

Ableitung relevanter Kennzahlen für Galvanobetriebe

Benchmarking in der Galvanotechnik

V. Lampret, S. Kölle, E. Köse, A. Sauer

Steigende Energiekosten und ambitionierte Klimaschutzziele erhöhen den Handlungsbedarf, die Energieeffizienz zu steigern. Um einen Vergleich und eine Entscheidungshilfe von Energieeffizienzmaßnahmen für die energieintensive Galvano-branchen zu schaffen, wurde ein Energie- und Ressourcen-effizienzbenchmark durchgeführt. Herausforderungen bei der Erhebung waren die Heterogenität der Galvano-branchen sowie unterschiedliche Messinfrastrukturen. Dennoch ist es gelungen, einen Vergleich zu schaffen und Handlungsbedarfe sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz zu identifizieren.

STICHWÖRTER

Beschichtungen, Energieeffizienz

Benchmarking in electroplating to identify energy efficiency opportunities

Rising energy costs and climate protection targets increase the need for energy efficiency. A benchmark was carried out to compare and to support the decision on energy efficiency measures for the energy-intensive electroplating industry. The heterogeneity of the electroplating industry and different measurement infrastructures pose major challenges. Nevertheless, it was possible to create an initial comparison and identify the need for action and measures to increase energy and resource efficiency.

1 Einleitung

Im Kontext der Klimaziele werden Emissions- und Energieeinsparungen immer relevanter. Die Novellierung des Klimaschutzgesetzes bewirkt einen dringenden Handlungsbedarf, da das Ziel der Klimaneutralität in Deutschland bereits 2045 erreicht werden soll [1]. Die deutsche Industrie muss dabei ihren Beitrag leisten, da 2020 rund 24 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland auf die Industrie zurückzuführen sind. [2]

Eine effizientere Nutzung der vorhandenen Energieressourcen bietet große CO₂-Einsparpotenziale [3]. Unabhängig von der Anzahl der Beschäftigten schätzen industrielle klein und mittelständische Unternehmen (KMU) ihre Energieeinsparpotenziale zum Großteil auf 10 bis 20 % [4].

Ein stark von KMU geprägter Industriezweig ist die Galvano-branchen. Zudem ist diese Branche sehr energieintensiv mit Energiekosten zwischen 7 und 20 % je nach Beschichtungsverfahren. Dadurch sind ihre Produktionskosten und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit stark abhängig von den Beschaffungspreisen für Energie [3]. Die Kosten für Material und Energie machen zusammen etwa 35 % der Gesamtkosten aus [5]. Im vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Projekt „Galvanoflex“ wurden von mehreren Forschungseinrichtungen und Unternehmen Konzepte zur effizienteren Energieversorgung in der Galvano-branchen entwickelt. Dafür wurden zunächst wesentliche Komponenten des Energieverbrauchs identifiziert [6].

Je nach Beschichtungsverfahren ist der Heiz- und Kühlbedarf in der Galvanik sehr hoch und Verluste sollten zur Einsparung

verringert werden. Auch die einzelnen Prozessschritte benötigen teilweise viel Energie. Ein Teil entfällt auf den Gleichrichter bei der Elektrolyse und die Temperierung der Becken, weitere Teile auf die Abluft, Antriebe, Raumbeheizung und Pumpen. Allgemein wurden über die gesamte Energiewandlungskette Energieeffizienzmaßnahmen identifiziert [7]. Welche dieser Maßnahmen einen großen Mehrwert bieten, hängt vom verwendeten Beschichtungsverfahren ab. Um die Effekte einer Effizienzmaßnahme branchenübergreifend bewerten und Best-Practice-Beispiele ableiten zu können, bietet sich das Benchmarking an. Das Projekt „BenG – Entwicklung einer Methodik und Aufbau eines Benchmarks zur vergleichbaren Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz von Galvanikbetrieben“ hat genau dies zum Ziel.

2 Benchmarking für Energie- und Ressourceneinsatz in der Galvanotechnik

Im BenG-Projekt wird ein Benchmarking für die Galvano-branchen entwickelt und durchgeführt. So soll Galvanikunternehmen aufgezeigt werden, wie gut der eigene Umgang mit Energie im Vergleich zu anderen Unternehmen ist. Durch einen Vergleich mit den besten Unternehmen können ökonomische Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet werden. Dazu wird im Folgenden auf den Energiebedarf in der Galvano-branchen eingegangen sowie auf die Bedeutung von Energieeffizienzpotenzialen und das Benchmarking als Methodik zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen.

2.1 Energie- und Ressourceneffizienz in der Galvanobranche

Der Energiekostenanteil an den Produktionskosten ist in der Galvanotechnik im Vergleich zu anderen Branchen relativ hoch [3]. Durch die aktuellen Energiekostensteigerungen erhöht sich dieser Anteil in Kombination mit den ebenfalls stark ansteigenden Materialkosten deutlich. Für die Betriebe der Oberflächentechnik ist das eine sehr große Herausforderung. Auf dieser Basis erscheint die Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Galvanotechnik sowohl ökonomisch als auch ökologisch als sinnvoll.

Der tatsächliche Energiebedarf und damit das Potenzial zur Einsparung sind sehr variabel. Die unterschiedlich hohen Energieverbräuche lassen sich auf die Anforderungen der Beschichtungsverfahren zurückführen. Bei der Hartverchromung werden hohe Stromdichten ($20\text{--}100\text{ A/dm}^2$) und vergleichsweise hohe Spannungen benötigt, welche zu einem hohen Energieverbrauch der Gleichrichter führen [8]. Bei der Verzinkung sind dagegen die benötigten Ströme und Spannungen niedrig. Die chemische Vernicklung besitzt aufgrund der hohen Verfahrenstemperaturen einen hohen thermischen Energiebedarf, braucht jedoch kaum elektrische Energie. Somit beläuft sich nach Literaturangaben der Gesamtenergieverbrauch hier auf 10 kWh/m^2 . Für das Einzel-schichtverfahren mit Zink hingegen beträgt der Gesamtenergieverbrauch laut Literatur 4 kWh/m^2 [9].

Für einen ausgewählten Betrieb der Oberflächentechnik ergibt sich allein für die Gleichrichterversorgung und die Prozessbeheizung ein Anteil am Energieverbrauch von etwa 55 %. Weitere große Anteile entfallen unter anderem auf die Raumbeheizung und elektrische Antriebe [9].

Diese Werte unterliegen von Betrieb zu Betrieb einer enormen Schwankungsbreite, die sich aus den verschiedenen eingesetzten Verfahren, der unterschiedlichen Anlagentechnik und verschiedenartigen zu beschichteten Bauteilen vom Schüttgut bis zur meterlangen Kolbenstange ergibt. Daher ist es besonders schwierig, eine Aussage zu treffen, inwiefern der eigene Betrieb effizient mit Energie und Ressourcen umgeht.

Die Bewertung der Ressourceneffizienz kann unter anderem durch einen Quervergleich des Wasserverbrauchs erfolgen. Als Richtwert des Wasserverbrauchs gelten in Frankreich pro Spülstation 8 l/m^3 bei einem Gesamtvolumen über 10 m^3 der Behandlungsanlagen, der zusätzlich mit einer Kontrolle der Ausschleppung von Rohstoffen kombiniert werden kann [10].

Häufig fehlen einem Betrieb Daten, die es ermöglichen, den spezifischen Energieverbrauch eines Verfahrens oder einer Anlage zu bestimmen. Zu wenige Daten zum eigenen Verbrauch, aber auch zum Mehrwert durch Energieeffizienzmaßnahmen, hemmen die Investitionsbereitschaft für Maßnahmen zur Optimierung des Energieverbrauchs. Aufgrund fehlender personeller Kapazitäten in den Betrieben sind das Wissen zum Bewerten des Mehrwerts einer solchen Maßnahme und das Know-how zur Umsetzung besonders wichtig. Best-Practice-Beispiele würden die Branche enorm unterstützen. Voraussetzung dafür ist eine ausreichend große Zahl an betrachteten Unternehmen. Um solche Best-Practice-Beispiele abzuleiten, ist es hilfreich, Energie- und Ressourceneffizienzkennzahlen verschiedener Unternehmen zu bestimmen und somit Unternehmen beim Erreichen ihrer Einsparziele zu unterstützen.

2.2 Energie- und Ressourceneffizienzkennzahlen

Die Energieeffizienz als Kennzahl ist das Verhältnis zwischen einer Leistung oder einem Ertrag und der dafür eingesetzten Energie. Die Kennzahl ist hilfreich zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen. Analog verhält es sich mit der Ressourceneffizienz als Verhältnis zwischen eingesetztem Material und Ertrag [11]. Während aus übergeordneter Sicht bei produzierenden Unternehmen von Effizienzpotenzialen von 10 bis 50 % ausgegangen wird, beziffert eine Studie des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz die Effizienzpotenziale in der Galvanotechnik mit 10 bis 20 %. [3]

Bei der Erhebung des Energieeffizienz-Indexes des Stuttgarter Instituts für Energieeffizienz in der Produktion EEP im zweiten Halbjahr 2019 führten Kleinst- bis Großunternehmen an, dass sie zur Reduktion ihres CO_2 -Footprints vor allem ihren Energieverbrauch durch Energieeffizienzmaßnahmen reduzieren und die Eigenerzeugung von erneuerbaren Energien erhöhen möchten. Bei der Erhebung des Indexes im zweiten Halbjahr 2021 gaben nur wenige KMU an, dass sie die Bedeutung der Energieeffizienz als hoch einschätzen. Nur die Hälfte der energieintensiven Unternehmen kennt ihr Energieeinsparpotenzial für Querschnittstechnologien bei Wärme und Abwärme [12]. Weiterhin stellt gerade für mittlere Unternehmen die Verfügbarkeit von Ausrüstung für Messungs- und Leistungsüberwachung eine sehr große Herausforderung dar [12, 13].

2.3 Benchmarking für die Galvanobranche

Das Umweltbundesamt empfiehlt die Durchführung von Benchmarks, um mit branchenbezogenen Energie- und Ressourceneffizienzkennzahlen den Energieverbrauch messen, vergleichen und somit Anreize zur Verbesserung initiieren zu können [10]. Um sinnvolle Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen zu identifizieren und den Energieverbrauch eines Unternehmens besser einordnen zu können, bietet sich innerhalb einer Branche der Vergleich anhand von Kennzahlen an [10]. Bei einem Benchmark können zudem die Auswirkungen von umgesetzten Effizienzmaßnahmen im eigenen Betrieb nachverfolgt werden, indem die Erhebung der Kennzahlen in zeitlichen Abständen wiederholt wird.

Die Wahl der Benchmark-Kennzahlen für die Galvanobranche ist sehr verschieden. 1985 wurde in Frankreich ein Quervergleich für den Wasserverbrauch der Oberflächentechnik eingeführt. Ziel waren Wassereinsparungen und eine Steigerung der Ressourceneffizienz durch die Reduktion von Verschleppungen. Der Bezug zum Wasserverbrauch wird in 80 % aller französischen Anlagen zur Oberflächenbehandlung herangezogen [10].

In Österreich wurde 2007 ein Benchmark für die Galvanobranche mit Fokus auf die Energieverbräuche entwickelt und aufgebaut. Der elektrische Energieeinsatz pro Mitarbeitendem wurde neben den Energiekosten für Strom und Wärme als Kennzahl für den Benchmark herangezogen [14].

Aufgrund der sehr starken Varianz beispielsweise an eingesetzten Beschichtungsverfahren und Technologien, spezialisierten Galvanikbetrieben oder beschichteten Produkten sind die bisher erhobenen Kennzahlen zur Bestimmung der Leistung beziehungsweise der Effizienz nicht vollumfänglich geeignet. Hier muss auf Basis einer Klassifizierung, in der sich die entsprechenden Unter-

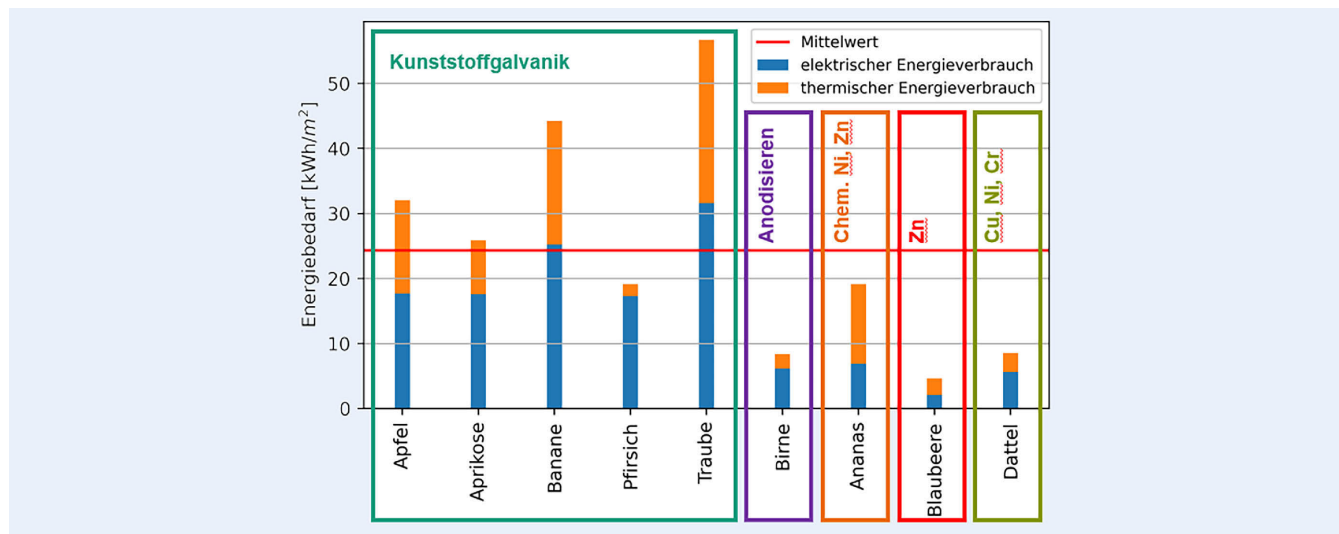


Bild 1. Elektrischer und thermischer Energiebedarf pro beschichteter Oberfläche auf Unternehmensebene. Grafik: Fraunhofer IPA

nehmen wiederfinden, ein Benchmark durchgeführt und aussagekräftige Leistungskennzahlen abgeleitet werden, die im Verhältnis zum Produktionsoutput stehen. Der Benchmark im Projekt BenG, an dem das Institut für Industrielle Fertigung IFF und das Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP der Universität Stuttgart in Kooperation mit dem Fraunhofer IPA arbeiten, baut auf den Erkenntnissen der Benchmarks aus Frankreich und Österreich auf.

3 Ausgewählte Ergebnisse des Benchmarks Galvanotechnik „BenG“

Im Gegensatz zu den 1985 und 2007 durchgeführten Benchmarks für die Galvanobranche wurden beim Benchmark des Projekts BenG vor allem energetische Verbrauchsdaten zur Bestimmung von Kennzahlen verwendet. Dabei wurden die Kennzahlen nicht, wie im österreichischen Benchmark, auf die Mitarbeitenden, sondern auf Rohmaterialeinsatz, Betriebsstunden, Beschichtungsvolumen und -oberfläche sowie auf schichtmetallhaltiges Material bezogen. Zudem wurde zwischen elektrischem und thermischem Energieverbrauch unterschieden und die ausgestoßenen CO₂-Emissionen, entstehend aus den Energieträgermischungen, berücksichtigt.

Im Folgenden werden vor allem die Kennzahlen Energiebedarf pro beschichteter Oberfläche (kWh/m²), Gesamt-CO₂-Emissionen eines Unternehmens (tCO₂) sowie CO₂-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch (kg CO₂/ kWh) für ausgewählte Unternehmen dargestellt und bewertet.

Am Benchmark haben insgesamt 16 Unternehmensstandorte mit verschiedenen Einzelschichten und Linien teilgenommen. Nicht alle Teilnehmenden haben den Fragebogen vollständig ausgefüllt. Bei vielen Unternehmen war eine exakte Aufschlüsselung der Daten, wie sie für die Bestimmung der Kennzahlen notwendig wäre, nicht vollumfänglich möglich. Aufgrund der hohen Heterogenität und der relativ geringen Anzahl an Standorten konnten nur zwei Verfahren verglichen werden, bei welchen Zink sowie Kupfer-Nickel-Chrom für die Kunststoffbeschichtung verwendet werden. Um die Anonymität der Teilnehmenden zu gewährleisten, werden statt der Unternehmensnamen Obstsorten verwendet.

Bild 1 gibt die Kennzahl „Energiebedarfe in Kilowattstunden pro beschichteter Oberfläche“ auf Unternehmensebene für jene Unternehmen an, die entsprechende Daten zur Verfügung gestellt haben (9 von 16).

Die Energiebedarfe sind jeweils in elektrischen und thermischen Energieverbrauch aufgeteilt. Bei den Unternehmen Apfel, Aprikose, Banane, Pfirsich sowie Traube geht es um Kunststoffgalvanik. Beim Unternehmen Birne handelt es sich um Gleichstrom-Schwefelsäure-Anodisation, bei Ananas um Zink sowie Nickel, bei Blaubeere um Zink und bei Dattel um die Kombinationsschicht Kupfer-Nickel-Chrom. Auffällig ist, dass bei den Kunststoffgalvaniken der Anteil des elektrischen Energieverbrauchs am Gesamtenergieverbrauch höher ist als bei den Zink- und Kupfer-Nickel-Chrom-Verfahren. Bei der Betrachtung auf Unternehmensebene ist in diesem Bilanzrahmen aber nicht klar, welche weiteren elektrischen Verbraucher mit in den Verbrauch einfließen. Dies kann erst bei einer Betrachtung auf Linien- oder Prozessebene schlüssig interpretiert werden. Über den gesamten Benchmark beträgt der durchschnittliche Energiebedarf ungefähr 24 kWh pro Quadratmeter.

Die unterschiedlichen Verhältnisse von thermischem und elektrischem Energiebedarf entstehen durch die Heterogenität der Verfahren. Jedes Beschichtungsverfahren erfordert eine Abfolge von Vorbehandlungs-, Beschichtungs- und Nachbehandlungsprozessen einschließlich Spülstufen. Für die einzelnen Schritte sind je nach Verfahren spezifische Temperaturen notwendig, wodurch sich die Unterschiede beim thermischen Energiebedarf erklären lassen. Daraus erklärt sich der verhältnismäßig höhere thermische Energiebedarf der Unternehmen Ananas und Blaubeere, bei denen es sich um chemisches Vernickeln und Verzinken handelt. Im Gegensatz zum Verzinken erfolgt die chemische Vernicklung nicht bei Raumtemperatur, sondern bei Prozesstemperaturen von 85 bis 95 °C. Wer ausschließlich Zinkverfahren anwendet, weist einen geringen Energieverbrauch auf, wie es beim Unternehmen Blaubeere deutlich wird.

In **Bild 2** sind die CO₂-Emissionen in Tonnen für mehrere Unternehmen dargestellt.

Die jeweils linke Säule berücksichtigt dabei den Bezug von Ökostrom, die rechte Säule stellt die Emissionen ohne Berücksichtigung von Ökostrom mit dem deutschen Strommix dar.

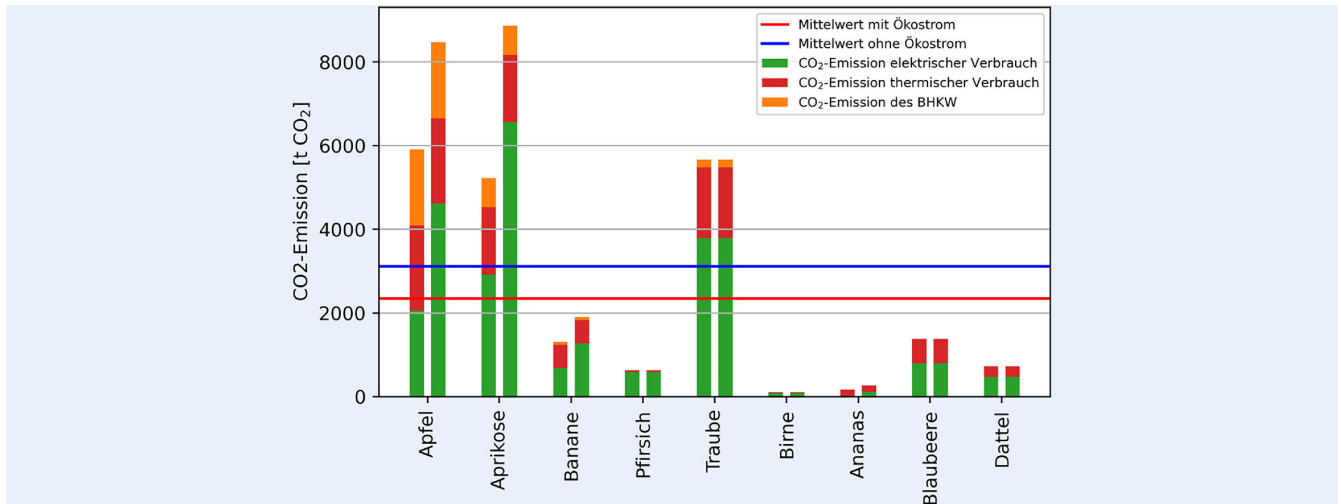


Bild 2. CO₂-Emissionen im Benchmark auf Unternehmensebene. Grafik: Fraunhofer IPA

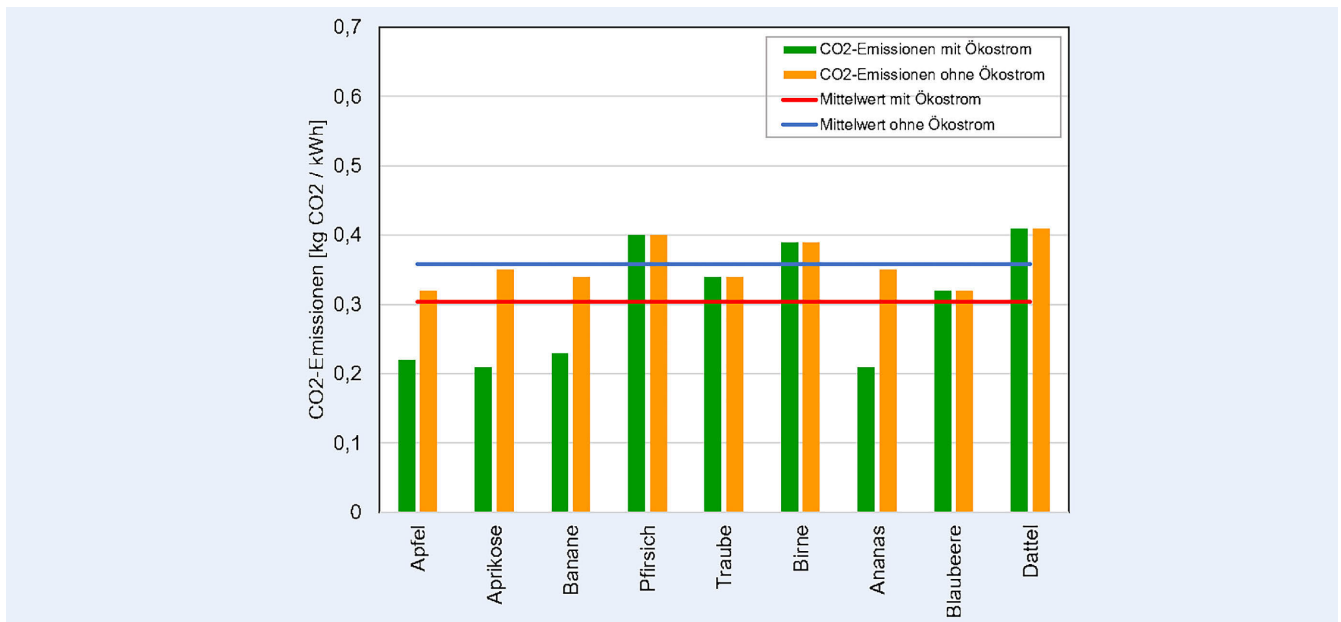


Bild 3. CO₂-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch verschiedener Unternehmen. Grafik: Fraunhofer IPA

Dementsprechend sind die CO₂-Emissionen mit dem deutschen Strommix im Mittel höher als die mit Ökostrom. Die Emissionen werden weiter in Emissionen durch elektrischen und thermischen Verbrauch sowie durch Nutzung eines Blockheizkraftwerks (BHKW) unterteilt. Auffällig ist, dass Unternehmen mit geringen Energieverbräuchen keinen Ökostrom beziehen und sich die beiden Säulen entsprechend nicht unterscheiden. Überdurchschnittlich hohe Emissionen sind aufsteigend bei den Unternehmen Traube, Apfel und Aprikose zu erkennen. Dies ist zum Teil auf den höheren Energieverbrauch schon auf Unternehmensebene zurückzuführen (Bild 1). Die beiden Unternehmen Apfel und Aprikose weisen in Bild 1 einen mittleren Energieverbrauch pro beschichteter Fläche auf. Aus Bild 2 geht hervor, dass der elektrische Energieverbrauch mit mehr Emissionen behaftet ist, wenn statt des Ökostrommixes der deutsche Strommix berücksichtigt wird. Die entstehenden Emissionen durch den thermischen Verbrauch sowie die Nutzung des BHKWs bleiben entsprechend identisch. Die unterschiedlich hohen Emissionen können groß-

teils auf die unterschiedlichen Produktionsmengen und -verfahren zurückgeführt werden. In Bild 3 sind zum Vergleich die Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch dargestellt.

Bild 3 bildet die Emissionen bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch für die verschiedenen Unternehmen ab. Wie in Bild 2 entspricht die jeweils linke Säule den Emissionen mit Ökostrom. In der rechten Säule wird der deutsche Strommix berücksichtigt. Bei Unternehmen, die keinen Ökostrom beziehen, sind die Säulen identisch. Über die verschiedenen Verfahren hinweg wird deutlich, dass die Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch trotz der Heterogenität der Verfahren ähnlicher sind als die Absolutwerte in Bild 2.

Die Unternehmen Aprikose und Apfel beziehen zu 60 % Ökostrom und betreiben ein BHKW, weshalb ihre Emissionen unter dem Mittelwert liegen. Das Unternehmen Traube betreibt ebenso ein BHKW und hat einen höheren CO₂-Ausstoß pro Energieverbrauch, jedoch liegt der Anteil des Energieverbrauchs aus Kraft-Wärme-Kopplung bei lediglich 5 %. Die anderen Unternehmen

oberhalb des Mittelwerts beziehen weder Ökostrom, noch betreiben sie ein BHKW. Der Betrieb eines BHKWs ist gerade für energieintensive Verfahren finanziell sinnvoll, da eine Reduzierung der Leistungsbezugsspitzen durch ein Spitzenlastmanagement als Option mit enthalten ist [15]. Weiterhin ergab der Benchmark, dass Unternehmen mit BHKW tendenziell einen geringeren CO₂-Ausstoß pro Kilowattstunde haben.

Trotz der Heterogenität der Verfahren konnte ein Vergleich für einzelne Linien und Kombinationsschichten durchgeführt werden. Hier zeigen sich Unternehmen, die Energieeffizienzmaßnahmen wie Vermeidung von Abwärmeverlusten durch eine Abschirmung der warmen Prozessbäder durchführen, im Vorteil. Insgesamt führen rund die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen Energieeffizienzmaßnahmen durch. Bei einem Unternehmen konnte beispielsweise durch den Vergleich einer alten und neuen Anlage festgestellt werden, dass der Energieverbrauch trotz identischer Verfahren und Auslastung deutlich gesunken ist. Auch der Vergleich der Benchmarkergebnisse mit Literaturdaten zeigt, dass der Energiebedarf pro beschichteter Fläche im Benchmark niedriger ist. Um den Mehrwert einzelner Effizienzmaßnahmen beurteilen zu können, wäre eine größere Teilnehmerzahl notwendig.

Liegen die im Benchmark geforderten Daten von mehreren Unternehmen vor, können Rückschlüsse auf die Energie- und Ressourceneffizienz geschlossen werden. Die verwendeten Kennzahlen sind demnach für die Bewertung sinnvoll. Die Bestimmung der Kennzahlen weiterer Unternehmen ist aufgrund der nicht oder kaum vorhandenen Messinfrastruktur oft nicht möglich.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Benchmarking eröffnet die Möglichkeit, umgesetzte Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen zu bewerten und schafft einen Anreiz, in Effizienzmaßnahmen zu investieren, um konkurrenzfähig zu bleiben. Steigende Energiekosten erhöhen zusätzlich die Motivation für Energieeffizienzmaßnahmen.

Trotz der Heterogenität der Galvanobranche konnten verschiedene Linien und Kombinationsschichten im Benchmark des Projekts BenG miteinander verglichen werden. Eine konkrete Bewertung des Einflusses von Energieeffizienzmaßnahmen ist aufgrund der großen Heterogenität der Verfahren und der teilweise nicht vorhandenen Messinfrastruktur herausfordernd. Dennoch bietet das Benchmarking langfristig den Vorteil, eigene Optimierungsansätze validieren zu können, wenn der Benchmark jährlich unternehmensintern durchgeführt wird.

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)


FÖRDERHINWEIS


Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projekts „BenG – Benachmark in der Galvanotechnik“

Literatur

- [1] Die Bundesregierung: Generationenvertrag für das Klima. Klimaschutzgesetz 2021. Internet: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672. Zugriff am 10.01.2023
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Umweltbundesamt: Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren. Stand: 2021. Internet: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Industrie/treibhausgasemissionen-deutschland-nach-sektoren.html. Zugriff am 10.01.2023
- [3] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie. Stand: 2003. Internet: www.druckluft-effizient.de/downloads/dokumente/leitfaden_galvanik.pdf. Zugriff am 10.01.2023
- [4] Mattes, K.; Lerch, C.; Jäger, A.: Ressourceneffiziente Produktion jenseits technischer Lösungen. Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur „Modernisierung der Produktion“ Karlsruhe: Fraunhofer ISI 2015, S. 1–12
- [5] Seßler, B.: Materialverluste wirksam begrenzen. JOT Journal für Oberflächentechnik 52 (2012) 3, S. 66–67
- [6] Köse, E.; Sauer, A.; Thomas, B. et al.: Stromoptimierte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Galvanotechnikbranche. WOMAG (2019) 7–8, S. 2
- [7] Kölle, S.; Schwanzer, P.; Dierolf, C. et al.: Energieeffizienz in der Galvanotechnik. WOMAG (2019) 10, S. 1–5
- [8] Lausmann, G.; Unruh, J.: Die galvanische Verchromung. Bad Saulgau: Leuze-Verlag 2006
- [9] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Chance Flächenrecycling. Zukunft ohne Altlasten. Ratgeber für Kommunen und Investoren. Stand: 2008. Internet: www.wirtschaft-unterallgaeu.de/fileadmin/ua_wirtschaft/pdf/Ratgeber_zur_Altlastensanierung.pdf. Zugriff am 10.01.2023
- [10] Umweltbundesamt (Hrsg.): Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung: Merkblatt zu den besten verfügbaren Techniken für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen. Stand: 2005. Internet: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_galvanik_vv.pdf. Zugriff am 10.01.2023
- [11] DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Deutsche Fassung, Ausgabe Dezember 2018
- [12] Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP: Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie. Ausgewählte Auswertungsergebnisse 2. Halbjahr 2021. Internet: www.eep.uni-stuttgart.de/dokumente/EEI-Winter-2021_22/2021_II_Ausgewaehlte_Ergebnisse_Final.pdf. Zugriff am 10.01.2023
- [13] Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP: Energieeffizienz-Index Wintererhebung 2019/2020. Internet: www.eep.uni-stuttgart.de/institut/aktuelles/news/Energieeffizienz-Index-Wintererhebung-2019-20-Mehrheit-der-Unternehmen-strebt-Klimaneutralitaet-an/. Zugriff am 10.01.2023
- [14] Kulterer, K.: Energieeffizienz in Kältesystemen. Beraterinformationen klima:aktiv Programm energieeffiziente Betriebe. Stand: 2007. Internet: www.ztk.at/dl/Energieeffizienz_Kaeltesysteme_klima_aktiv.pdf. Zugriff am 10.01.2023
- [15] Köse, E.; Sauer, A.; Thomas, B. et al.: Stromoptimierte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der Galvanotechnikbranche. wt Werkstattstechnik online 108 (2018) 7/8, S. 561–566. Internet: www.werkstattstechnik.de. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag



Verena Lampret , M. Sc.
Foto: Fraunhofer IPA

Dr.-Ing. **Stefan Kölle** 

Dr.-Ing. **Ekrem Köse**

Prof. Dr.-Ing. **Alexander Sauer**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA sowie
Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP
der Universität Stuttgart
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
Tel. +49 711 / 970-1418
verena.lampret@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de