltelefon bzw. iPad mit Brewometer-App.

Misst im Gärbehälter kontinuierlich Temperatur- und Dichtewerte und überträgt sie nach aussen auf ein Handy oder iPad und via WLAN ins Internet in eine Google-Tabelle, aus der sehr anschaulich der Gärverlauf ersichtlich wird.

Info: [Gärungsphasen](#). [Info](#).



Abb. 10. Gärprozessüberwachung (von links nach rechts).

Gärspund klassisch: CO_2 -Gas hebt Stopfen (= "Blop").

Gärspundmobil^{SPEIDEL}: registriert Anzahl Blobs und Gärtemperatur.

TILT Hydrometer: kontinuierliche Messung der Temperatur und der spezifischen Dichte → Abnahme des Stammwürzegehalts, Gärverlauf (cf. Abb. 11).

Brew Jacket: Heiz- und Kühlfinger zur Temperaturregelung im Gärbehälter.