



## Tierfutter produzieren mit weniger Strom und Wärme

Ein Expertensystem verbessert die Energieeffizienz und Produktqualität in einem Mischfutterwerk



*Halter von Rindern, Schweinen oder Geflügel erwarten eine gleichbleibend hohe Qualität der Futtermittel für ihre Tiere, unabhängig von den schwankenden Eigenschaften der natürlichen Ausgangsprodukte. Diese Kundenforderung hat oberste Priorität bei den Herstellern. Zunehmend rückt durch Kostendruck und Umweltbewusstsein auch die Energieeffizienz in den Fokus. Forscher der Universität Bremen entwickeln ein Expertensystem für die Prozesssteuerung. Dieses soll, bei mindestens gleichbleibender Produktqualität, den Energieeinsatz minimieren.*

Hersteller in der Futtermittelbranche verarbeiten – je nach Marktverfügbarkeit - unterschiedliche natürliche Rohstoffe zu einem Mischfutter gleichmäßiger und kontrollierter Qualität. Trotz schwankender Anteile der Komponenten erhalten die Tiere so genau die Menge an Nährstoffen wie Proteine, Fette, Spurenelemente und Vitamine, die sie täglich benötigen. Aber nicht nur die Inhaltsstoffe, sondern auch die Konsistenz des Futters hat einen wichtigen Einfluss auf die Verwendbarkeit und letztlich auf die Tiergesundheit.

Jede angelieferte Rohstoffpartie muss einzeln begutachtet und auf bestimmte Produktparameter analysiert werden. Für ein optimales Ergebnis gilt in vielen Betrieben das Prinzip „Erfahrung macht klug“. Je nach Materialbeschaffenheit passen erfahrene Mitarbeiter die Prozessführung an und nutzen dabei auch „intuitives Wissen“ und „Fingerspitzengefühl“, das sie in langer Berufspraxis erworben haben. So können sie beispielsweise Maschinengeräusche deuten oder durch Zerbröseln der produzierten Futter-Pellets buchstäblich mit den Händen fühlen, welches Feintuning noch erforderlich ist. Da oftmals die Pelletqualität mit dem Energieaufwand korreliert, wird in vielen Werken „über Niveau“ produziert und folglich auch mehr Energie verbraucht als nötig wäre.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Abb. 1 Mischfutterwerk in Damme

Preissteigerungen bei den Energieträgern motivieren die Mischfutterhersteller zunehmend, den Energieverbrauch zu optimieren. Hemmend wirkt sich aus, dass der Energieverbrauch an vielen Stufen des Herstellprozesses noch nicht detailliert erfasst wird. Derzeit sind wenige Mischfutterwerke in Deutschland gemäß § 41 EEG verpflichtet, ein Energiemanagementsystem zu betreiben, da sie mehr als 10 Gigawattstunden jährlich verbrauchen.

### Energieeffizienz und Produktqualität unter einem Hut

Im Projekt Fu<sup>2</sup>-Experte wollen Forscher der Universität Bremen gemeinsam mit einem niedersächsischen Futtermittelhersteller die Energieeffizienz des Produktionsprozesses steigern. Dazu entwickeln sie ein rechnergestütztes Expertensystem, das die Erfahrungen der Mitarbeiter für eine lernfähige Prozesssteuerung nutzt und zusätzlich die Energieströme mit einer umfangreichen Messtechnik bilanziert und optimiert. Das System soll die Relationen zwischen Eingangsprodukten, Prozessführung und Produktqualität erkennen und zeitnah Empfehlungen zur Prozesssteuerung geben.

### Von den Rohstoffen zu den Endprodukten

Zerkleinern, Mischen und Pressen sind die grundlegenden Prozesse der Futtermittelherstellung, deren Energieflüsse von den Forschern analysiert wurden (Abb. 2): Die Futtermittel des beteiligten Herstellers setzen sich aus 12 – 18 Komponenten, wie z. B. Getreide, Soja- oder Rapsschrot, zusammen. Zunächst trennen Rüttelsiebe die feinen Anteile der einzelnen Rohstoffe von den groben. Letztere werden in einer Hammerröhle oder einem Walzenstuhl gleichmäßig zerkleinert. Anschließend vermengt ein Mischer die Charge, zusammen mit flüssigen Bestandteilen wie Fetten oder Säuren. Nach der Zugabe von Melasse liegt nun ein mehliges Futter vor, wie es vor allem als Legehennenfutter verwendet wird.

Die Pellet-Erzeugung hat den bei weitem größten Anteil am spezifischen Energieverbrauch. Für die abschließende Kompaktierung in der Pelletierpresse erhitzt Satt-dampf das Futtermehl auf eine Temperatur von ca. 80 °C. Man benötigt also neben elektrischer auch thermische Energie.

### Online-Messtechnik überwacht Herstellung

Voraussetzung für die energetische Prozessoptimierung sind geeignete onlinefähige Messgeräte, die Auskunft über Energieflüsse und Produktionsparameter geben. Die Forscher installierten ein Energieerfassungssystem,

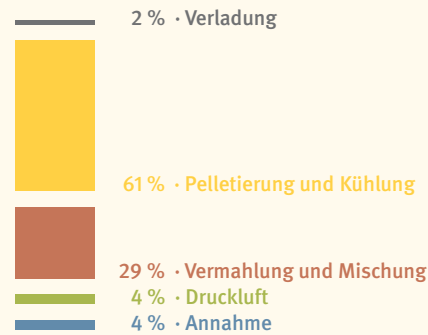


Abb. 2 Anteil (in % / Tonne Mischfutter) der Arbeitsschritte am Gesamtenergieverbrauch

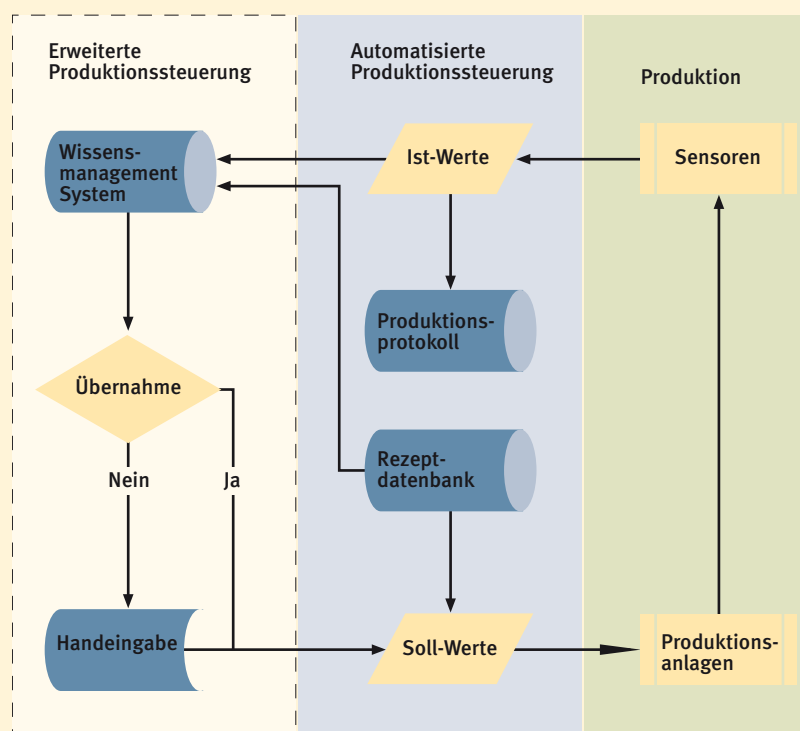


Abb. 3 Das Regelkonzept des Expertensystems optimiert den Energieeinsatz.

das die elektrische Energie jeder Maschine sowie die thermische Energie in bestimmten Bereichen separat erfasst. Abb. 2 zeigt beispielhaft den elektrischen Energieeinsatz der einzelnen Bereiche. Die Zusammenführung von Energieerfassung und Informationen aus der Produktionssteuerung ermöglicht zusätzlich, den Energieverbrauch jeweils den einzelnen Produktionen und Mischfuttersorten zuzuordnen.

Das Energiemonitoring wird durch die Überwachung wichtiger Produktionsparameter ergänzt. Ein Nah-Infrarot-Messsystem in der Warenannahme gibt direkt Aufschluss über die Eigenschaften der Eingangsprodukte. Es erfasst Feuchte, Protein-, Stärke-, Rohfaser- und Fettgehalt. Weitere Geräte befinden sich direkt in der Produktion. Auf diese Weise kann beispielsweise die Zugabe von Satt-dampf im Pressenbereich optimal geregelt werden, die von der Eingangsfeuchte des zerkleinerten Ausgangsprodukts abhängt.

Die Korngrößenverteilung der zerkleinerten Rohstoffe überwacht ein photooptisches Partikelanalysegerät (CPA). Mit diesen Informationen lassen sich die optimalen Presseigenschaften für die Pelletierung einstellen. Das CPA-Messgerät zwischen Mischer und Melassierer integrierten die Forscher direkt hinter den Zerkleinerungseinheiten mit einem automatisierten Probenneh-





## Energie in der Futtermittelindustrie

Zur Versorgung von Nutz- und Heimtieren wurden in Deutschland im Jahr 2011 rund 22,9 Mio. t Mischfutter hergestellt. Den größten Anteil hat Schweinefutter mit etwa 44 %, gefolgt von Rinder- (29 %) und Geflügelfutter (25 %). Den unterschiedlichen Anforderungen der Kunden folgend, erzeugen Mischfutterhersteller zumeist mehrere hundert unterschiedliche Futterrezepturen und -formulierungen. Der Energieverbrauch zur Produktion von Mischfutter schwankt je nach Veredlung zwischen 15 – 80 kWh/t. Grob geschätzt, beträgt der Gesamtjahresverbrauch für die Futtermittelproduktion in Deutschland etwa 1,0 Milliarden kWh pro Jahr.



Abb. 4 Wegelogistik: Die Zutaten werden aus großen Silos zusammengetragen.



Abb. 5 Hammermühle und Satttdampferzeugung



Abb. 6 Auch die Routenoptimierung spart Energie.

und den Dampfdruck in Abhängigkeit von der gewünschten Rezeptur, den Produkteigenschaften sowie der Rohwarenqualität auf Basis seiner bisherigen Erfahrungen. Dies hat jedoch zwei gravierende Nachteile: Zum einen ist das Wissen des Mitarbeiters nirgends festgehalten, so dass es verloren geht, sobald der Mitarbeiter den Betrieb verlässt oder krank wird. Zum anderen wird bei diesem Verfahren im Allgemeinen meist zu viel Energie eingesetzt, damit das Endprodukt auf jeden Fall den Anforderungen entspricht.

Für die unterschiedlichen Futterrezepturen kann der Energieverbrauch gesenkt werden – dies zeigen die Versuchsreihen. Dazu müssen einige Maschinenparameter rezepturabhängig auf die Feuchte und Korngröße der Rohware angepasst werden. Eine wichtige Rolle spielen beispielsweise die Siebgröße, die Drehzahl in der Vermahlung, die Länge der Preßkanäle in der Pelletierung und nicht zuletzt die Dampftemperatur.

### Künstliche Intelligenz gibt Empfehlungen

Ein neu entwickeltes, lernendes Expertensystem soll künftig die rezepturabhängige Anpassung der Maschinenparameter an die Rohstoffeigenschaften vorschlagen und auch die notwendigen Umrüstungen der Maschinen vorgeben. Es optimiert insbesondere den Dampf- bzw. Energieeintrag bei der Konditionierung und Kompaktierung. Dazu baut das Expertensystem Mitarbeiterwissen und die Auswertung der Versuchsreihen in ein einfaches Regelsystem ein. Dieses basiert auf Fuzzy-Logik und ist in der Lage, auch unscharfe Angaben wie „etwas mehr“ oder „geringfügig reduzieren“ zu verarbeiten und in Lernprozessen zu konkretisieren. Zur Zeit befindet sich das System in der Implementierungsphase im Mischfutterwerk des Projektpartners. Es wird schrittweise evaluiert und an die Anforderungen der Anwender angepasst.

### Neue Rezepturen – neue Motivation

Mit den Ergebnissen der Versuchsreihen konnten die Projektpartner die Energieeffizienz in den Bereichen Vermahlung und Pressen verbessern. Bei der Optimierung des Produktportfolios brachten die Mitarbeiter ihr Expertenwissen in einen intensiven Erfahrungsaustausch ein und entwickelten ein tieferes Verständnis für die energetischen Zusammenhänge. Die Mitarbeiter zeigten sich sehr motiviert, einen hohen Beitrag zu den Verbesserungen zu leisten. Über die Integration in die Produktionssteuerung hatten sie erstmals die Möglichkeit, den Energieeinsatz in der Produktion genauer zu verfolgen. Auch die Auswirkungen von Veränderungen im Prozessablauf wurden transparenter und nachprüfbar.

mer in den Produktstrom. Ein zusätzlicher Vorteil der zeitnahen Korngrößenanalyse ist, dass eine ungenügende Maschineneinstellung (z. B. die Drehzahl bei der Hammermühle oder die Spaltweite beim Walzenstuhl) sofort entdeckt wird. Auch Verschleiß oder Defekte fallen durch die Partikelanalyse auf.

### Wo liegen die Einsparpotenziale?

Die Forscher untersuchten Optimierungspotenziale für die gesamte Produktionskette. Der chargenweise Betrieb führt beispielsweise zu Leerlaufprozessen, die durch intelligente Planung minimiert werden können. Weiterhin kann eine ideale Partiegröße einer Produktionscharge die optimale Auslastung der Anlage gewährleisten.

Das größte Potenzial sehen die Wissenschaftler allerdings in der Steuerung und Regelung des Pressenvorgangs. Dieser benötigt knapp 60 % der Gesamtenergie, vorwiegend für die Dampf-Erzeugung, die Kompaktierung sowie die anschließende Kühlung. Beide Prozesse werden zurzeit noch „händisch“ gesteuert. Die Parameter sind zwar vorgegeben, werden aber noch nicht optimiert geregelt. Ein erprobter Mitarbeiter regelt die Dampftemperatur



## Nutzen für die Lebensmittelindustrie

Durch systematisches Abstrahieren der Anforderungen wollen die Forscher das entwickelte Konzept generalisieren und modularisieren. Neue Anforderungen können so besser und schneller berücksichtigt werden und es wird sichergestellt, dass das Konzept nicht mehr nur auf eine Anwendung hin spezialisiert ist. Die im Projekt empirisch aufgebaute Wissensbasis soll durch den Einsatz von deterministischen Modellen ergänzt werden.

Die Ergebnisse des Projekts Fu<sup>2</sup>-Experte lassen sich auf Produktionsbetriebe anderer Branchen übertragen. Insbesondere in der Lebensmittelindustrie gibt es zahlreiche Prozesse, bei denen eine kontrollierte Erwärmung und Abkühlung empfindlicher Rohstoffe erforderlich ist. So werden beispielsweise in Röstereien Kaffeebohnen auf 200 bis 220 °C erhitzt. Diese müssen anschließend innerhalb kürzester Zeit wieder auf Raumtemperatur abkühlen. Auch hier besteht ein Zielkonflikt zwischen Qualität und der Minimierung des Energieverbrauches.

Eine interessante Erprobung des Konzeptes dürfte der Einsatz in einer Mälzerei sein. Die Qualität des Endproduktes Malz reagiert sehr empfindlich auf Veränderungen der Eingangs- und Prozessparameter. Die Herstellung gliedert sich in drei Teilschritte, bei denen die Methodik der Forscher eingesetzt werden kann:

Zunächst wird die Gerste über einen Zeitraum von zwei Tagen eingeweicht bis der Feuchtegehalt des Korns 40 – 45 % beträgt. Anschließend keimt die Gerste bei einer Keimtemperatur von 12 – 15 °C für drei bis vier Tage. Im letzten Schritt folgt das Darren des Grünmalzes. Bei einer Darntemperatur von 50 – 95 °C sinkt der Feuchtigkeitsgehalt des Malzes binnen ein bis zwei Tagen auf 3,5 – 4,5 %. Der gesamte Prozess benötigt derzeit je Tonne Malz etwa 750 – 780 kWh thermische und 73 kWh elektrische Energie.

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Michael Gahr  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
03ET1036

**ISSN**  
0937 - 8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Dr. Franz Meyer

**Urheberrecht**  
Titelbild, Abb. 1, 4, 5, und 6:  
Austing Mischfutterwerk GmbH & Co. KG  
Abb. 2 und 3: BIK, Universität Bremen

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Universität Bremen, Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK),  
Dr.-Ing. André Decker, [decker@uni-bremen.de](mailto:decker@uni-bremen.de), [www.bik.uni-bremen.de](http://www.bik.uni-bremen.de)
- » **Anwendungspartner:** Austing Mischfutterwerk GmbH & Co. KG, Damme, Bernhard gr. Austing,  
[www.austing.de](http://www.austing.de)

## Links und Literatur

- » [www.fu2-experte.de](http://www.fu2-experte.de)
- » Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München (Hrsg.): Ermittlung von Energiekennzahlen für Anlagen, Herstellungsverfahren und Erzeugnisse. Zielsetzung, Durchführung, Methodik, Kennzahlen. 1999. 235 S.
- » Decker, A.; Redecker, M. A.; Thoben, K.-D.: Wissensmanagementsystem zur Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion. In: Mühle + Mischfutter. Die Fachzeitschrift für Getreideverarbeitung und Tiernahrungs-Produktion Verfahrenstechnik im Schüttgut-, Lebensmittel- und Non-Food-Bereich. Jg. 151 (2014), Nr. 4, S. 106 – 109
- » Redecker, M. A.; Thoben, K.-D.: An approach for energy saving in the compound feed production. In: Emmanouilidis, C.; Taisch, M.; Kiritsis, D. (Eds.): Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services. Proceedings of the International Conference of Advances in Production Management Systems (APMS 2012). Rhodes Island (Greece), 24 – 26 Sept. 2012. Revised Selected Papers, Part I. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. XXXIV, 748 p., ISBN 978-3-642-40351-4, DOI 10.1007/978-3-642-40352-1\_10, p. 73 79.

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info](http://www.bine.info) im Bereich Publikationen/Projektinfos.

*BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)*

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages