

Forschungsberichtsblatt BWPLUS

**Stromoptimierte, flexible und residuallastangepasste KWK
in der elektrochemischen Beschichtungsindustrie
(GalvanoFlex_BW)**

von

Ekrem Köse, Christian Dierolf, Alexander Sauer

Universität Stuttgart
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)

Ernst-Udo Sievers, Johannes Hirth

eiffo eG, Ostfildern

Stefan Kölle, Peter Schwanzer

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Werner König, Tobias Müller, Sabine Löbbe, Bernd Thomas

Hochschule Reutlingen
Reutlinger Energiezentrum REZ

Förderkennzeichen: BWT17009 - 17014

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

März 2020

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsprojektes stichpunktartig zusammengefasst:

- Es wurde eine Methode entwickelt, mit der Energieeffizienzmaßnahmen priorisiert werden können. Dabei kann u.a. die gegenseitige Beeinflussung von einzelnen Maßnahmen berücksichtigt und in einer Bewertungsmatrix systematisch erfasst werden. So sind beispielsweise Behälterabdeckungen oder Isolierungen erst ab einem bestimmten Temperaturniveau sinnvoll. Mit dem entwickelten Verfahren konnte letztendlich die Auswahl aus über 35 Maßnahmen in Abhängigkeit der Ausgangssituation für ein einzelnes Unternehmen stark eingeschränkt und priorisiert werden. Alle erarbeiteten Maßnahmen sind in einem Maßnahmenkatalog zusammengestellt, der im Abschlussbericht aufgeführt ist.

Eine wichtige Eigenschaft der erarbeiteten Methode ist die abstrakte und damit allgemein gültige Vorgehensweise, die eine Anwendung in beliebigen Unternehmen und Branchen erlaubt. So konnte am Beispiel der Druckgussbranche gezeigt werden, dass die entwickelte Priorisierungsmaßnahme auch für Unternehmen außerhalb der Galvanikbranche geeignet ist.

- Es wurden beispielhaft verschiedene Effizienzmaßnahmen für die Prozesse der Industriepartner durchgerechnet und monetär bewertet. Dies waren im Einzelnen:
 1. Reduzierung der Spannungsverluste durch optimierte Leitfähigkeit Elektrolyt
 2. Vermeidung von Überbeschichtung am Beispiel hartverchromter Kolbenstangen
 3. Steigerung der Energieeffizienz durch frequenzgeregelte Pumpenmotoren
 4. Absenkung der Leistung der Abluftventilatoren
 5. Lastmanagement der elektrischen Verbraucher
 6. Optimierung der Gleichrichterleistung
 7. Reduzierung von Wärmeverlusten
- Es wurde ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem die Anwendung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) in Industriebetrieben berechnet werden kann. Dabei kann sowohl der klassische wärmegeführte Betrieb simuliert werden als auch über ein zusätzliches Tool eine Fahrplanoptimierung mit Blick auf eine stromoptimierte Betriebsweise der KWK-Anlage erfolgen. Auf diese Weise kann beispielsweise die Eigenstromdeckung erhöht werden. Die Berechnung erfolgt mit hoher Zeitauflösung über ein komplettes Jahr. Durch die hohe Zeitauflösung kann insbesondere der Einsatz von Speichern detailliert untersucht und optimiert werden. Dabei hat sich u.a. bestätigt, dass die Betriebsergebnisse sowohl im Hinblick auf die technischen Parameter wie jährliche Betriebsstunden, Anteil Eigenstromdeckung etc. als auch für die Wirtschaftlichkeit mit Vergrößerung des Wärmespeichervolumens asymptotisch in ein Maximum laufen. Das bedeutet auf der einen Seite, dass eine Vergrößerung des Wärmespeichervolumens hilft, die Betriebsergebnisse zu verbessern. Auf der anderen Seite kann die Vergrößerung des Wärmespeichervolumens an einer bestimmten Stelle abgebrochen werden, ab der eine weitere Vergrößerung aufgrund des asymptotischen Verlaufs der Zielfunktionen nur noch einen kleinen Mehrwert erbringt.
- Es wurde eine Methode zur Prognose des Wärme- und Strombedarfs in Industriebetrieben entwickelt, die den Rhythmus zwischen Arbeitstagen und produktionsfreien Tagen berücksichtigt.
- Für die Zielfunktion bei stromoptimierter Betriebsweise ist eine Methode entwickelt worden, mit der sowohl die Eigenstromdeckung erhöht als auch die elektrischen Leistungsspitzen reduziert werden.

- Bei den Untersuchungen zur Umsetzung von KWK-Anlagen konnte am Beispiel von zwei Unternehmen mit stark unterschiedlichen Strom- und Wärmebedarfswerten gezeigt werden, dass der Einsatz entsprechender Anlagen wirtschaftlich lohnenswert ist. Im günstigsten Fall ergeben sich Amortisationszeiten von etwa zwei Jahren. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass die Auslegung des Blockheizkraftwerkes stark von den Strom- und Wärmebedarfswerten abhängt und dass der Pufferspeicher keinesfalls zu klein ausgelegt werden sollte. Eine intelligente stromoptimierte Steuerung mit Lastspitzenmanagement kann die Wirtschaftlichkeit jedoch häufig nur noch wenig gegenüber dem wärmegeführten Betrieb verbessern. Ursache dafür ist, dass das derzeitige Förder- und Vergütungssystem für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen nahezu keine Anreize für einen am Strombedarf und damit an der Deckung von Residuallast orientierten Betrieb bietet. Einzig bei Betrieben mit ausgeprägten Spitzen im Strombezug, kann der gezielte Einsatz eines Blockheizkraftwerkes zu einer signifikanten Senkung des Leistungspreises führen.
- Es konnte zudem gezeigt werden, dass der zusätzliche Einsatz eines Batteriespeichers zwar geeignet ist, um die Betriebsergebnisse im Hinblick auf die Eigenstromdeckung und die Reduktion elektrischer Leistungsspitzen zu verbessern. Wirtschaftlich zahlt sich dieser Vorteil allerdings nicht aus, was den hohen Anschaffungskosten der Batteriespeicher geschuldet ist. Die Kosten müssten inklusive Installation auf Werte von 50 – 300 €/kWh fallen, um eine Amortisation der Mehrkosten nach 5 Jahren bei einem Zinssatz von 2% zu erreichen.
- Im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschungen wurden folgende Forschungsfragen bearbeitet:
 1. Welche Bedeutung hat Energieeffizienz für die Unternehmen und inwiefern verändert sich diese Bedeutung im Verlauf der Zusammenarbeit im Reallabor?
 2. Welche Entscheidungsprämissen steuern den Umgang mit Energieeffizienz?
 3. Wie beeinflussen die Optimierung bestehender bzw. die Einbindung neuer Erzeugungsanlagen wie die KWK den Umgang mit Energie im Entscheidungsprozess?
 4. Wie wird der Umgang mit Energie im Unternehmen organisiert und kommuniziert?
 5. Wie beobachten die Unternehmen sich und ihre Umwelt (z.B. Potentiale, Technologie, politische Akteure) bezogen auf Energieeffizienz?
 6. Welche Faktoren hemmen oder treiben energieeffiziente Maßnahmen, insbesondere die KWK?
 7. Wie etablieren sich energieeffizienzförderliche Prozesse und Strukturen nachhaltig?

Für detaillierte Ausführungen zu den einzelnen Fragen muss aus Platzgründen auf den Abschlussbericht verwiesen werden. An dieser Stelle soll lediglich auf die Ergebnisse zu Frage 6 eingegangen werden.

Für die treibenden bzw. hemmenden Faktoren bei der Einführung von energieeffizienzmaßnahmen, insbesondere KWK, ist zunächst zwischen internen und externen Faktoren zu unterscheiden. Die externen Faktoren, die beispielsweise durch die Fördergesetzgebung oder die allgemeine Regulierung gegeben sind, beeinflussen die Entscheidung mit hoher Priorität; sie können jedoch nicht verändert werden. Die internen Faktoren können dagegen im Unternehmen angepasst werden.

Insgesamt ist folgende Kategorisierung erarbeitet worden:

Interne Faktoren:

1. Sozio-Technik (Aufwand und Ressourcenbindung, Multifunktionalität, Transparenz der Produktionsprozesse)

2. Wirtschaftlichkeit/Finanzierung (Identifikation der Einsparpotenziale, Investitionsamortisation, finanzieller Aufwand)
3. Organisation/Strategie (Stellenwert von Energieeffizienz für das Unternehmen, Personalintegration, Energiemanagement)
4. Kompetenzen/Awareness (Individuelle Awareness, Kompetenzen und Interessen, Prozess- und Energiedatenkompetenz)

Externe Faktoren:

5. Suppliers/Service (Unterstützung und Angebote von Fachfirmen, Beratung und Handwerk, Contracting-Angebote)
6. Regularien/Förderung (Regulative Rahmenbedingungen, Förderungen, Informations- und Kompetenzangebote)

Fakultativ:

7. Fallspezifische Kontextfaktoren (Unterschiedlicher Zustand der technischen Ausrüstung, andere Prioritäten, parallele Maßnahmen wie An-/Umbauten, Sanierungsmaßnahmen, Änderung der Eigentumsverhältnisse oder der strategischen Ausrichtung, Einführung neuer Produktionsprozesse, Dynamik am Absatzmarkt, Status der technischen Ausrüstung und Prozesstechnologie, Unternehmenskultur, Personalstruktur)

Zur Überwindung von Hemmnissen bei der Einführung einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, wie die hohe Komplexität der KWK-Technologie, die schwierige Bewertung des Gesamtnutzens im Unternehmen, die mangelnde personelle Ausstattung und fehlende Unternehmerentscheidungen, wird konkret vorgeschlagen, die Anlage im Contracting zu betreiben.

2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Die im Rahmen der Effizienzanalyse entwickelte Priorisierungs- und Bewertungsmethode bietet die Möglichkeit der strukturierten Entscheidungsfindung bei Vorliegen mehrerer Ansätze zur Erhöhung der Energieeffizienz in Unternehmen. Insbesondere die Frage, ob sich einzelne Maßnahmen gegenseitig konterkarieren oder gar ausschließen oder ob im Gegenteil eine Verstärkung des gewünschten Effektes erreicht wird, lässt sich mit der entwickelten Methode über einen Matrixansatz durchgängig und strukturiert beantworten. Die Methode ist zudem allgemein anwendbar und damit auch auf andere Unternehmen und Branchen außerhalb der Galvanotechnik übertragbar.

Mit Blick auf die Kraft-Wärme-Kopplung konnte auch für größere Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, wie sie im industriellen Umfeld zum Einsatz kommen, gezeigt werden, dass sich die Betriebsergebnisse bei Vergrößerung des Wärmespeichervolumens asymptotisch verbessern. Damit besteht die gute Möglichkeit der Wärmespeicherdimensionierung in der Art, dass das Volumen so festgelegt wird, dass eine weitere Vergrößerung aufgrund des asymptotischen Verhaltens nur noch eine geringe Verbesserung der Betriebsergebnisse erbringt. Wenn sowohl die mit zunehmender Größe des Wärmespeichers ansteigenden Wärmeverluste als auch die ebenfalls zunehmenden Anschaffungskosten eingerechnet werden, ergibt sich sogar ein Optimum für das Wärmespeichervolumen. Diese Methode wird deshalb zur Dimensionierung von Wärmespeichern empfohlen. Wissenschaftlich interessant wäre zu untersuchen, ob das beobachtete Verhalten auch auf andere Speicherarten, wie beispielsweise Batteriespeicher, übertragbar ist, denn dies würde den Weg für eine geeignete Dimensionierungsmethode auch für andere Speicherarten eröffnen.

Darüber hinaus stellt die entwickelte Methode zur multikriteriellen Optimierung eine Neuerung mit Blick auf den Stand der Technik dar. Klassisch werden in solchen Fällen Pareto-Optimierungen

durchgeführt, bei denen die einzelnen Zielfunktionen gewichtet zusammengerechnet werden. D.h., die Lösungen hängen von der Art der Gewichtung ab. Mit der im Rahmen des Projektes entwickelten Methode werden die abstrakten Gewichtungsfaktoren durch Regeln ersetzt, die besser an den tatsächlichen Randbedingungen des realen Problems festzumachen sind.

Der Ansatz einer sozialwissenschaftlichen Analyse der Treiber und Hemmnisse für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ist, insbesondere im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung, eine Erweiterung zum Stand des Wissens. Das in diesem Rahmen aufgespannte Feld an unterschiedlichen Einflussfaktoren nebst entsprechender Detaillierung bietet eine gute Grundlage, um Fragestellung dieser Art auch in anderen Bereichen strukturiert zu bearbeiten und zu beantworten.

3. Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Die praktische Verwertbarkeit der während der Projektlaufzeit erarbeiteten Ergebnisse stand von Beginn an im Fokus der Bearbeitung; dabei ging es sowohl um die Belange der eingebundenen Industriepartner als auch um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Unternehmen und andere Branchen.

Dem entsprechend sind die Energieeffizienzmaßnahmen anhand der Messdaten und Problemstellungen der Industriepartner entwickelt und bewertet worden, woraus eine unmittelbare Übertragbarkeit in diese Unternehmen hinein resultiert. Gleiches gilt für die Analyse der Umsetzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in diesen Unternehmen. Im Ergebnis hat ein Partnerunternehmen auf Basis der Projektergebnisse die feste Absicht entwickelt, ein BHKW anzuschaffen und zu installieren. Für ein zweites Partnerunternehmen wurden Vorschläge zur Verbesserung der Betriebsergebnisse eines bereits vorhandenen BHKWs erarbeitet. Dabei lautete ein konkreter Vorschlag die Vergrößerung des installierten Wärmespeichers zur Erreichung höherer BHKW-Laufzeiten und höherer Eigenstromdeckungen.

Auch die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung, die auf der Basis von Interviews in den Partnerunternehmen durchgeführt wurde, haben direkte Rückkopplung in den Partnerunternehmen erfahren. Infolge der Beteiligung der Firmen wurden die Ergebnisse sofort reflektiert und an den Verhältnissen vor Ort gespiegelt. Dieses Vorgehen hat definitiv zu einer Bewusstseinsöffnung derart geführt, dass die organisatorischen Verhältnisse in den beteiligten Unternehmen mit Blick auf die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen hinterfragt wurden.

Über die Partnerfirmen hinaus liegt der praktische Nutzen der Projektergebnisse u.a. darin, dass ein Maßnahmenkatalog für Energieeffizienzmaßnahmen in der Galvanotechnik entwickelt wurde und in der Erkenntnis, dass die Kraft-Wärme-Kopplung generell, d.h., bereits in klassischer wärmegeführter Betriebsweise, wirtschaftlich lohnenswert in energieintensiven Betrieben eingesetzt werden kann. Dabei sollte ein ausreichend großer Wärmespeicher installiert werden, während sich Batteriespeicher aufgrund der derzeit noch hohen Anschaffungskosten nicht angemessen amortisieren.

Für den flexiblen Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sind die derzeit gesetzten Anreize sehr gering, so dass ein stromoptimierter mit Betrieb kaum einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber der wärmegeführten Auslegung bietet. Einzig bei Bezugsprofilen mit ausgeprägten elektrischen Leistungsspitzen bietet ein stromoptimierter Betrieb wirtschaftliche Vorteile in Bezug auf die Absenkung des Leistungspreises. Daraus lässt sich für die Politik ableiten, dass der ebenso erforderliche wie auch gewollte flexible Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen deutlich besser angereizt werden muss. Das derzeit gültige Vergütungssystem favorisiert nach wie vor lange jährliche Betriebszeiten, die den Anlagen jegliche Möglichkeit zur Flexibilisierung nimmt. Neben dem derzeit bereits verankerten Aussetzen des KWK-Zuschlags bei negativen Strompreisen müsste auf der anderen Seite eine Erhöhung des KWK-Zuschlags bei besonders hohen Strompreisen erfolgen. Auf diese Weise könnte erreicht werden, dass der Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen primär in die Zeiten verlagert wird, in denen nur wenig Strom aus erneuerbaren Quellen verfügbar ist.

4. Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen.

Die Übertragung der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse ist bereits während der Projektlaufzeit über die Branchenplattform im Zuge verschiedener Workshops, die speziell auf Unternehmen und Institutionen außerhalb des Projektkonsortiums ausgerichtet waren, erfolgt. Bereits nach der ersten Veranstaltung dieser Art ist ein Arbeitskreis „Energieeffizienz und Energietechnik“ ins Leben gerufen worden, der wie folgt getagt hat:

1. Konstituierende Arbeitskreissitzung am 16. Januar 2018 am Fraunhofer IPA mit 38 Teilnehmern
2. Zweite Sitzung des AK Energieeffizienz und Energietechnik am 6. Juni 2018 am Rande der Fachmesse „Surface Technology Germany“ auf dem Messegelände in Stuttgart
3. Dritte Sitzung des AK Energieeffizienz und Energietechnik am 26. Oktober 2018 im Rahmen des jährlichen Innovationstags des eiffo:net Netzwerks in Karlsruhe mit 41 Teilnehmern
4. Vierte Sitzung des AK Energieeffizienz und Energietechnik am 11. April 2019 am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart
5. Fünfte Sitzung des AK Energieeffizienz und Energietechnik am 24.10.19 im Rahmen des Innovationstags des eif-fo:net („eiffo:tag 2019“) in Karlsruhe mit ca. 50 Teilnehmern

Zur Verstärkung der Verbreitung des erarbeiteten Wissens ist zum Projektende eine Serie aus vier Fachartikeln in einem namhaften Branchenmagazin, der WOMag, wie nachfolgend aufgeführt erschienen. Zudem wurden zwei Fachartikel mit peer review zu den Projektergebnissen veröffentlicht:

1. Köse, E., Sauer, A., Thomas, B., Müller, T., Kölle, S., Schwanzer, P.: „Stromoptimierte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Galvanotechnikbranche – Steigende Energieflexibilität durch residuallast-angepasste KWK“, WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche, ISSN: 2195-5891 (print), 2195-5905 (Online), Ausgabe 7-8/2019, S. 17-19
2. Thomas, B., Müller, T.: „Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Galvanikbetrieben“, WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche, ISSN: 2195-5891 (print), 2195-5905 (Online), Ausgabe 9/2019, S. 50-52
3. Kölle, S., Schwanzer, P., Dierolf, C., Köse, E.: „Energieeffizienz in der Galvanotechnik“, WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche, ISSN: 2195-5891 (print), 2195-5905 (Online), Ausgabe 10/2019, S. 22-24
4. König, W.: „Die Umsetzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Galvanikunternehmen – Treiber und Hemmnisse aus sozialwissenschaftlicher Sicht“, WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche, ISSN: 2195-5891 (print), 2195-5905 (Online), Ausgabe 12/2019, S. 19-21
5. Köse, E., Sauer, A., Thomas, B., Müller, T., Kölle, S., Schwanzer, P.: „Stromoptimierte KWK in der Galvanikbranche : Der steigenden Energiefluktuation durch residuallast-angepasste KWK entgegenwirken“, wt Werkstattstechnik online 108(7/8), 2018, S. 561-566
6. Dierolf, C., Köse, E., Kölle, S., Schwanzer, P., Sauer, A.: „Priorisierung von Effizienzmaßnahmen in der Galvanik: Optimale Priorisierung und Steuerung von Energieeffizienzmaßnahmen in galvanotechnischen Betrieben“, wt Werkstattstechnik online 109(9), 2019, S. 688-693

Darüber hinaus ist eine Internetseite zum Projekt erstellt worden (www.galvanoflex_bw.de). Diese hat nicht nur die Aufgabe der Wissensverbreitung, sondern sie soll auch über das Projektende hinaus als Kontaktplattform dienen, um die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen mit dem im Projekt generierten Wissen in weiteren Unternehmen zu forcieren und zu unterstützen.