

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 91 (2000)

**Heft:** 1

**Artikel:** Einsatz von Fuzzy-Control bei der Trocknung von Teigwaren

**Autor:** Jaeggi, Mark / Sigrist, Thomas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855507>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Einsatz von Fuzzy-Control bei der Trocknung von Teigwaren

Die Hochtemperaturtrocknung von Teigwaren bietet ganz wesentliche Vorteile. Die Anforderungen an die Prozessführung sind jedoch höher als bei der konventionellen Trocknung mit niedrigen Temperaturen. Für die Prozessoptimierung bei der Herstellung verschiedener Teigwarensorten braucht es eine Anlage, in der die Parameter mit ausreichender Genauigkeit den Sollwertkurven nachgeführt werden können. Es wird gezeigt, wie mit einem verfahrenstechnisch einfachen Trockner durch den Einsatz von Fuzzy-Control eine hohe Regelgüte und damit eine gute Reproduzierbarkeit erreicht werden kann.

Gegenüber der traditionellen Trocknung von Teigwaren bei konstanten Temperaturen zwischen 50 und 55 °C bietet die Hochtemperaturtrocknung (HTT) bei Werten zwischen 70 und 85 °C einige Vorteile [1]. Laut Heiss [4] ist die Tendenz zu immer höheren Temperaturen in erster Linie dadurch zu erklären, dass mit den wesentlich kürzeren Trocknungszeiten der Platzbedarf für die Trocknungslinien entsprechend kleiner wird.

Die Hochtemperaturtrocknung besitzt zusammengefasst folgende Vorteile [5]:

- wirtschaftlicher in bezug auf Platzbedarf und Energieverbrauch
- verbesserte Kochfestigkeit und Stabilität
- verringerte enzymatische Aktivität
- Pasteurisationseffekt

Der HTT-Prozess wird in drei Phasen aufgeteilt: Vortrocknung, Endtrocknung und Stabilisierung (Kühlung). Die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit muss dabei einer optimalen Sollwertkurve nachgeführt werden (Bild 1). In der Endtrocknung müssen die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit gleichmässig auf etwa 50 °C und 76% r.F. abgesenkt werden, um eine gute Stabilität und Struktur sowie einen hohen Nährwertgehalt zu erhalten.

Im Versuchslabor für Lebensmitteltechnologie an der Hochschule Wädenswil wurde eine Anlage zum Trocknen von Teigwaren gebaut mit dem Ziel, den Prozess für verschiedenste Produkte zu optimieren (Bild 2). An die Regelungstechnik werden in dieser Versuchsanlage erhöhte

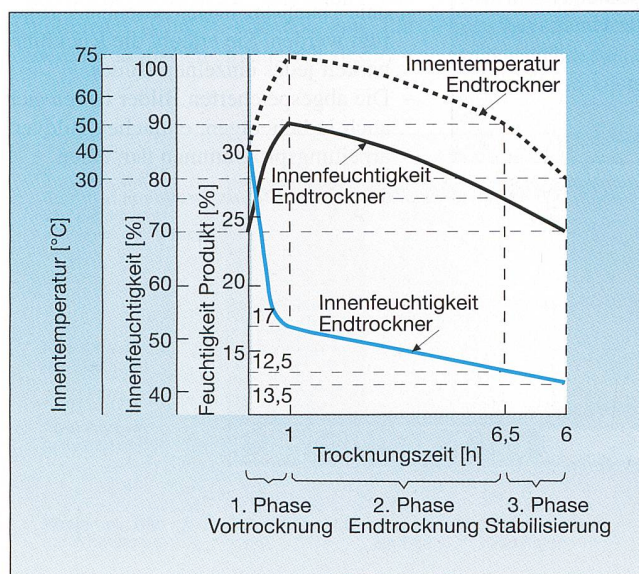


Bild 1 Durchschnittsdiagramm

Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf bei der HTT-Trocknung von Kurzwaren [6]



Bild 2 Versuchsanlage an der Hochschule Wädenswil

Anforderungen gestellt. Die Regler müssen in der Lage sein, die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in einem grossen Bereich möglichst exakt der Sollwertkurve nachzuführen.

## Aufbau der Anlage

Der Trockner ist als Umluftsystem gemäss Bild 3 aufgebaut. Die Teigwaren liegen auf gestapelten Gittern, während die Umluft mit einem Ventilator von unten nach oben durch die Gitter geblasen wird. Die Messsonden für die zu regelnden Parameter – Temperatur und Luftfeuchtigkeit – befinden sich in der Mitte des Trocknungsgutes.

Ein elektrischer Heizkreis in Kombination mit zwei Servoklappen dient zur

### Adresse der Autoren

Mark Jaeggi und Thomas Sigrist, Hochschule Wädenswil/Fachhochschule Zürich 8820 Wädenswil

Temperaturregelung. Gekühlt wird durch die Zufuhr von Umgebungsluft, welche gegenüber der Prozessluft eine tiefere Temperatur aufweist. Die Umgebungsluft wird seitlich angesaugt. Über die oben liegende Klappe wird gleichzeitig die



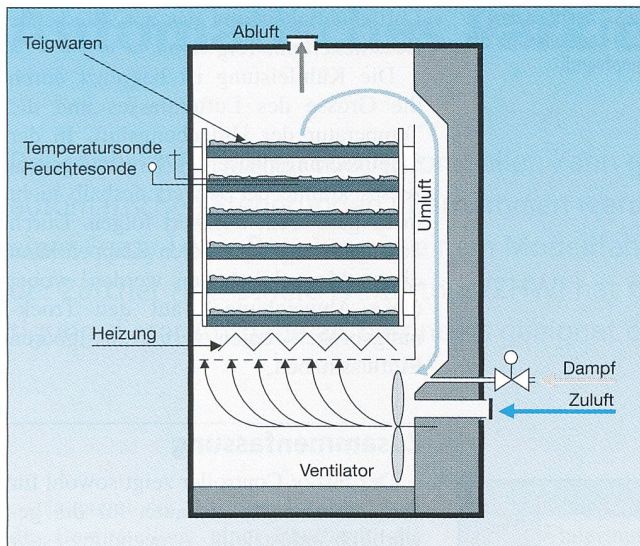


Bild 3 Schema des Trockners

warme Prozessluft ausgestossen. Auf den Einbau eines aktiven Kühl- und Entfeuchtungsaggregates wurde aus Kostengründen verzichtet.

Mit der Zufuhr von Umgebungsluft wird nicht nur die Temperatur verändert, ebenso sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, weil die absolute Feuchte der Umgebungsluft meist tiefer ist als im Trocknungsschrank. Bei offenen Klappen wird mehr Feuchtigkeit über die Abluft ausgetragen als mit der Umgebungsluft in das System hereinkommt. Die Servoklappen haben somit, wie auch der Heizkreis, eine Doppelfunktion. Die Erwärmung der Umluft durch die elektrische Heizung führt ebenfalls zu einem Abfall der relativen Luftfeuchtigkeit.

Die Kühlung und Entfeuchtung über die Aussenluft zu steuern, ist systemtechnisch gesehen ein Nachteil. Für die Regelungstechnik entstehen, bedingt durch die gegenseitige Kopplung der Regelkreise, besondere Schwierigkeiten. Mit konventionellen Reglern sind die daraus entstehenden Probleme nur sehr schwer zu lösen.

### Fuzzy-Regelung

Es gibt in der Regelungstechnik eine Reihe von Anwendungsfällen, die durch Modelle in ihrem dynamischen Systemverhalten exakt beschrieben und durch konventionelle Regeltechniken kontrolliert werden können.

Andererseits gibt es gerade in der Lebensmitteltechnologie eine Vielzahl von Verfahren, die sich einer klassischen Behandlung widersetzen. Der Grund liegt in der Komplexität der Prozesse. Das drückt sich dadurch aus, dass

- der Einfluss der Messgrösse auf die Stellgrösse nur unzureichend bekannt ist,
- die Modelle des technischen Prozesses unvollständig sind,
- mehrere Stellgrößen die Messgrößen wechselseitig beeinflussen.

Diese Prozesse sind aber sehr wohl beherrschbar, der Mensch mit seiner Erfahrung und Intuition füllt bis jetzt diese Lücke, indem er die Stellgrößen von Hand bedient [2].

Mit der Fuzzy-Methode, als «unscharfe Logik» nur schwer ins Deutsche zu übersetzen, lässt sich das vorhandene empirische oder heuristische Prozesswissen in einen Regelalgorithmus umsetzen, ohne dass ein mathematisches Prozessmodell erstellt werden muss.

Beim Teigwaren-Trocknungsprozess in der Versuchsanlage der HSW werden die Sollwertabweichungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit als Eingangsgrößen für die Fuzzy-Controller verwendet (Bild 4).

Das Temperatursignal wird für den Dampfventil-Controller direkt als Eingangsgrösse verwendet, um die Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks zu kompensieren. Beim Befeuchten wird mit steigender Temperatur die Dampfeinspritzmenge erhöht, da für eine Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit bei hohen Temperaturen mehr Wasserdampf benötigt wird als bei niederen.

Der Fuzzy-Controller stellt im Grunde nichts anderes als ein Kennfeld-Generator dar, welcher über einen Algorithmus zu jedem Wert der Eingangsgrößen einen bestimmten Wert für die Ausgangsgrösse zuordnet. Aus der Darstellung des Kennfeldes lässt sich qualitativ erkennen, wie die Fuzzy-Controller in den verschiedenen Betriebspunkten arbeiten.

In Bild 5 ist das Kennfeld des Dampfventils dargestellt, mit der Sollwertabweichung der relativen Feuchtigkeit (–50 bis +25% r.F.) und der Temperatur (0 bis 100°C) als Eingangsgrößen. Auf der vertikalen Achse ist die einzuspritzende Dampfmenge von 0 bis 100% dargestellt. Das Dampfventil wird über Pulsbreitenmodulation angesteuert und ist mit 100% dauernd offen und 0% immer geschlossen. Die effektiv eingespritzte Dampfmenge wird dadurch zusätzlich vom Dampfdruck am Magnetventil abhängig;

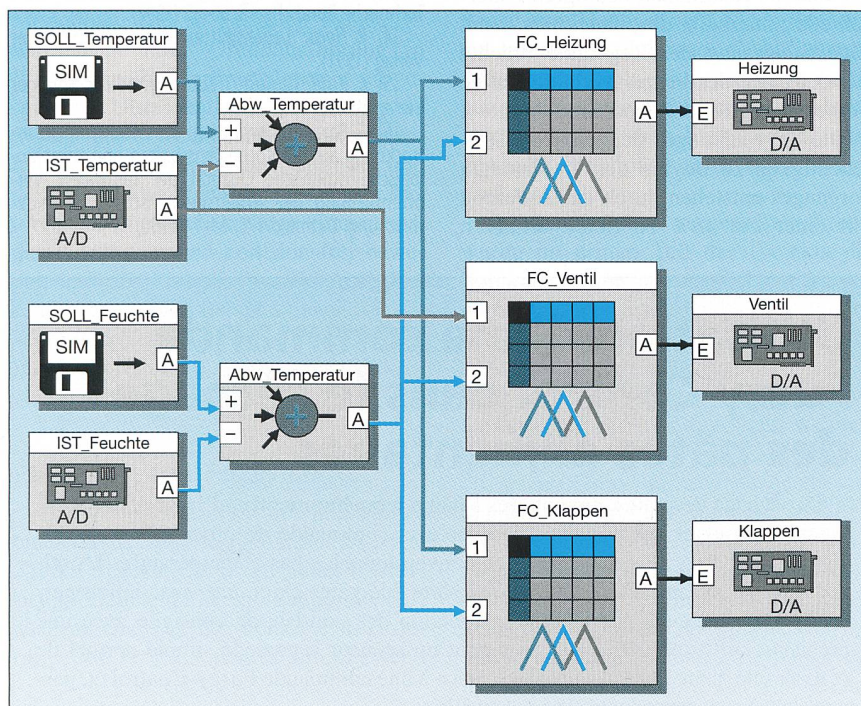


Bild 4 Struktur der Fuzzy-Controller



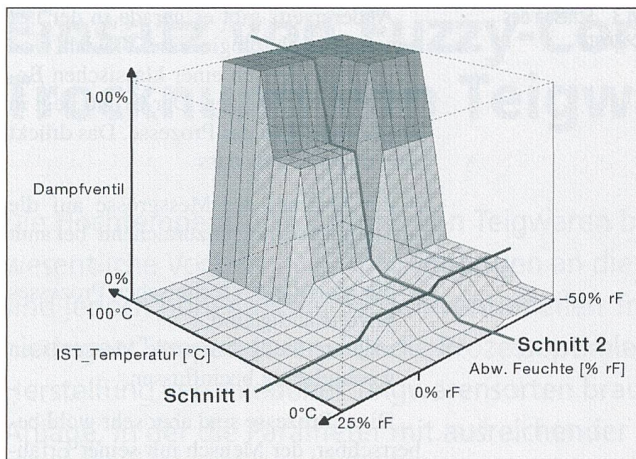


Bild 5 Kennfeld des Fuzzy-Controllers für das Dampfventil

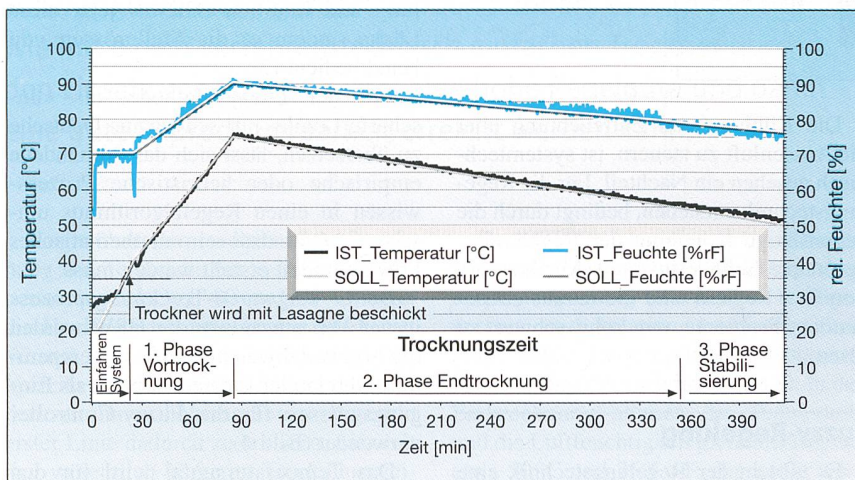


Bild 6 Vergleich von Soll- und Istwert für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

dieser wird über ein Reduzierventil konstant gehalten.

Mit zunehmender negativer Abweichung der relativen Luftfeuchtigkeit (Schnitt 1 in Bild 5) wird stufenweise die Einspritzmenge erhöht. Gleichzeitig erhöht sich in der anderen Richtung aufgrund der steigenden Temperatur zusätzlich die Einspritzmenge (Schnitt 2), da warme Luft absolut gesehen mehr Dampf aufnehmen kann. Wenn die relative Luftfeuchtigkeit über dem Sollwert liegt, muss selbstverständlich kein Dampf eingespritzt werden, weshalb das Kennfeld in der linken Hälfte Null ist.

Der Fuzzy-Controller ist in der Lage, je nach Arbeitspunkt verschieden auf Abweichungen zu reagieren, was sich in den lokal unterschiedlichen Steigungen des Kennfeldes ausdrückt.

## Ergebnisse

Laut Heiss [4] ist die Trocknung der problematischste Abschnitt in der Teigwarenherstellung. Ab Beginn der eigentlichen Vortrocknung und während der ganzen Phase der Endtrocknung zeigt die Anlage ein äusserst stabiles Verhalten.

Die Abweichungen in Bild 6 von den Sollwertkurven sind wesentlich kleiner, als dies die räumlichen bedingten Unterschiede innerhalb des Trockners sind. Eine Steigerung der Regelgüte brächte aus der Sicht des Prozessverlaufes keine Verbesserung für die Produktqualität.

Die Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit zu Beginn des Trocknungsvorganges entstehen durch das Anfahren mit einer um 15% zu tiefen relativen

Luftfeuchtigkeit und das anschliessende Beschicken mit Teigwaren.

Die Kühlleistung ist begrenzt durch die Grösse des Lufteinlasses und die Temperatur der Umgebungsluft. In der Stabilisierungsphase des Trocknungsprozesses konnte der Istwert deshalb nicht mehr ganz dem Sollwert folgen. Durch den Einbau von grösseren Klappen kann dieser Mangel behoben werden, wobei diese Abweichungen auf den Trocknungsprozess einen vernachlässigbaren Einfluss haben.

## Zusammenfassung

Der Fuzzy-Controller zeigt sowohl für den Laborbereich als auch für die gewerblich-industrielle Anwendung sehr interessante Resultate. Einerseits können im Labor die Versuche sehr gut reproduziert werden, was zwingend notwendig ist, wenn man für ein bestimmtes Produkt die optimale Trocknungsmethode ermitteln will. Andererseits kann der Einsatz des Fuzzy-Controllers in der Produktion zu einer konstanten Produktqualität beitragen und dies beim Hochtemperaturverfahren, das grundsätzlich schon viele Vorteile gegenüber der konventionellen Trocknung aufweist.

## Literatur

- [1] Th. Sigrüst: Mess- und Regeltechnik am Teigwarentrockner. Semesterarbeit Hochschule Wädenswil (1994).
- [2] J. Kahlert, H. Frank: Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control. Vieweg Verlag (1993).
- [3] Ch. Ebert: Scharfe Regler mit unscharfer Logik. Technische Rundschau 5, 60-65 (1992).
- [4] R. Heiss: Lebensmitteltechnologie. Springer Verlag (1991).
- [5] K. Kröll, W. Kast: Trocknungstechnik. Springer Verlag (1989).
- [6] G. Pavan: Auswirkung der Hochtemperaturtrocknung auf die Kocheigenschaften und mikrobiologische-hygienische Qualität der Teigwaren. Veröffentlichung der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung, Detmold 178, 67-74(1980).

# Utilisation d'une commande Fuzzy-Control dans le séchage des pâtes alimentaires

Le séchage des pâtes alimentaires à haute température offre d'importants avantages. Cependant, les exigences posées à la commande de processus sont plus élevées que dans le cas du séchage conventionnel à basse température. L'optimisation de la fabrication de diverses sortes de pâtes exige une installation permettant de gérer les paramètres en fonction des courbes de consigne avec une précision suffisante. On verra comment un sécheur à procédé simple permet de réaliser une haute qualité de réglage grâce à une commande Fuzzy-Control et, par tant, une haute reproductibilité des résultats.