UNIKASSEL
VERSITÄT

# Smart Drying in der Pflanzentrocknung: Technologie und Praxis

PD Dr. Barbara Sturm
Leiterin Verfahrens- und Systemtechnik in der Landwirtschaft
FG Agrartechnik

Email: barbara.sturm@uni-kassel.de
Tel: +49 5542 98 1603

# SusOrganic und SusOrgPlus Projekte

- **gefördert durch die Core Organic Plus und Core Organic Cofund Programme der EU**
- **Entwicklung von Qualitätsstandards bei der Trocknung und Kühlung von Biolebensmitteln**
- **Optimierung bestehender Anlagen zusammen mit Betreibern**
- **Entwicklung neuer Technologien und Regelungsverfahren**
  - Smart drying
  - $CO_2$ neutrale, hocheffiziente Wärmepumpen
- **Abhalten von Weiterbildungsmaßnahmen für die Betreiber**

# Trocknung empfindlicher Güter

- **Trocknungsdauer**
  - Produkt
  - **Prozesstemperatur**
  - Feuchtigkeit
- **Energieverbrauch**
  - **Lufttemperatur**
  - Dauer des Prozesses
  - Verfahrensführung
- **Qualität**
  - **Produkttemperatur**
  - Dauer des Prozesses

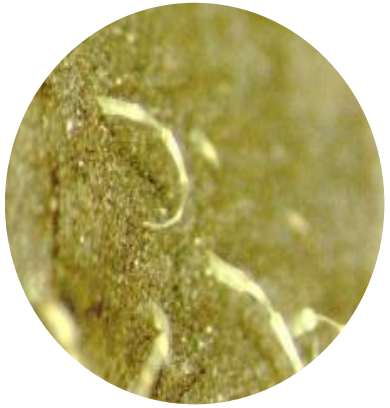
Quelle: Meridian Fruchthandelsgesellschaft mbH

# Prozessabhängige Veränderungen

- **Mechanisch**
  - Form
  - Struktur
- **Chemisch**
  - Wirkstoffe
  - Nährwert
- **Biologisch**
- **Sensorisch**
- **Ernährungsphysiologisch**
- **Optisch**

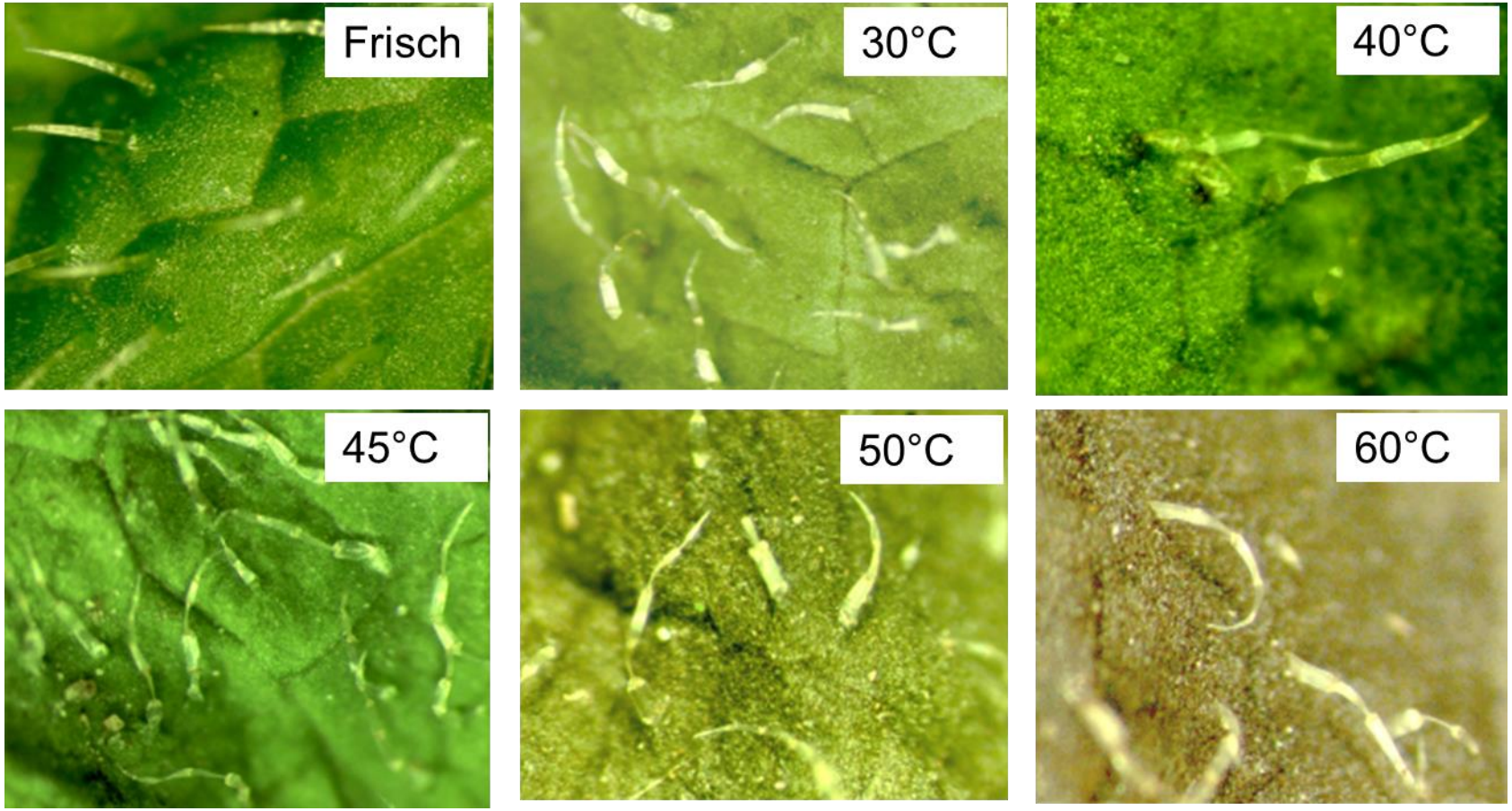
optimale Trocknung

schlechte Trocknung



Quelle: Cuervo, 2010

# Temperatureinfluss




Quelle: Cuervo, 2010

# Situation in der Praxis

## Ausgangssituation

- Technisch meist veraltete Anlagen
- Empirisch ermittelte Prozesseinstellungen
- Unnötig lange Trocknungszeiten
- Erhöhter Energiebedarf
- Anpassungsdruck
- Produkttemperatur nicht bekannt

## Ziele

- Gezielte Steuerung des Prozesses hinsichtlich bestimmter Produkteigenschaften (z. B. Dauer, Farbe, Schrumpfung)
- Technisch leicht umsetzbare Lösungen
- Reduktion des Energiebedarfs
- Erhöhung des Durchsatzes
- Flexibilität

Quelle: Innotech Ingenieursgesellschaft mbH

# Wissenschaftliche Ansätze

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Einordnung des Konservierungsprozesses**
  - Grundoperationen
  - Teil des Gesamtprozesses
- **Prozessanalyse und Optimierung**
  - Thermodynamisch (Wärme- und Stoffübergang)
  - Produktqualität
- **Prozessführung ($\vartheta_L$, $\varphi_L$, $v_L$)**
  - Einstufig
  - Mehrstufig, Zeitsteuerung
  - Mehrstufig, Nutzung von z.B. Bilddaten

⟶ **Kein Feedback basierend auf Produkteigenschaften!**

UNIKASSEL
VERSITÄT

# Beispiel Hopfentrocknung (BH)

# BH - Markterwartungen und Herausforderungen

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Markterwartungen**
  - Intensive grüne Farbe
  - Hoher $\alpha$ und ß-Säuregehalt (Bitterhopfen)
  - Intensives Aroma (Aromahopfen)
  - Lagerfähigkeit
- **Herausforderungen**
  - Niedrige Lagerfähigkeit vor der Verarbeitung
    - 4-6 Stunden, angemessene Belüftung nötig
  - Empfindlich gegenüber Verarbeitungsbedingungen
    - Aroma und andere Komponenen
    - Farberhalt
  - Veraltete Trockner und Prozesseinstellungen

Quelle: Münsterer, k.D.

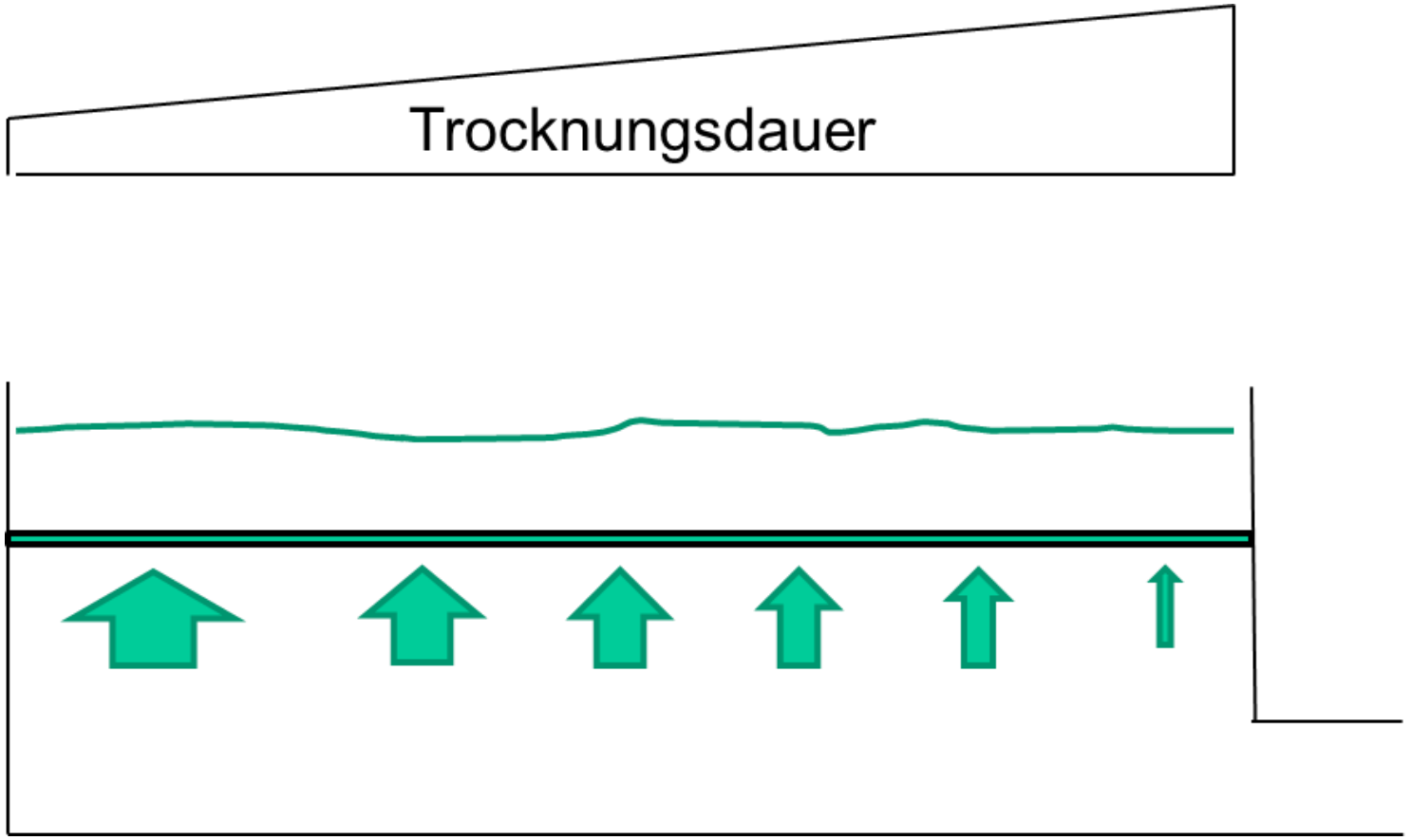
# BH - Trocknungscharakteristik und Qualität

UNIKASSEL VERSITÄT

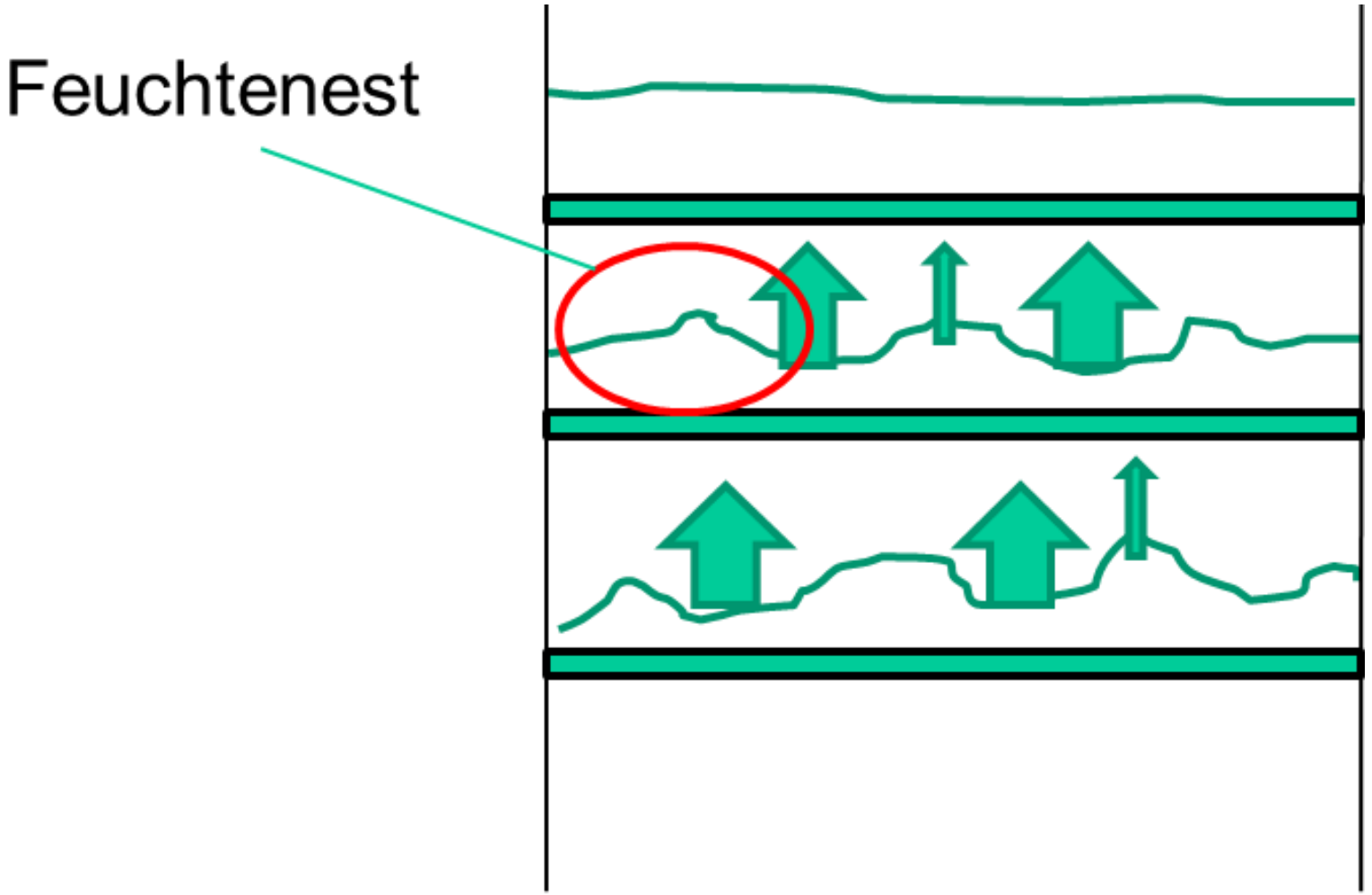
- **Stark abhängig von**
  - Erntebedingungen
  - Sorte (und resultirendem Verhältnis Blätter/Spindel)
- **Herausfordernde Geometrie**
  - Blätter trocknen schneller als Spindel
  - Spindelwasser wird durch Kapillarsystem der Blätter abgeführt
  - Wassergehaltsgradient am Ende der Trocknung' (Blätter 4-6 %, Spindel ca. 12 %)

Quelle: Münsterer, k.D.

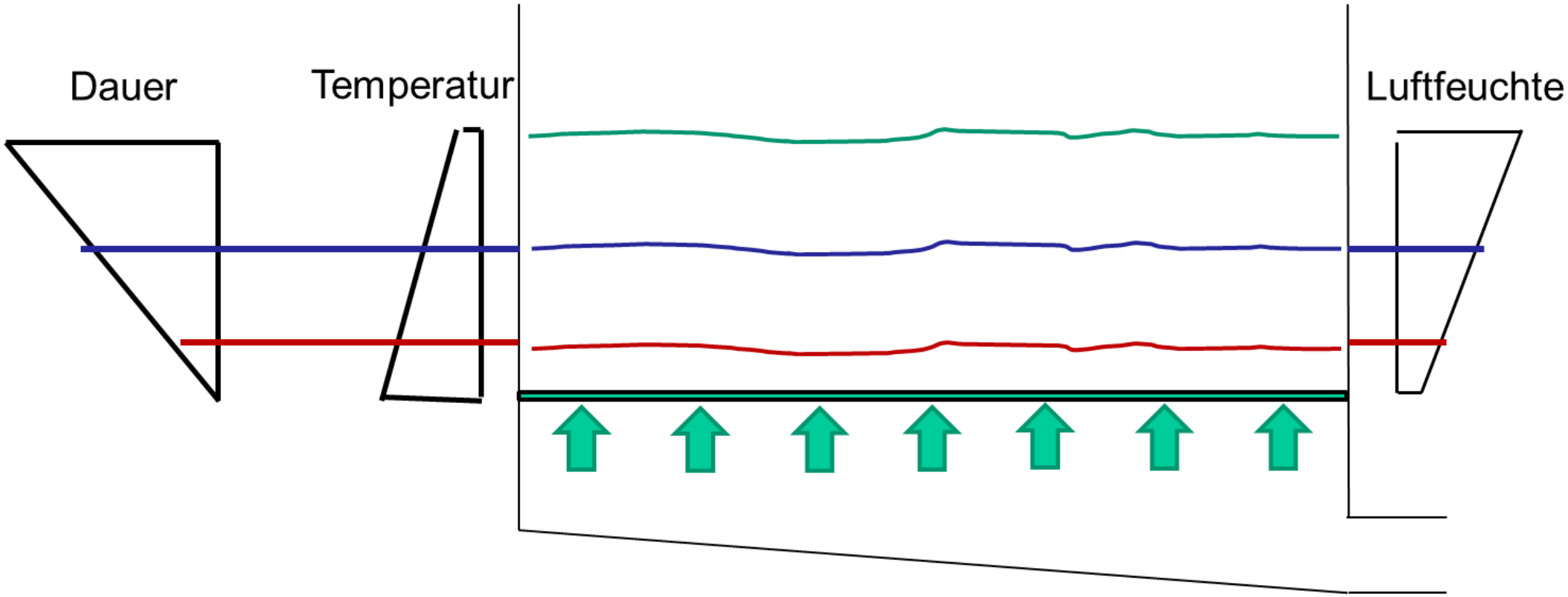
# BH - Problematik Luftverteilung



# BH - Problematik Luftverteilung beim Kippen



# BH - Problematik Schütthöhe/Schüttgewicht

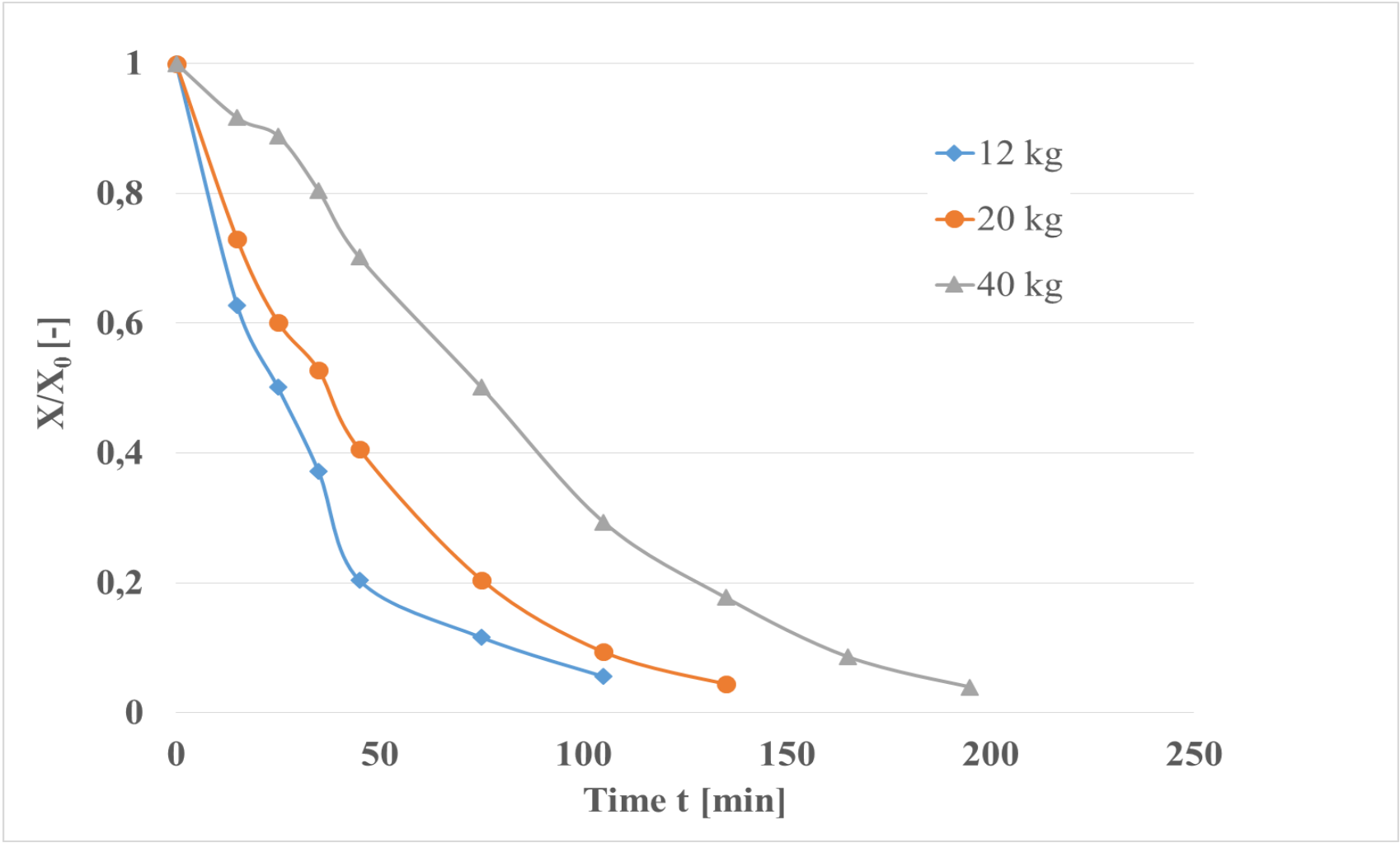


# BH - Problematik Schüttdichte/Sorte

UNIKASSEL VERSITÄT

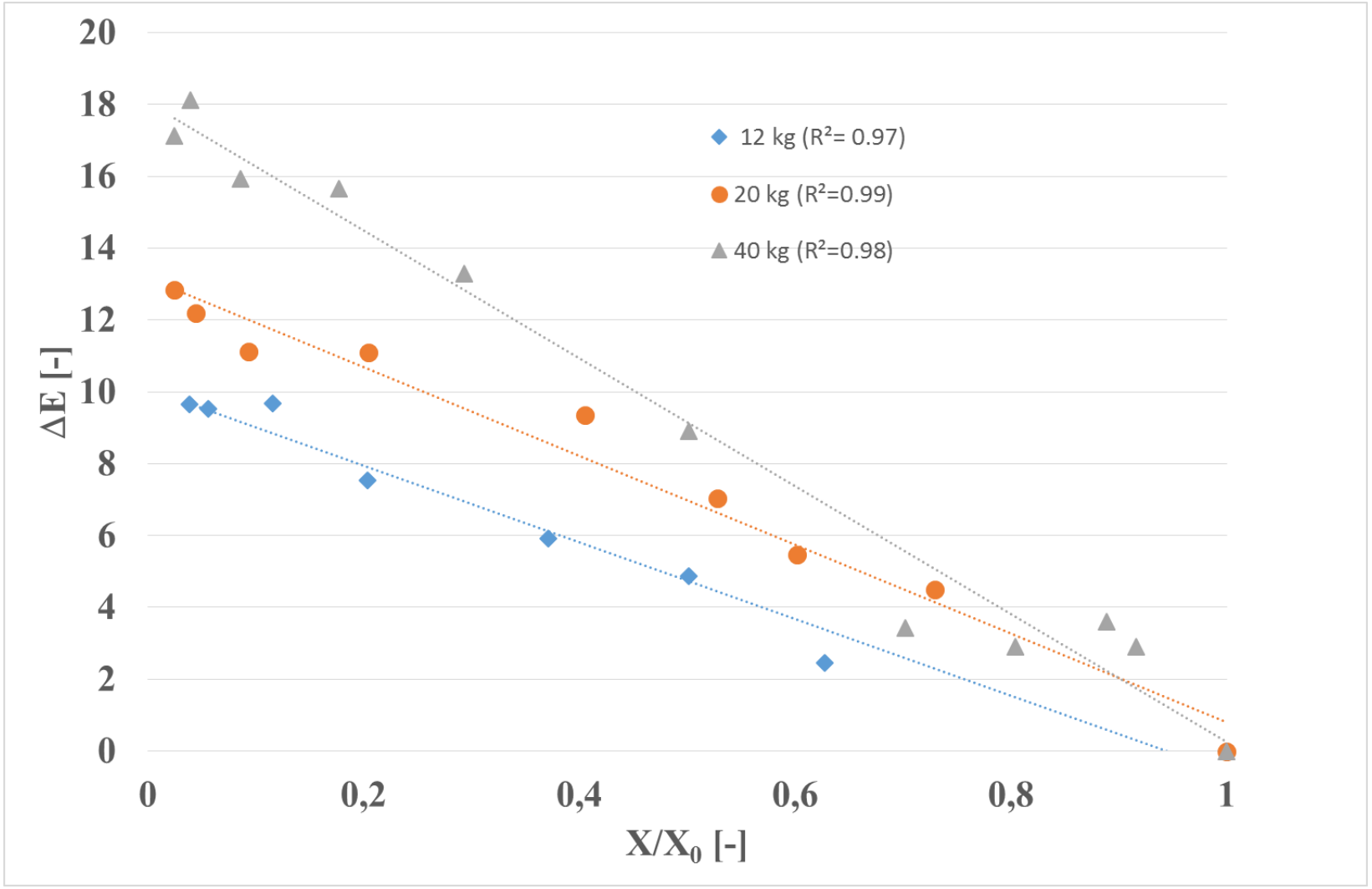
- **Je kleiner die Partikel sind**
  - desto höher ist die Schüttdichte
  - Desto höher ist der Druckabfall durch die Schüttung
- **Jede Sorte bzw. jeder Teil einer Pflanze hat spezifische Trocknungseigenschaften**
  - Anpassung des Schüttgewichts
  - Anpassung der Verfahrensschritte während der Trocknung

# BH - Trocknungsverlauf



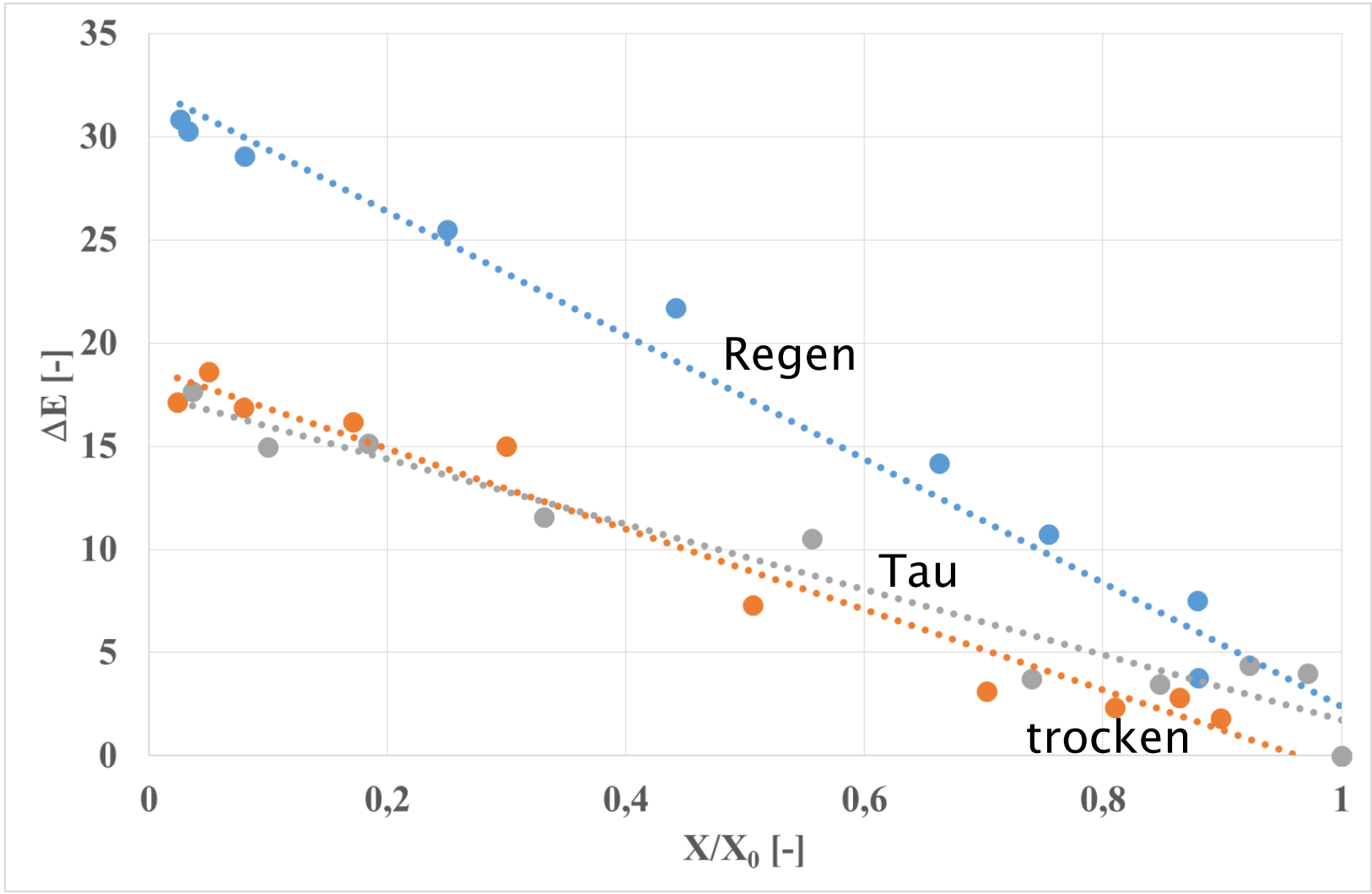

Quelle: Sturm et al., 2016

# BH - Farbveränderung




Quelle: Sturm et al., 2016

# BH - Wetterabhängigkeit Farbveränderung




Quelle: Sturm et al., 2016

# BH – Schlussfolgerungen Hopfentrocknung

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Schüttgewicht und Wetter**
  - Länge des Trocknungsprozesses
  - Farbveränderung über den gesamten Trockungsverlauf
- **α und ß Säuregehalt**
  - Kein Einfluss des Schüttgewichts
- **Ergebnisse**
  - Nicht oder nur schwer in bestehenden Anlagen umzusetzen

UNIKASSEL
VERSITÄT

# Smart Drying

# Zukunftsperspektiven – Smart Drying

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Entwicklungsbedarf**
  - “intelligente Trockner”
- **Steigerung der Nachhaltigkeit**
  - Computertechnologien
  - Mikrocontroller und Sensoren
  - Echtzeitmessung
  - Verarbeitung großer Datenmengen
- **Steigerung der Produktqualität**
  - Gezielte Führung des Prozesses
    - Äußere Qualität
    - Innere Qualität

https://www.mt.com/de/de/home/perm-lp/product-organizations/ind/Integrate-Weighing-Processes-in-Quality-by-Design.html

# Smart Drying – verfügbare Technologien

UNIKASSEL VERSITÄT

1) Regelungssysteme für Trockner
   - *Druck*
   - *Temperatur*
   - *Luftgeschwindigkeit*
   - *Luftfeuchte*

   ▸ Einfluss auf die Produktqualität

   ▸ Informationen über den Trocknungsprozess

2) Biomimetische Systeme
   - *Geruchssensoren (elektronische Nase)*
   - *Geschmackssensoren (elektronische Zunge)*

   ▸ Geruch/Geschmack

3) Bildgebende Verfahren

   ▸ Größe, Form, Farbe…

4) Mikrowellen/dielektrische Spektroskopie

5) Sichtbare und/oder Nahinfrarot Spektroskopie
   - *Punktmessung*
   - *multi/hyperspektrale Bildgebung*

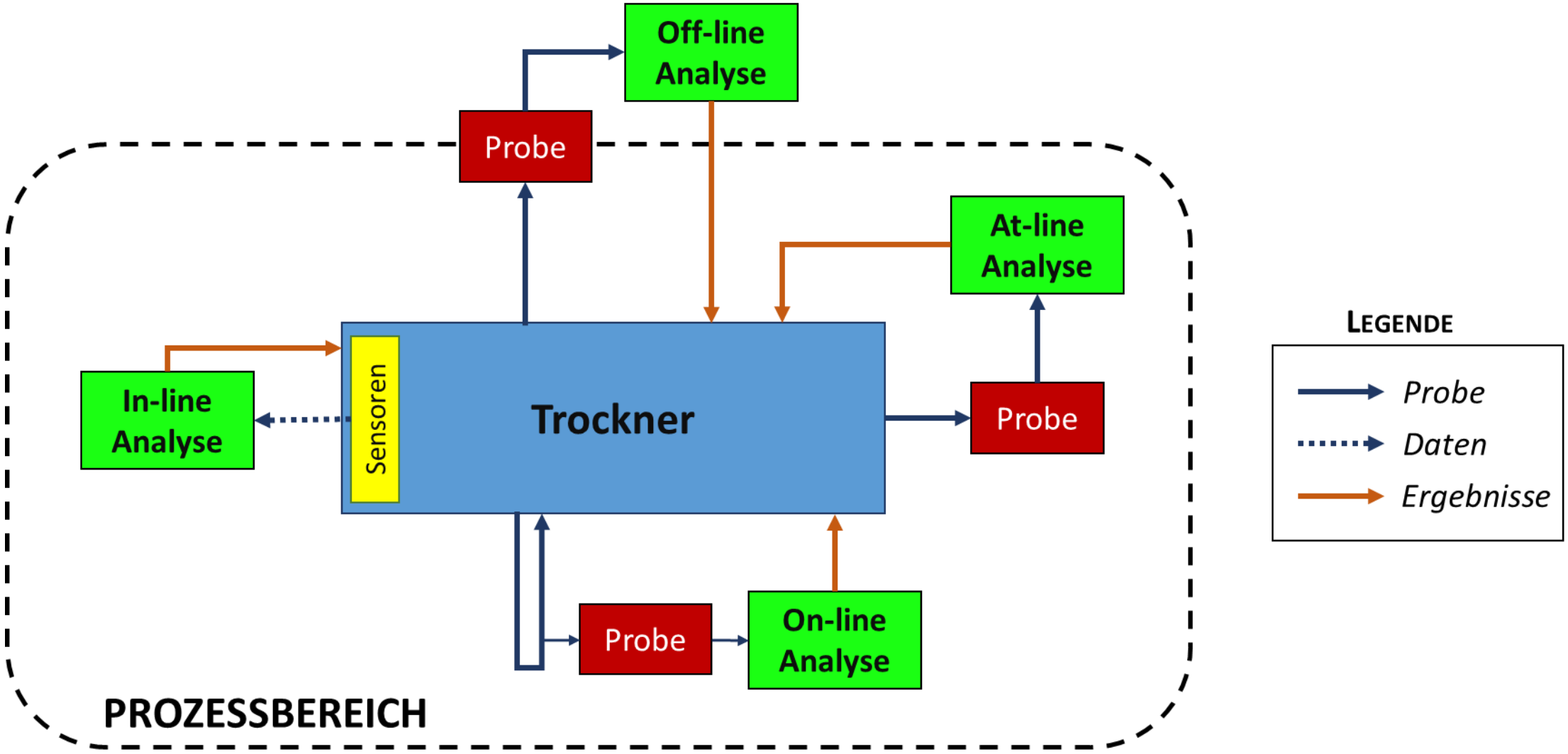
   ▸ Chemische, physikalische and physico-chemische Eigenschaften

6) Magnetresonanzbildgebung

   ▸ Informationen über den Trocknungsverlauf

7) Ultraschallverfahren

# Smart Drying - Messverfahren




Quelle: Abgewandelt von Moscetti et al., 2017

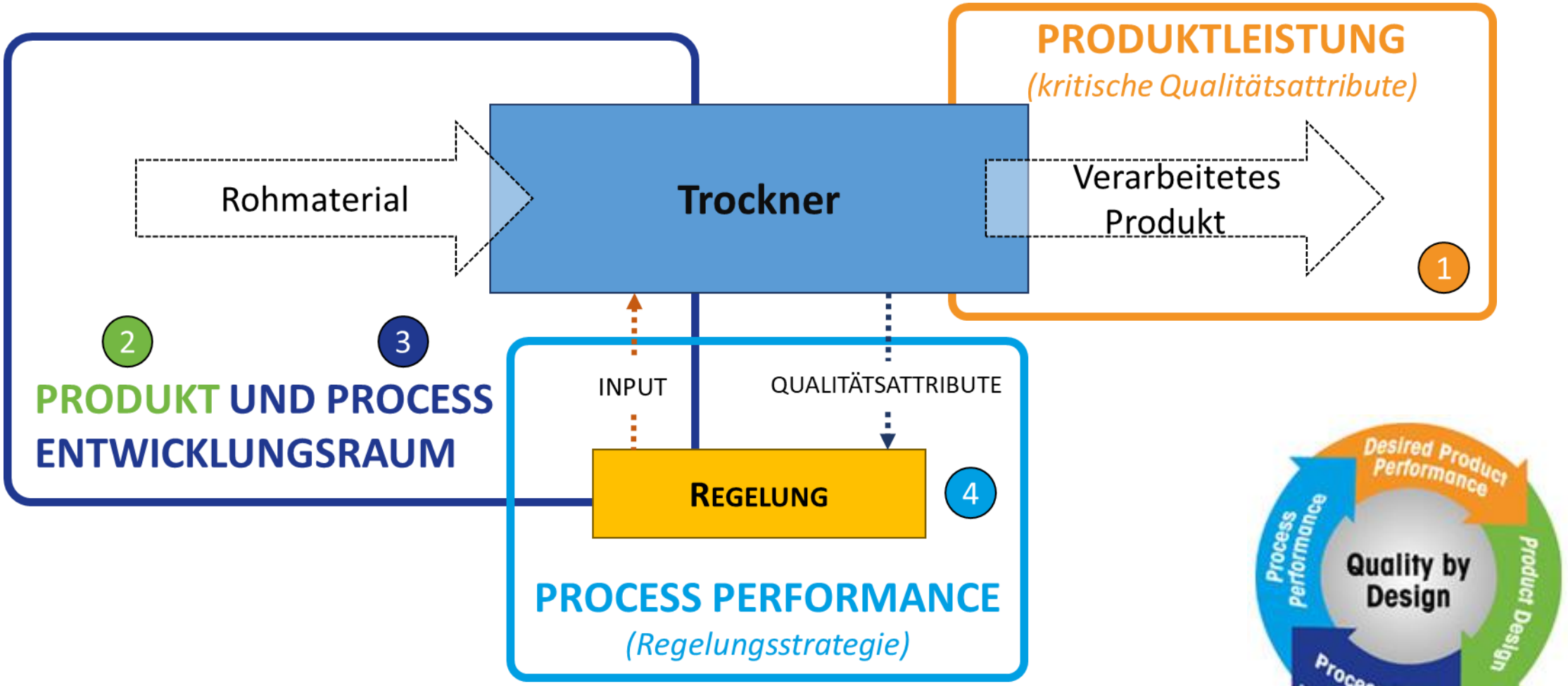
# Smart Drying – Quality by Design (QbD)

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Kenntnisse über das Produkt**
  - Wertgebende Inhaltstoffe
  - Veränderungen während der Trocknung
  - …
- **Festlegung strenger Regelvorgaben**
- **Tiefgehendes Verständnis des Verabeitungsprozesses**

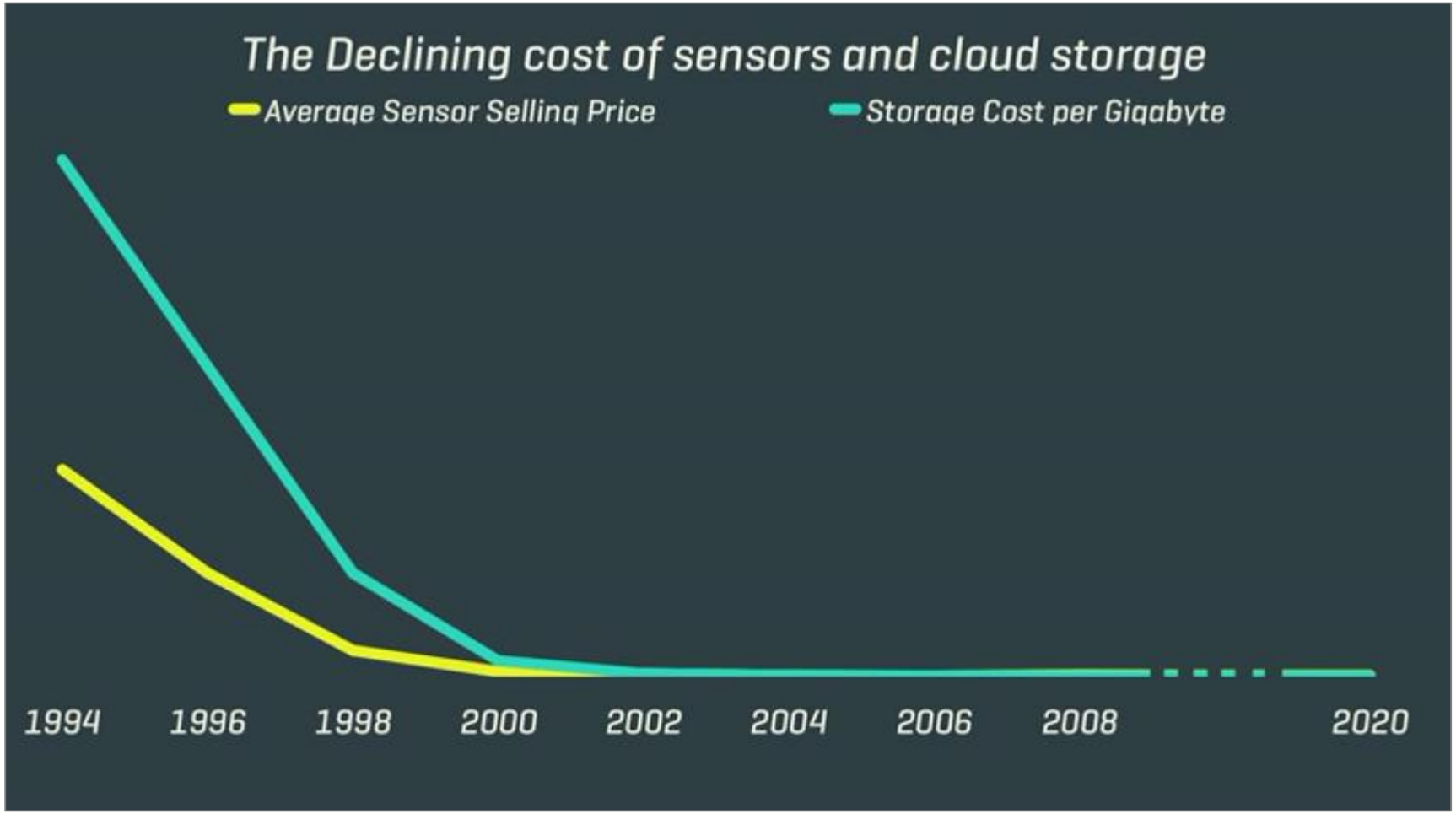
➔ **Richig entwickelte intelligente Trocknungstechnologien erhöhen Effizienz und Produktivität maßgeblich**

# Smart Drying – Quality by Design (QbD)



Quelle: Abgewandelt von Moscetti et al., 2017

# Sensor- und Datenspeicherkosten



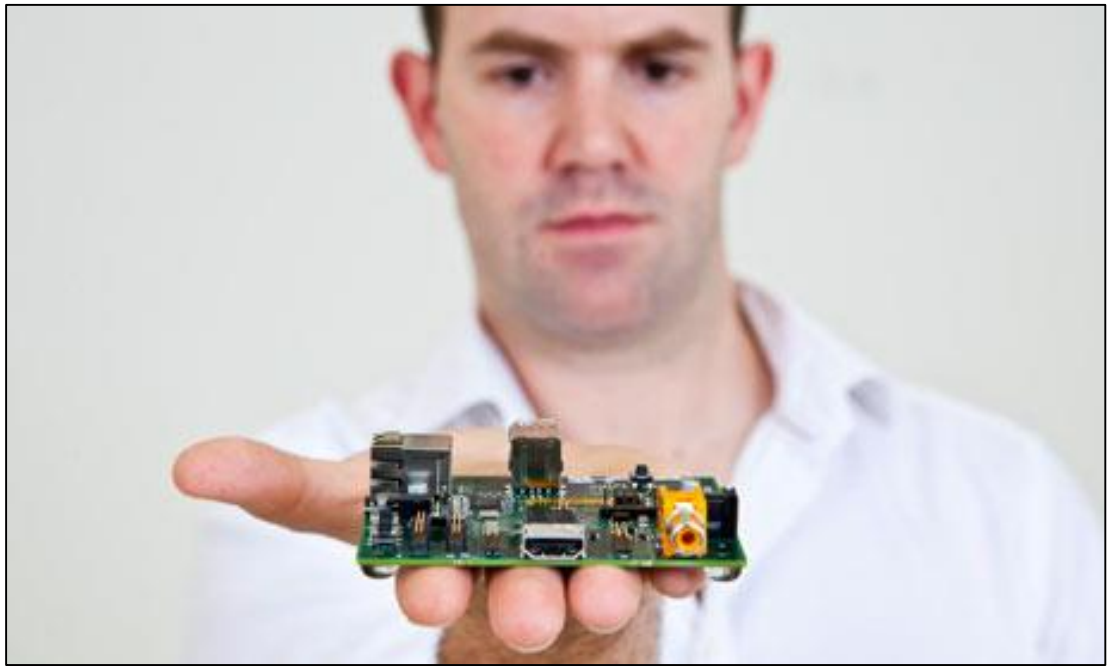

http://dericinnovate.blogspot.de/

# Computer



Raspberry Pi

ARM

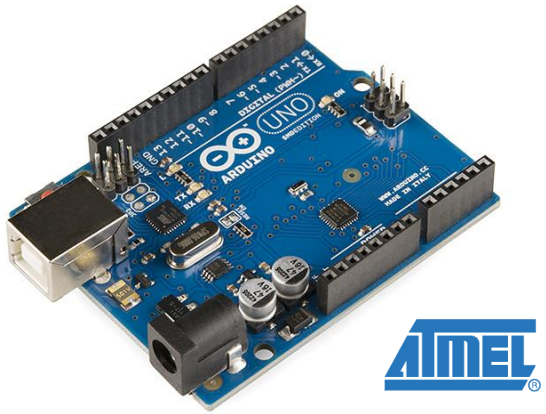


Eben Uptor

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

http://www.arconductor.org/raspberry-pi/, https://www.elprocus.com/arm-based-projects/, https://www.theguardian.com/technology/2014/mar/09/raspberry-pi-computer-eben-upton-cambridge

# Regler



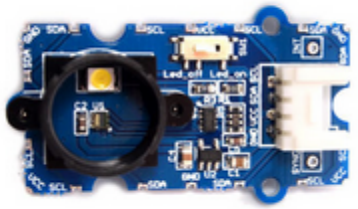
Massimo Banzi

https://www.arduino.cc/

# Sensoren

UNIKASSEL VERSITÄT

intel Developer Zone



## TCS3414CS Color Sensor

**ID:** tcs3414cs

**Alternate Name:** Grove Color Sensor

**Component Type:** Color Sensors

**Connection Type:** I2C

**API's:** C++ Python Node.JS

## MQ303A Alcohol Sensor

**ID:** mq303a

**Alternate Name:** Grove Alcohol Sensor

**Component Type:** Gas Sensors

**Connection Type:** AIO, GPIO

**Available in:** Transportation & Security Kit

**API's:** C++ Python Node.JS

## Grove CO2 Sensor

**ID:** mhz16

**Alternate Name:** MHZ16 Serial CO2 Sensor

**Component Type:** Gas Sensors

**Connection Type:** UART

**API's:** C++ Python Node.JS

http://techinspireplus.blogspot.de/, http://digitalmeans.co.uk/shop/alcohol_sensor-grove-sen21723p, http://wiki.seeed.cc/Grove-CO2_Sensor/

# Schlussfolgerungen

UNIKASSEL VERSITÄT

- **Produktorientierte Entwicklung nötig**
  - Hoher Entwicklungsaufwand Mess- und Regelungstechnik (universitäre Forschung)
  - Höhere Anschaffungskosten für verbesserte Prozesstechnik
  - Größerer Zugewinn auf Lebenszyklus gesehen
- **Trocknung als dynamischer Prozess, nicht Black-Box**
  - Gezielte Einbeziehung der Phasencharakteristik bei Optimierungsbetrachtungen
  - Mehrstufige Trocknung mit Phasensteuerung
- **Gleichzeitige Steigerung möglich**
  - Produktqualität, Energieeffizienz, Prozesseffizienz
- **Datennutzung, -eigentum und –sicherheit**
  - Daten gehören Anlagenherstellern sobald sie im Netz sind
  - Hohe Datenschutzvorkehrungen nötig
  - Zugang zu Daten unterschiedlicher Anlagenhersteller

UNIKASSEL
VERSITÄT

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Fragen?

# Quellen


- Cuervo, P. (2010). Qualitätsorientierte Solartrocknung von Arznei- und Gwürzpflanzen (interne Präsentation Uni Kassel)
- Moscetti, R., Massantini, R. (2017). Smart Drying: Use of sensors and machine learning for the supervision and control of drying processes, Nordic Baltic Drying Conference 2017, Hamburg, 07.06.-09.06.2017
- Sturm, B., Münsterer, J., Kammhuber, K., Crichton, S.O.J. (2016). Impact of bulk weight on drying behaviour and hop quality after drying, CIGR-AgEng 2016, Arhus, 26.06.-29.06.2016