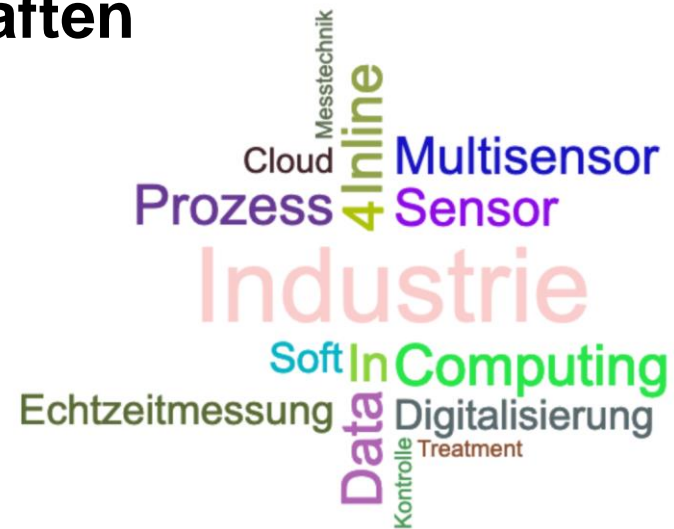
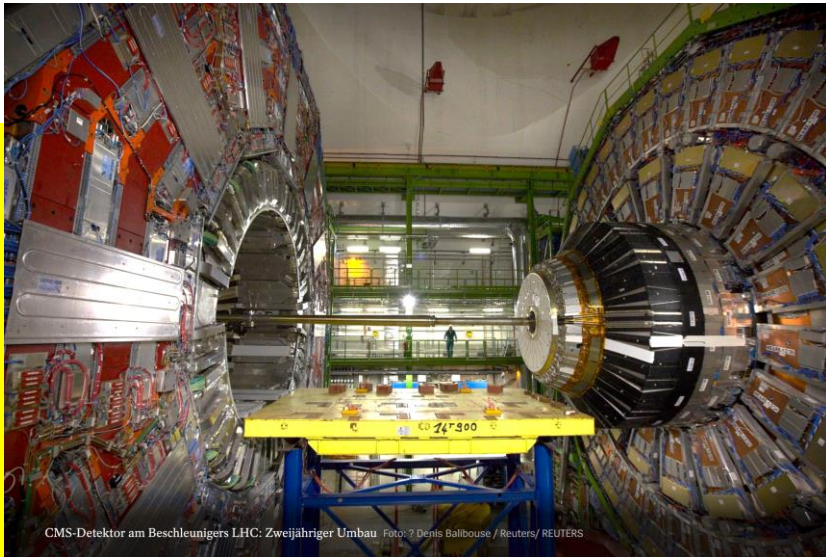


Nach den Sternen greifen, ohne dabei abzuheben: Prozesskontrolle aus Sicht der angewandten Wissenschaften

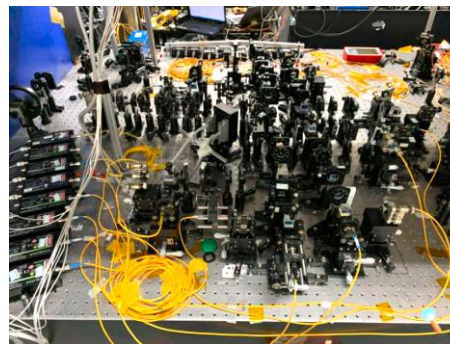


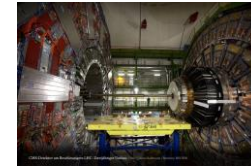
Prof. Dr.-Ing. W. Riedl
Hochschule für Life Sciences FHNW, CH-Muttenz

Messen im Spannungsfeld zwischen High-End und Pragmatismus



Messtechnik
Cloud
Prozess
Industrie
Echtzeitmessung
Data
4InLine
Multisensor
Sensor
Soft In Computing





- Wunsch nach “tieferem Einblick“ zum besseren Verständnis ist menschliche Eigenschaft, daraus folgt (Er-)Forschungsdrang und Bedarf an neuen (Mess-)Techniken
- Selten ist aber „alles“ messtechnisch erfassbar:
Limitierung durch Technik, Zugänglichkeit, Aufwand für
Set-up **& Kosten**
- Jedoch: Bereits viele Zusammenhänge bekannt und beschrieben – auch im nicht-wissenschaftlichen Bereich („Volksmund“):

„Heute back`ich, morgen brau`ich“
(Bedeutung der Hefe für das Brotbacken und Bierbrauen)

„Aprilschnee bringt Grad und Klee.“
(Bauernregel)

➤ Neue Entwicklungen / Fortschritte durch Mindset:

«Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.»

Albert Einstein

➤ Aber auch: bereits beschriebenes weiterdenken, mit verbesserten Möglichkeiten untersuchen und be-/erarbeiten

(TäterInnen-Überführung mit DNA-Nachweis – oder Digitalisierung in der Verwaltung:

«Bei der Eroberung des Weltraums sind zwei Probleme zu lösen: Die Schwerkraft und der Papierkrieg. Mit der Schwerkraft werden wir fertig.»

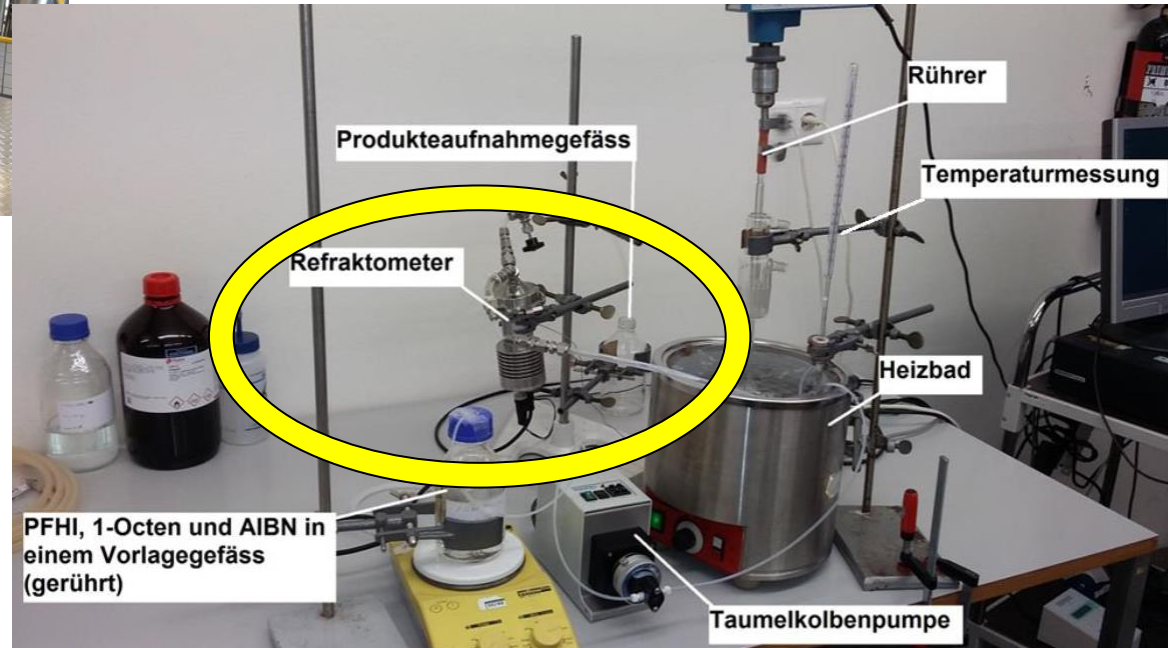
Wernher von Braun

Beispiel: Konzentrationsmessung während chemischer Reaktion



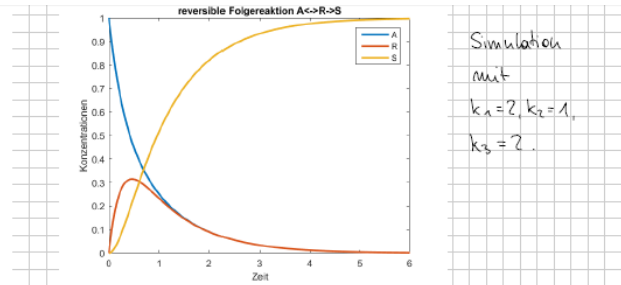
Konti-Reaktion im „Strömungsrohr“:

- ✓ gegebene Schlauchlänge
- ✓ variabler Fluss
- ✓ variable Temperatur
- ✓ variable Begasungsrate
- ✓ variable Rührergeschwindigkeit



Aus Batch-Versuchen ermittelt: Endprodukt hat bekannte Brechzahl im Lösemittel:
 Prozesskontrolle über Brechzahlmessung am Austritt Schlaufenreaktor!

Flow Chemistry: Inline-Prozesskontrolle

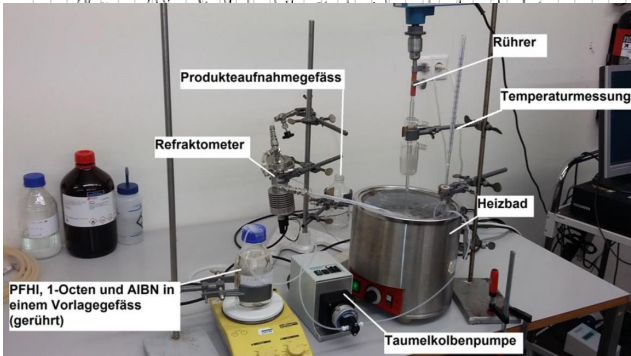


Simulation
mit
 $k_1 = 2, k_2 = 1,$
 $k_3 = 2.$

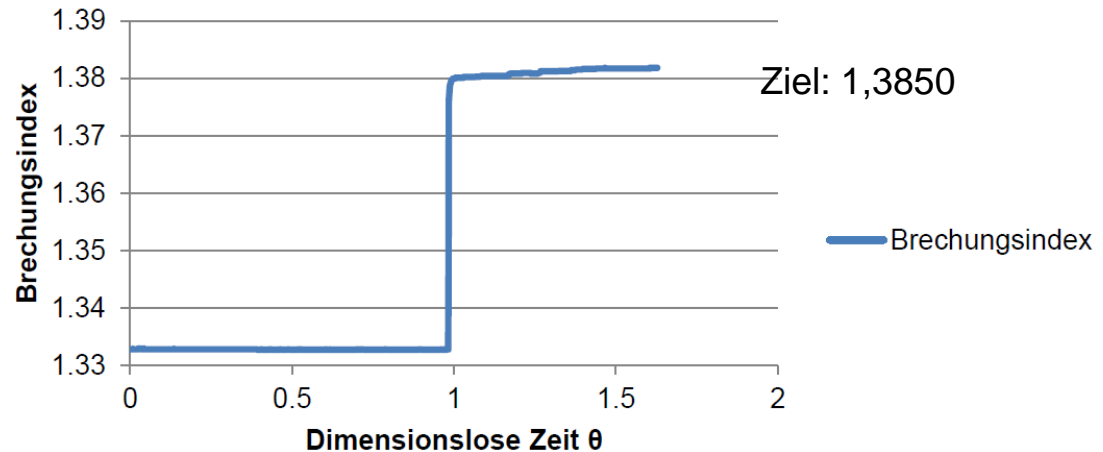
Bemerkung: Für k_2 sehr klein, geht reversible in irreversible Folgereaktion über.

Mithilfe von aus Vorversuchen ermittelter Reaktionskinetik:
Vorhersage des erwarteten Konzentrationsverlaufs (=umgerechnet in Brechzahlsignal) [tool: MatLAB]

③ Michaelis-Menten & Lineweaver-Burk



Verlauf Brechungsindex Versuch 1



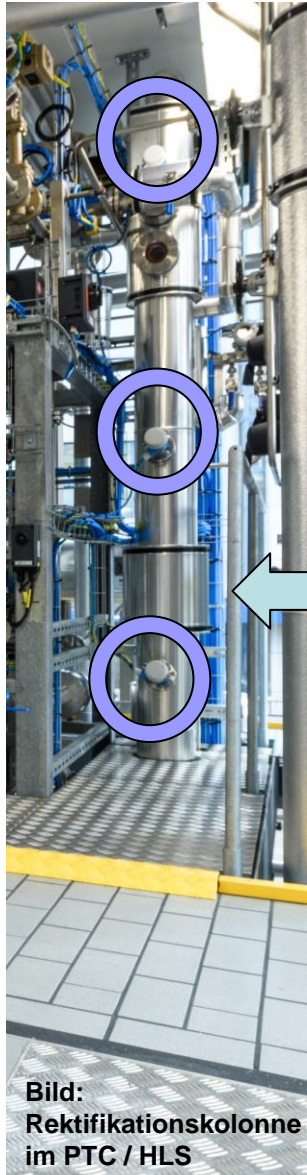
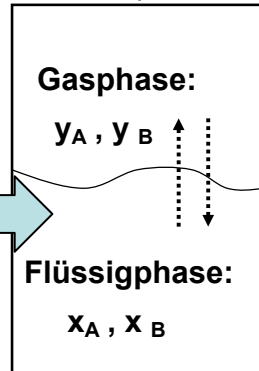
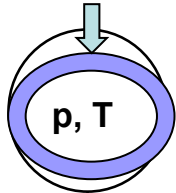


Bild:
Rektifikationskolonne
im PTC / HLS

Inline-
Messung
von



Annahme: binäres
Stoffgemisch (A, B)

Beispiel: Konzentrationsmessung während der Destillation

➔ Destillate meist sehr rein (klare Flüssigkeit), aber Konzentration auf den Stufen (eher) unbekannt

➔ Offline-Analytik erforderlich (~~At-line~~) (~~In-time~~)



➔ **Oder:** Altbekannte Zusammenhänge (>120 Jahre) neu angewendet:

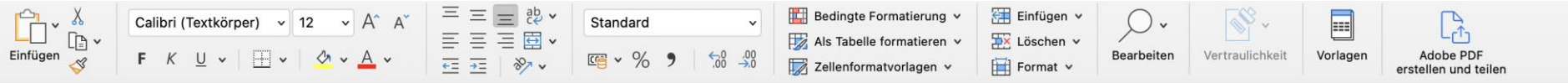
$$y_A = \frac{p_A}{p} = \frac{p_{0,A} \cdot x_A}{p} = f(T) \quad \text{Raoult/Dalton*}$$

(bei bekannter Feedzusammensetzung x_A kann die Destillatzusammensetzung y_A aus dem Dampfdruck $p_{0,A}$ der Komponente A und dem herrschenden Druck p berechnet werden)

François Marie Raoult (10. Mai 1830 in Fournes-en-Weppes, Département Nord; † 1. April 1901 in Grenoble) war ein französischer Physiker und Chemiker.

John Dalton (6. September 1766 in Eaglesfield, Cumberland; † 27. Juli 1844 in Manchester) war ein englischer Naturforscher und Lehrer.

Theorie und Praxis: Übereinstimmung?! *



Stoffsystem	Aceton-Wasser	
	= Eingabe	= Ausgabe (berechnet)
Po1	815 mbar	po2 4481.77995 mbar
T01	50 °C	
ges. Temp. T02	91.2 °C	
ΔH_v	40.5 kJ/mol	
R	0.008314 kJ/molK	

8.314 J/molK

Eingabe (x_A) = 0.2

γ (Anteil LS in Gasphase) = 0.885

berechnet (y_A)

1013 mbar

* Für Systeme mit Aktivitätskoeffizient $\neq 1$ aufwändiger

Reden wir über Bier....

Stammwürze

Als **Stammwürze** oder **Stammwürzegehalt** bezeichnet man den Anteil an **Malz**, **Malzextrakt** und zum anderen unvergärbare Stoffe im **Stammwürze**.



„...Die Stammwürze ist der Haupteinflussfaktor für den späteren Alkoholgehalt, den Nährwert des Bieres und eine entscheidende Messgröße für die Ermittlung der Biersteuer..“

für den späteren Alkoholgehalt, den Nährwert des fertigen Bieres sowie eine mit entscheidende **Messgröße** bei der Ermittlung der **Biersteuer**. Sie kann die Messung der Dichte mittels einer **Bierspindel** gemessen werden. In der Brauindustrie spricht man auch von **Extraktgehaltsmessung**. Ebenfalls möglich

ist die retrograde Berechnung mit Hilfe der sog

„...kann mit Hilfe eines Refraktometers oder über die Dichtemessung (Bierspindel) ermittelt werden..“ (Balling 1843)

- $p =$ Dichte
- m_{alc} = Massenanteil Alkohol in Prozent
- E_w = Extraktgehalt in Massenprozent

$$p = \frac{(2,0665 \cdot m_{alc} + E_w) \cdot 100}{100 \text{ g} + (0,11 \text{ g} + 0,9565 \text{ g}) \cdot m_{alc}}$$

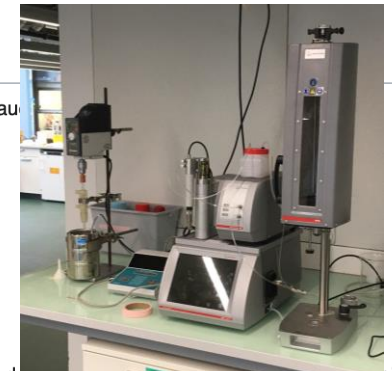
- m_{alc} = Massenanteil Alkohol in Prozent
- E_w = Extraktgehalt in Massenprozent

Stellen der **Dichte** (in kg/m^3) dividiert durch vier ergibt. Eine Dichte von 1050 kg/m^3 ents

aus: wikipedia.de, aufgerufen am 23.4.2022

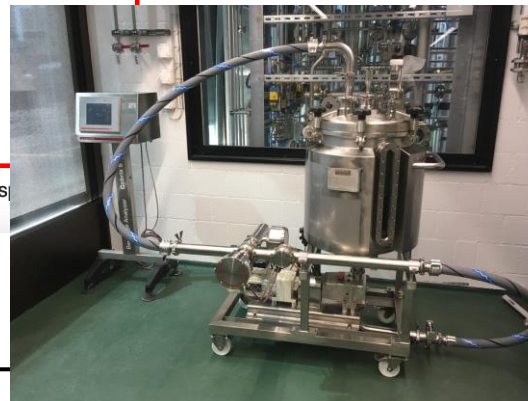
[bearbeiten]

sich in der Fachliteratur.[2] Für den in der Bierbrau werden:



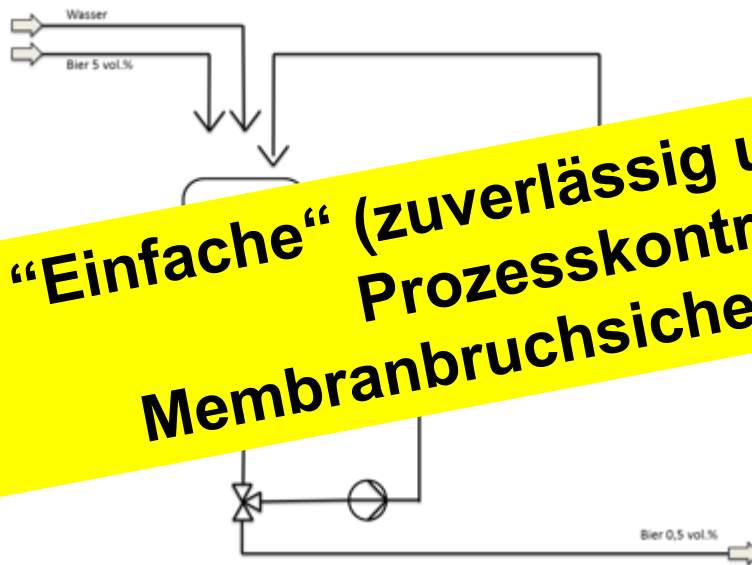
h der Stammwürzegehalt aus dem letzten Erwei

„Beer Analyzer“
(Fa. Anton Paar),
im PTC/HLS



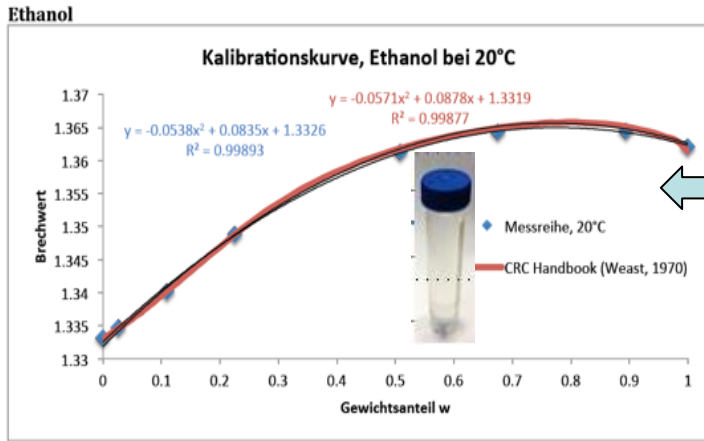
Entalkoholisierung von Bier mittels Membrantechnik

- Start mit normal gebrautem Bier
- Abtrennung von Ethanol/Wasser (+ wenig Aroma)



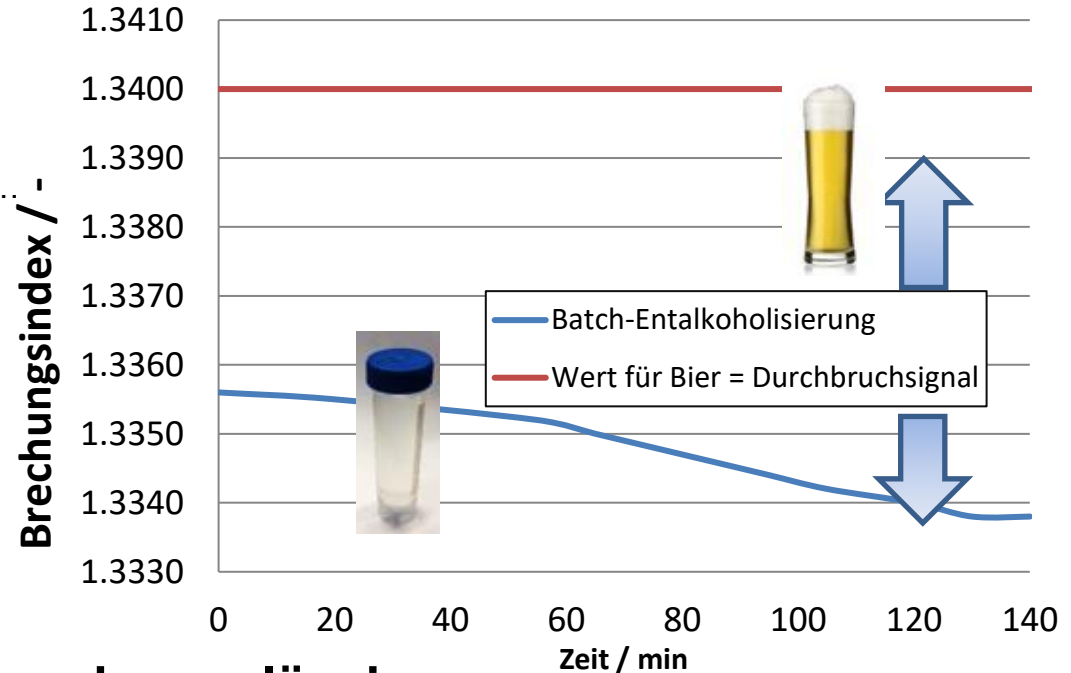
**“Einfache“ (zuverlässig und kostengünstig)
Prozesskontrolle und
Membranbruchsicherung gewünscht**

- ... ist „Ersatzteil“ und verliert mit der Zeit an (Trenn-) Leistung
- Wann ist der Zeitpunkt zum Austausch?
- Kann Membran während des Prozesses Leck schlagen?



Binäres Gemisch Ethanol/Wasser kann sehr gut mittels Refraktometrie gemessen werden; Bier jedoch nicht. Membranprozess liefert aber klares Permeat, daher....

Ausreichend genau beschrieben seit > 50 Jahren...



...Brechzahlmessung einfach und zuverlässig:

Refraktometer überwacht

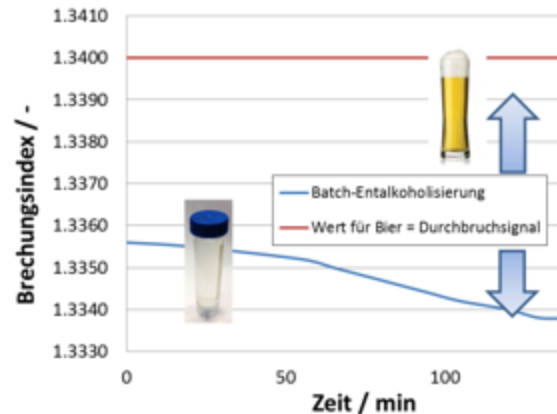
den Membranentalkoholisierungsprozeß und zeigt den Verlauf an (ca.+/- 0.2 Vol.-%)



Entalkoholisierung von Bier mittels Membrantechnik

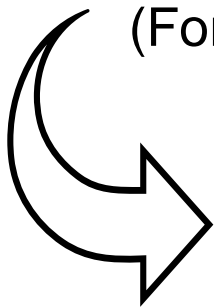
Durch **Fokus auf die Online-Kontrolle der Produktqualität** (hier: aktueller Alkoholgehalt mittels Online-Refraktometer) wird vom Membranverfahren als „kritischer Prozess“ abgelenkt und gleichzeitig das Bedürfnis des Betreibers nach **maximaler Kontrolle** befriedigt

– und das äusserst kompakt und einfach in der Handhabung!



Zusammenfassung

- ✓ clevere Kombination aus (weiterentwickelter) Messtechnik und Prozessverständnis eröffnet neue, kluge Messstrategien und Einblicke
- ✓ Es muss nicht immer etwas völlig neues sein: Gerade zuverlässiges “altbekanntes“ neu gedacht ist gut für „neue“ Produkte und Services (z.B. Soft-Sensor in der Cloud, „gläserner“ Prozess)
- ✓ Offene Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen (Forschung/Entwicklung/Anwendung) ist Schlüssel zum Erfolg



Willkommen an der Hochschule für Life Sciences!

Vielen Dank ...

Ihnen für Ihr Interesse und unseren Partnern
für die Unterstützung!

Messtechnik / Steuerung:

Endress+Hauser 



 SCHMIDT
HAENSCH

SCHMIDT + HAENSCH GmbH & Co.

Waldstraße 80/81

13403 Berlin

www.schmidt-haensch.com

Gesamtanlage (inkl. Mess-/Regeltechnik und Membranen):



MemO₃ GmbH

Eichenstraße 25

CH- 4313 Möhlin

www.memo3.ch