

## Wissensbasierte Reduzierung des Energie- und Wasserbedarfs bei der Weinerzeugung mittels informationstechnologischer Hybride auf der Grundlage von Referenz-Petri-Netzen

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle I:</b>	Universität Erlangen Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Antonio Delgado/Dr. Bernhard Gattermig
<b>Forschungsstelle II:</b>	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum DLR-Rheinpfalz Institut für Weinbau und Oenologie Prof. Dr. Ulrich Fischer/Prof. Dr. Dominik Durner
<b>Industriegruppe:</b>	Deutscher Weinbauverband e.V. (dvw), Bonn  Projektkoordinator: Bernhard Idler Württembergische Weingärtner-Zentral- Genossenschaft eG, Möglingen
<b>Laufzeit:</b>	2015 – 2019
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 539.700,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Im Unterschied zu anderen Branchen der Getränkeindustrie sind die Betriebe der Weinwirtschaft sehr stark an die Saisonalität der Traubenerzeugung gebunden. Viele Prozessaggregate, wie beispielsweise Maischeerhitzungsanlagen, Pressen, Gärkühlungen, Filter oder Abfüllanlagen, werden nur wenige Wochen im Jahr genutzt. Aufgrund dieser temporär stattfindenden und voneinander isolierten Verfahrensschritte sind Wärmerückgewinnungssysteme häufig nur schlecht ausgelastet und die Bereitstellung von Kälte und Wärme kann mit hohen Stand-by-Verlusten zu Buche schlagen. Sowohl durch die diskontinuierliche Prozessführung als auch durch historisch gewachsene Betriebsstrukturen fehlt es in vielen Betrieben an energietechnischen und wasserwirtschaftlichen Abstimmungen von Anlagen bei der Traubenverarbeitung, im Gärkeller oder in der Abfüllung.

Am Beispiel anderer Sparten der Getränkeindustrie zeigt sich, dass sich Verkettungen

von Teilprozessen in signifikanten Einsparpotentialen an Energie und Wasser niederschlagen können. Effiziente Prozessketten, z.B. in Brauereien, sehen eine Aufbereitung und Mehrfachverwendung von Reinigungs- oder Kühlwasser vor, beinhalten innovative Energiegewinnungs- und Energierückgewinnungssysteme über Parallelprozesse und sind nach Prozessablaufplänen optimiert, indem Wärmetauschernetzwerke zur Wärmerückgewinnung, Energieversorgung und Prozessbedingungen aufeinander abgestimmt werden.

Die großen Schwankungen im Strom- und Wasserbedarf sowie im Anfall von Abwässern während der Weinbereitung verdeutlichen, dass ein enormes Potential zur Steigerung der Energie- und Wassereffizienz vorhanden ist und die Betriebe der Weinwirtschaft aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Verantwortung einen Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten können. Bisherige Ansätze, den Energie- und Wasserbedarf in der Weinerzeugung über den simplen Vergleich mit branchenspezifischen Zahlen zu reduzieren, scheiterten in der

Vergangenheit an den großen Unterschieden in den Betriebsstrukturen. Die Schwierigkeit, belastbare Benchmarks für die Weinproduktion zu finden, sind vor allem auf die Unterschiede in der Produktionstiefe, auf die Unterschiede im Produktportfolio, auf unterschiedliche Produktionsrichtungen und auf unterschiedliche Distributionswege zurückzuführen. Auch der Zu- und Verkauf von verschiedenen Erzeugungsstufen ist bei vielen Betrieben gängige Praxis. Betriebsstätten variieren darüber hinaus erheblich in Größe, Alter, Struktur und Lage, was die Betriebsausstattung und die Kostenstruktur unmittelbar beeinflusst. Zusätzlich sind in höherem Maße als bei anderen Sparten der Getränkeindustrie die großen Jahrgangsunterschiede im Traubenertrag und in der Traubenqualität zu nennen, die sehr unterschiedliche Verfahrenstechniken nach sich ziehen und dementsprechend den Energie- und Wasserbedarf der Weinproduktion stark beeinflussen. Trotz der zahlreichen forschungsorientierten Untersuchungen zu innovativen und alternativen Verfahrenskonzepten in der Weinbereitung liegen Betrachtungen unter energie- und wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten nur in sehr begrenztem Umfang vor und zielen nicht auf gesamtheitliche Energiekonzepte in Weinwirtschaftsbetrieben ab. Beispielsweise wird in der Literatur berichtet, dass durch den Einsatz der Elektrodialyse zur Weinsteinstabilisierung ein Einsparungspotential an elektrischer Energie von 87,5 % und ein Einsparungspotential an Wasser von 65 % gegenüber der konventionellen Kaltstabilisierung möglich ist. Weiterhin geht eine andere Literaturquelle davon aus, dass durch den Einsatz der innovativen Kühlturm-Technologie zur Gärkühlung ein Einsparungspotential an elektrischer Energie von bis zu 70 % gegenüber konventionellen Verdichter-Kältemaschinen vorhanden ist.

Während die in den Weinwirtschaftsbetrieben anfallenden Gesamtverbrauchsmengen an Wasser und Energie einfach zu beziffern sind, ist der tatsächliche Verbrauch einzelner Teilprozesse weitgehend unbekannt. Grund hierfür ist die häufig fehlende oder unzureichende Mess- und Automatisierungstechnik in der Weinherstellung, wodurch die Stoffströme sämtlicher Weinbereitungs- und Energieprozesse intransparent bleiben, was u.a. durch den hohen Grad der Saisonalität zu erklären ist. Die prozessbegleitende Messtechnik beschränkt sich auf die analytische Charakterisierung der Trauben bzw. des Mostes mittels Re-

fraktometer oder FT-MIR-Messungen, die Messung der Temperatur während der alkoholischen Gärung und vereinzelt mittels Messung der Gäraktivität durch Erfassung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Eine auf prozessbegleitenden Messungen basierende Visualisierung des Weinbereitungsprozesses sowie die Mengenerfassung und analytische Charakterisierung von Frisch- und Abwässern sind in den Weinwirtschaftsbetrieben in der Regel nicht zu finden. Die Zuordnung des Energieverbrauchs auf Teilprozesse über empirische oder errechnete Kennzahlen kann aufgrund der großen prozess- und betriebstechnischen Schwankungsbreiten in der Weinbereitung allenfalls als Näherung dienen. Dementsprechend ist eine Ermittlung von Einsparpotenzialen bisher nur überschlagsmäßig möglich gewesen.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Reduzierung der Energie- und Wasserbedarfs bei der Weinerzeugung. Dazu sollte ein hybrides, informationstechnologisches Werkzeug basierend auf Referenz-Petri-Netzen entwickelt werden, das in die Prozessleitebene der Betriebe integrierbar ist und auf im Prozess erfassten Daten eine Echtzeit-Abbildung und Visualisierung des Gesamtprozesses realisieren kann.

#### **Forschungsergebnis:**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine ganzheitliche und verkettete Analyse der erforderlichen Einzelprozesse und des Gesamtprozesses vorgenommen. Zur Umsetzung wurde ein hybrides Simulationstool erstellt. Die Grundarchitektur wurde entwickelt aus Referenz-Petri-Netzen (RPN) zum Abbilden der Struktur des Unternehmens, der Programmiersprache Java zum Erstellen von Objekten, Datenbanken zum Speichern simulationsrelevanter Daten und Messwerte und der graphischen Benutzeroberfläche (GUI) als Schnittstelle zur Kommunikation des Simulationstools mit dem Nutzer.

Als Datenbasis für das hybride Simulationstool dienten Messergebnisse aus sechs unterschiedlichen Weinwirtschaftsbetrieben. In den Weinwirtschaftsbetrieben wurden Energie- und Wassermessungen bei den einzelnen Prozessschritten des Weinbereitungsprozesses durchgeführt. Gleichzeitig wurden relevante Prozessparameter (z.B. Laufzeiten, Stand-by-Zeiten, Temperaturen) sowie weinqualitative

Aspekte (z.B. Routineparameter, Weinsensorik, Weinsteinstabilität) berücksichtigt. Die in den Betrieben verwendeten Maschinen und Aggregate wurden dokumentiert und flossen als Datenbasis in das Simulationstool ein. Durchgeführte Schwachstellenanalysen in den Betrieben legten Optimierungspotentiale bei unterschiedlichen Teilprozessen nahe. Zu diesen Teilprozessen zählten der Mostgewinnungsprozess, die Vergärung oder die Weinsteinstabilisierung. Durch Maßnahmen, wie beispielsweise die Reduzierung von Stand-by-Zeiten bei der Mostgewinnung mittels Dekanter, einer Erhöhung des Pressbefüllungsgrades bei Membranpressen, der Reduzierung der abzuführenden Wärme bei der Gärkühlung oder alternativer Verfahrenstechniken bei der Weinsteinstabilisierung, lassen sich Energiebedarfsreduzierungen realisieren.

Das erstellte Tool eignet sich zur geräte- und prozessspezifischen Simulation des Energie- und Wasserbedarfs bei der Weinerzeugung. Ein virtuell angelegtes Unternehmen kann ein reales bereits vorhandenes Unternehmen repräsentieren oder auch zukünftige Prozessabläufe und/oder geplante Unternehmen simulieren. Einzelne Geräte, Prozesse und Prozessketten können mittels übersichtlicher Eingabefenster in der Graphischen Benutzeroberfläche (GUI) direkt vom Anwender erstellt und verknüpft werden. Das Erstellen, Austauschen, Löschen oder Anpassen von Objekten ermöglicht eine Vielzahl von Simulationsszenarien. Vielfältige Ausgabemöglichkeiten ermöglichen eine übersichtliche geräte- und prozessspezifische Auflistung der berechneten Simulationsergebnisse sowie verschiedene Optionen der graphischen Darstellung. Das Plotten von zeitlichen Verläufen oder Darstellungen von prozentualen Anteilen der Ausgabewerte liefern weitere Erkenntnisse zu den simulierten Prozessen. Wassereinsparungen durch Berechnung der Menge an wiederverwertbarem Wasser, Kostenberechnungen sowie unternehmensinterne und -übergreifende Vergleichsmöglichkeiten bieten weitere Optionen zum Prüfen und Detektieren von Einsparpotentialen innerhalb der Prozesskette der Weinbereitung.

#### **Wirtschaftliche Bedeutung:**

In Deutschland gibt es knapp 20.000 Wein erzeugende Betriebe. Fast alle zur deutschen Weinwirtschaft zählenden Betriebe sind kleine

und mittelständische Unternehmen (KMU) und verfügen über keine eigenen Forschungsressourcen. Der Gesamtumsatz der Branche liegt bei über 3 Mrd. €, der durchschnittliche Jahresumsatz pro Betrieb liegt bei ca. 150.000 €. Im Mittel der Jahre 2008 bis 2018 wurden in Deutschland 930 Mio. Liter Wein erzeugt. Damit zählt Deutschland zu den zehn größten Weinproduzenten der Welt. Laut Deutschem Raiffeisenverband entfällt ein Produktionsvolumen von 280 Mio. Liter Wein auf die 209 Genossenschaften in Deutschland, die mit 32.115 ha knapp ein Drittel der gesamten Rebfläche erfassen. Deutschland steht mit einem Weinkonsum von 20,2 Mio. hL weltweit an vierter Stelle nach Frankreich, den USA und Italien. In 2017 gaben die deutschen Verbraucher laut Deutschem Weininstitut für 2 Mrd. Liter Wein annähernd 8 Mrd. € aus.

Die bei der Weinbereitung benötigten Energie- und Wassermengen zeigen sowohl starke betriebsgrößenabhängige als auch saisonal bedingte Schwankungen. Die Strompreise und die Kosten für Frisch- und Abwasser liegen in Deutschland im weltweiten Vergleich an der Spitze. Hieraus leitet sich ein hoher Kostendruck für die Betriebe der deutschen Weinwirtschaft ab. Mit dem entwickelten Softwaretool wurde eine Möglichkeit der Transparenz hinsichtlich des Energie- und Wasserbedarfs geschaffen. In einer detaillierten Schwachstellenanalyse sind besonders energie- und wasserintensive Prozesse identifizierbar. Durch die Implementierung alternativer Verfahrenskonzepte und energie- und wasserintensiver Teilprozesse sowie durch Investitionen in neue, energie- und wassersparende Geräte sind Kostenreduzierungen umsetzbar.

#### **Publikationen (Auswahl):**

1. FEI-Schlussbericht 2019.
2. Durner, D.: Die Nachhaltigkeit in der Weinbereitung. In: Nachhaltigkeit im Weinbau (Keith, U., Hrsg.), 215-227, ISBN 978-3-8186-1315-0. (2022).
3. Schwinn, M., Durner, D., Wacker, M., Delgado, A. & Fischer, U.: Impact of fermentation temperature on required heat dissipation, growth and viability of yeast, on sensory characteristics and on the formation of volatiles in Riesling. Austr. J. Grape Wine Res. 25 (2),173-184 (2019).

4. Schwinn, M., Durner, D., Delgado, A. & Fischer, U.: Distribution of yeast cells, temperature and fermentation by-products in white wine fermentations. *Amer. J. Enol. Vitic.* 70 (4), 339-350 (2019).
5. Schwinn, M. & Durner, D.: Kältetechnik in der Weinbereitung – Energieeinsparung ohne Kompromisse für die Weinqualität. 71. Tagungsband WBT, 61-64 (2018).
6. Schwinn, M. & Durner, D.: Reduzierung des Energiebedarfs in der Weinbereitung. *DLR Rhl.-Pfalz im Blick*, 50-53 (2017).

**Weiteres Informationsmaterial:**

Universität Erlangen-Nürnberg  
Department für Chemie- und Bioingenieurwesen

Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen  
Tel.: +49 9131 85-29500  
Fax: +49 9131 85 29503  
E-Mail: antonio.delgado@fau.de

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz  
Institut für Weinbau und Önologie  
Breitenweg 71, 67435 Neustadt  
Tel.: +49 6321 671-294  
Fax: +49 6321 671-222  
E-Mail: ulrich.fischer@dlr.rlp.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn  
Tel.: +49 228 3079699-0  
Fax: +49 228 9079699-9  
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 125, 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.