

## Optimierung von Kosten, Energie- und Ressourcen-Nutzung in der Fruchtsaftindustrie - Bilanzmodell und Mehrzieloptimierung (OptiKERN)

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle:</b>	Universität Hannover Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik Prof. Dr. Karl-Heinz Rosenwinkel/Dr. Maike Beier
<b>Industriegruppe:</b>	Verband der deutschen Fruchtsaftindustrie e.V. (VdF), Bonn
	Projektkoordinator: RA Karsten Sennwald Verband der deutschen Fruchtsaftindustrie e.V. (VdF), Bonn
<b>Laufzeit:</b>	2013 – 2016
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 249.950,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Da eine effiziente und nachhaltige Nutzung von Energie und anderen Ressourcen (Wasser, Rohstoffe) vor dem Hintergrund stetig steigender Energiepreise, der Problematik der Klimaerwärmung sowie notwendiger Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit industrieller Verarbeitungs- und Herstellungsprozesse zunehmend an Relevanz gewinnt, ist ein integriertes Energie- und Stoffstrommanagement in der industriellen Wasserwirtschaft entscheidend. Eine schnelle und leicht handhabbare Möglichkeit zur Selbsteinschätzung und Abschätzung des Nutzens einer tiefgehenden Prozessoptimierung für Unternehmen bieten Benchmark-Vergleiche. Umgesetzt als „Software-Tool“ ermöglichen Bilanzmodelle für Produktionsprozesse mit hinterlegten Benchmark-Werten die Ermittlung des Potenzials von Maßnahmen zum produktionsintegrierten Umweltschutz sowie der Auswirkungen von Veränderungen innerhalb der Produktion (z.B. Austausch von Aggregaten) hinsichtlich der betrachteten Größen, wie Wasser-, Abwasser- oder Energiebedarf.

Für die Fruchtsaftherstellung existieren derartige Modelle noch nicht, während in anderen Branchen des Getränkesektors (z.B. der Brau- und Weinwirtschaft) bereits Bilanz- und Prognose-

modelle zur Optimierung des Herstellungsprozesses in Hinblick auf den Wasser- bzw. Energieverbrauch erfolgreich eingesetzt werden. In der Regel sind solche Werkzeuge bisher auf die reine Identifizierung von Optimierungspotenzialen begrenzt. Für konkrete Hilfestellungen zur Prozessoptimierung können mathematische Optimierungsverfahren genutzt werden.

Vor dem Hintergrund einer Vielzahl möglicher, oftmals gegenläufiger Optimierungsziele (Energie-, Wasserbedarfs-, Kostenminimierung etc.) bietet hier eine Mehrzieloptimierung eine gute Möglichkeit zur Unterstützung bei der Auswahl der bestmöglichen Umsetzung einer Prozessoptimierung. Für die Durchführung einer Mehrzieloptimierung existieren diverse mathematische Methoden und Verfahren, u.a. können genetische Algorithmen genutzt werden. Diese ahmen die Prinzipien der biologischen Evolution nach und lösen Optimierungsprobleme in Form einer gesteuerten Suche, bei der eine Menge an Lösungskandidaten mit der Zeit stetig verbessert wird. Genetische Algorithmen finden bereits in den verschiedensten Gebieten erfolgreich Anwendung, beispielsweise zur Optimierung von Fahrerassistenzsystemen oder photochemischen Prozessen in Solarzellen. Zur Optimierung der Herstellungsprozesse in der Fruchtsaftindustrie werden solche Mehrzieloptimierungsverfahren

bisher nicht eingesetzt.

Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb zum einen die Entwicklung eines durch seinen modularen Aufbau flexibel einsetzbaren Bilanzmodells hinsichtlich maßgeblicher Stoff- und Energieströme bei der Fruchtsaftproduktion mit einer speziell auf die Fruchtsaftindustrie zugeschnittenen Modulbibliothek. Zum anderen wurde eine Mehrzieloptimierung zur Prozessoptimierung auf Basis eines genetischen Algorithmus hinsichtlich drei für die Fruchtsaftherstellung wesentlicher Zielkriterien (Energie, CSB-Fracht, Kosten) auf Eignung und Zweckdienlichkeit zur Prozessoptimierung bzw. zur Identifizierung maßgeblicher Verfahrensschritte und Eingangsgrößen einer Prozesskette („Optimierungsstellschrauben“) am Beispiel der Apfelsaftherstellung untersucht. Des Weiteren waren die erzielten Ergebnisse in die technische Anwendungsebene zu übertragen.

#### Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein modular aufgebautes, kennzahlbasiertes Bilanzmodell entwickelt, auf dessen Basis eine Mehrzieloptimierung bezüglich Energie- und Ressourceneffizienz implementiert wurde. Die erzielten Ergebnisse aus der Entwicklung von Bilanzmodell und Mehrzieloptimierung wurden zur Erarbeitung eines anwendungsorientierten, EDV-gestützten Bilanzierungs- bzw. Optimierungswerkzeugs genutzt, welches es Betrieben ermöglicht, schnell und einfach Optimierungspotenziale in Hinblick auf Energiebedarf, Wasserverbrauch, Verbrauch von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln, Ausnutzung von Rohstoffen, Abwasseranfall, Anfall von Nebenprodukten bzw. Abfällen sowie Betriebskosten für seinen Betrieb bzw. für einzelne Produktionslinien zu erkennen und den Nutzen von Optimierungsmaßnahmen abschätzen zu können. Der Rohstoffverlust bei den Prozessen der Apfelsaftherstellung wird durch den CSB-Verlust über Reststoffe (Trester, Trub u.ä.) und Abwasser abgebildet und bilanziert. Das Bilanzmodell wurde im Programm MATLAB/SIMULINK umgesetzt und besteht aus unterschiedlichen Modulen, die flexibel zu Prozessketten der Apfelsaftherstellung kombinierbar sind. Zur Definition der einzelnen Module wurden grundlegende Verfahrensschritte der Apfelsaftherstellung genutzt, wie z.B. Apfelwäsche, Pressen, Schönen und Klären etc. Mit Hilfe des Modells können Wasserverbrauch, Energiebedarf (elektrisch und thermisch), Abwasseranfall, Rohstoffverlust (CSB-Verlust) zum

einen für jedes Modul einzeln sowie zum anderen für vollständige Prozessketten berechnet werden. Die Berechnung erfolgt auf Basis von im Modell hinterlegten spezifischen Kennzahlen. Die dem Modell zugrundeliegenden Kennzahlen wurden zum einen anhand von Literatur- und Herstellerangaben sowie umfangreichen eigenen Messungen in Fruchtsaftbetrieben im Rahmen des Vorhabens ermittelt, zusammengestellt und in einer Datenbank abgelegt und systematisiert. Nach Fertigstellung des Bilanzmodells wurden drei typische Prozessketten der Apfelsaftherstellung ausgewählt (Rohsaftherstellung, Konzentrattherstellung, Rückverdünnen und Abfüllen von Saft aus Konzentrat), für die dann eine Mehrzieloptimierung in Hinblick auf die Minimierung von Wasserverbrauch, Energiebedarf und Rohstoffverlust implementiert wurde. Die Mehrzieloptimierung erfolgte mittels eines genetischen Algorithmus und wurde ebenfalls im Programm MATLAB/SIMULINK umgesetzt. Verändert wurde während der Optimierung jeweils die Art der Module der unterschiedlichen Prozessketten durch Variation der Kennzahlen innerhalb einer festgelegten Bandbreite. Mit Hilfe der Mehrzieloptimierung können so zum einen individuell einzelne Prozessketten in Hinblick auf definierte Ziele optimiert werden. Zum anderen wurde im Rahmen des Projekts eine Methodik erarbeitet und anhand der drei genannten typischen Prozessketten erprobt, mit der über das Werkzeug der Mehrzieloptimierung die maßgeblichen (sensitiven) Verfahrensschritte bzw. Eingangsgrößen einer Prozesskette in Hinblick auf die definierten Optimierungsziele identifiziert werden können. Diese Methodik ermöglicht somit die Identifikation von Ansatzpunkten für eine Prozessoptimierung mit Hilfe der Mehrzieloptimierung.

Um die erzielten Ergebnisse aus dem entwickelten Bilanzmodell sowie der Methodik zur Identifikation sensitiver Verfahrensschritte und Eingangsgrößen in der technische Anwendungsebene zu übertragen und eine breite Nutzbarkeit zu erreichen, wurde ein anwendungsorientiertes Bilanzierungs- bzw. Optimierungswerkzeug (Tool) für die Prozesse der Apfelsaftherstellung im Programm Microsoft Excel erarbeitet. Mit Hilfe des Tools können Anwender Prozessketten der Apfelsaftherstellung abbilden. Das Tool ist in der Lage, auf Basis von hinterlegten Kennzahlen und einem Minimum von notwendigen Nutzereingaben Bandbreiten für Produktionsmengen, Wasserverbrauch, Energiebedarf, Anfall von Abwasser und Reststoffen, Bedarf an Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie Betriebskosten zu errechnen. Der Nutzer des Tools

kann seine eigenen betriebspezifischen Daten mit den errechneten Bandbreiten vergleichen und auf diese Weise schnell und einfach Optimierungspotenziale erkennen. Durch Variantenvergleiche oder Austausch einzelner Aggregate kann auch der Nutzen von Optimierungsmaßnahmen vorab abgeschätzt werden.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Das entwickelte Tool bietet Betrieben die Möglichkeit, auf Basis weniger Daten und in kurzer Zeit Steuerungs- und Einsparpotenziale hinsichtlich Ressourcen- und Energieverbrauch sowie Betriebskosten festzustellen. Dies wird in erster Linie durch den Vergleich realer Betriebsdaten mit berechneten Kennzahlbandbreiten (Benchmarks) ermöglicht. In einem zweiten Schritt können Unternehmen dann bei festgestelltem Optimierungsbedarf für eines der untersuchten Optimierungsziele anhand der identifizierten sensitiven Grundoperationen/Eingangsgroßen schnell die Optimierungsmaßnahmen erkennen, welche voraussichtlich den größtmöglichen Effekt erzielen werden. Das Tool bietet damit vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) eine schnelle und kostengünstige Möglichkeit zur Unterstützung der Prozessoptimierung. Durch die Ausführung des Tools im Programm Microsoft (MS) Excel ist zudem eine direkte und leichte Verfügbarkeit und Nutzbarkeit ohne zusätzliche Anschaffungskosten gewährleistet. KMU der Fruchtsaftindustrie erhalten somit ein kostengünstiges Werkzeug zur Prozessoptimierung, das direkt und unmittelbar für das alltägliche Produktionsmanagement nutzbar ist.

Außerdem kann die entwickelte Methodik von der Erstellung eines modularen, kennzahlbasierten Bilanzmodells über die Mehrzieloptimierung bis hin zur Entwicklung eines anwendungsorientierten Bilanzierungstools zukünftig

auf weitere Bereiche der Fruchtsaft- bzw. Getränkeherstellung erweitert werden. Hierzu sind ggf. neue Module anzulegen und weitere Kennzahlen zu erheben. Die Übertragbarkeit ist aber nicht auf die Fruchtsaft- bzw. Getränkebranche begrenzt: Bei Entwicklung entsprechender Module sowie bei Ermittlung und Hinterlegung der notwendigen Kennzahlen ist das dargelegte Vorgehen prinzipiell auf jeden beliebigen anderen industriellen Herstellungsprozess anwendbar.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2016.

#### Weiteres Informationsmaterial:

Universität Hannover  
 Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik  
 Welfengarten 1, 30167 Hannover  
 Tel.: +49 511 762-2276  
 Fax: +49 511 762-2881  
 E-Mail: rosenwinkel@isah.uni-hannover.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
 Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn  
 Tel.: +49 228 3079699-0  
 Fax: +49 228 3079699-9  
 E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.