

Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) und
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF)
der Universität Stuttgart

BenG -Entwicklung einer Methodik und Aufbau eines Benchmarks zur vergleichbaren Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz von Galvanikbetrieben

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 35484/01-21/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr.-Ing. Ekrem Köse, Verena Lampret, M.Sc. (EEP)
Dr.-Ing. Stefan Kölle, Fabian Gröger, M.Sc. (IFF)

Oktober 2022

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	II
Zusammenfassung	III
1. Einleitung	1
2. Hauptteil.....	4
2.1. Arbeitsschritte.....	4
2.1.1. Bestandsaufnahme.....	4
2.1.2. Methodikerstellung.....	5
2.1.3. Aufbau des Benchmarks.....	14
2.1.4. Ergebnisse des Benchmarks.....	17
2.2. Diskussion der Ergebnisse	22
2.3. Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung	23
2.4. Verbreitung der Ergebnisse	26
3. Fazit.....	27
Literaturverzeichnis	28
Anhänge.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen zum Aufbau des Benchmarks in der Galvanotechnik	4
Abbildung 2: Übersicht des methodischen Vorgehens und Einordnung in die Schritte der DIN EN 16231 ..	6
Abbildung 3: Die abgeleiteten Benchmarking-Grenzen auf Basis der Betriebsstättenbilanzierung und die Art des angewendeten Benchmarkings (eigene Darstellung 2022 auf Basis von [11])	9
Abbildung 4: Der Top-Down-Ansatz zur Steigerung der Datengranularität im Fragebogen	13
Abbildung 5: Auszug aus dem qualitativen Abschnitt des Fragebogens.....	13
Abbildung 6: Energiebedarf bezogen auf die beschichtete Oberfläche auf Unternehmensebene.....	18
Abbildung 7: CO ₂ -Emissionen im Benchmark auf Unternehmensebene	19
Abbildung 8: CO ₂ -Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch verschiedener Unternehmen	20
Abbildung 9 Vergleich von Literaturdaten mit Daten des Benchmarks [19].....	21
Abbildung 10 Spezifische CO ₂ -Emissionen der analysierten Unternehmen.....	24
Abbildung 11 Vergleich verschiedener Zink-Linien hinsichtlich des spezifischen Energiebedarfs und Abgleich mit Literaturwerten	25

Zusammenfassung

Das interne und externe Benchmarking sind ein geeignetes Werkzeug, um Unternehmen miteinander zu vergleichen und so zu motivieren ihre Leistungsfähigkeit zu steigern. Dabei können verschiedene Aspekte miteinander verglichen werden, wie Produktivität, Umsatz, Absatzzahlen, aber auch die Energie- und Ressourceneffizienz. Insbesondere Galvanikbetrieben ist bislang oft nicht bekannt, wie hoch der durchschnittliche Energie- und Ressourcenverbrauch in der Branche ist und wie sie im Vergleich mit anderen Unternehmen dastehen, da der Energie- und Ressourceneinsatz stark vom Verfahren, Produkt, eingesetzten Technologien, uvm. abhängt.

Die Kosten für Energie und Material sind in der Galvanotechnik sehr hoch und ihr Anteil an den Gesamtkosten wird -zukünftig weiter steigen. Gleichzeitig sind die -Potenziale zur Reduzierung des Energie- und Ressourceneinsatzes groß und werden bisher kaum ausgeschöpft. Studien gehen hier von 10 bis 20 Prozent aus. Auf dem Weg zur Klimaneutralität ist die Ermittlung von Energie- und Ressourceneffizienzpotenzialen der erste wichtige Schritt. Dafür müssen die Galvanikbetriebe zunächst wissen, wie hoch ihr Energie- und Ressourcenverbrauch im Vergleich ist und welche Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz besonders geeignet sind.

Im Projekt „Benchmark Galvanotechnik“ (BenG) wurde ein Energie- und Ressourceneffizienz Benchmark für die Galvanikbranche methodisch entwickelt und aufgebaut. Mit vielen Unternehmen aus unterschiedlichen Verfahrensklassen und Unternehmensgrößen wurden die Energieverbräuche und der Ressourceneinsatz sowohl auf Unternehmens-, als auch zum Teil auf Linienebene ermittelt, aufbereitet und ein quantifizierbarer Vergleich realisiert. In relevanten und aussagekräftigen Kennzahlen konnten die teilnehmenden Unternehmen aus der Galvanobranche miteinander verglichen werden. Daraus konnten zum Teil Maßnahmen abgeleitet werden, wie Blockheizkraftwerke (BHKWs), Erneuerung von älteren Becken, PV-Anlagen, die nutzenbringend von einer Vielzahl von Unternehmen umgesetzt werden könnten, um die Energie- und Ressourceneffizienz zu erhöhen und zeitgleich den CO₂-Fußabdruck zu reduzieren.

Durch einen Bericht in der Zeitschrift Womag, durch Newsletter des Zentralverband Oberflächentechnik, und durch die Homepage des Fraunhofer IPA wurden ins Summe über 1.000 Galvanikbetriebe erreicht und auf die Teilnahme am Benchmark und den damit verbundenen Fragebogen aufmerksam gemacht. Den Fragebogen haben schlussendlich 17 Standorte ausgefüllt. Bei der Erhebung des Benchmarks wurde darauf geachtet den Fragebogen so nutzerfreundlich und prägnant und nichtsdestotrotz die Abfragen so detailreich wie möglich zu gestalten. Jedoch konnten viele Unternehmen aufgrund des weiterhin hohen Detaillierungsgrads und des fehlenden Messequipments den Fragenbogen nicht oder nur teilweise ausfüllen.

Der Benchmark sollte gestaltet werden, um die Aussagekraft für weitere Verfahren zu erhöhen. In einigen Verfahrensklassen haben lediglich ein bis zwei Unternehmen teilgenommen. Im Falle einer breiten Teilnahmen weiterer Unternehmen, könnte der Handlungsdruck von Unternehmen, die im beim Benchmark im Vergleich zu anderen Unternehmen einen vergleichsweise hohen Verbrauch aufweisen, erhöht werden zukünftig ebenfalls Effizienzmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Dazu wird empfohlen den Fragebogen und die Abfrage zu digitalisieren und die Auswertung zu automatisieren. Zudem sollte die Datengrundlage auf Linienebene verfeinert und ebenso erhöht werden. Insbesondere auf Linienebene können die meisten Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz abgeleitet werden. Hierzu sind unter Umständen begleitende und geförderte Messkampagnen notwendig, um Aufwand und Ertrag für Unternehmen im Rahmen zu halten.

Dieses Projekt wurde von den beiden Instituten der Universität Stuttgart für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) und Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) in Kooperation mit dem Fraunhofer

Institut für Automatisierung und Produktionstechnik (IPA) bearbeitet. Unterstützt wurden sie durch die assoziierten Partner aus der Galvanobranche Rieger Metallveredlung GmbH & Co.KG und LKS Kronenberger GmbH.

1. Einleitung

Die Energie- und Ressourceneffizienz ist ein Gütekriterium und beschreibt, wie rationell ein Prozess mit der eingesetzten Energie, bzw. Ressource umgeht. Der effiziente Umgang ist notwendig, um Verluste beim Energie- und Ressourceneinsatz sowie bei der Eigenerzeugung zu vermindern. Energie- und Ressourceneffizienz wird daher an verschiedenen Punkten gemessen und sollte über den gesamten Wertstrom hinweg betrachtet werden. Auch die Europäische Union will einen rationellen und nachhaltigen Umgang mit Energie. Hierzu hat sie im Juni 2018 die Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 %, die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch um 30% und die Verbesserung der Energieeffizienz um 32,5 % festgeschrieben. Langfristig – also bis zum Jahre 2050 – bedeuten diese Ziele eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 80-95 %. [1]

Laut einer Erhebung des Stuttgarter Instituts für Energieeffizienz in der Produktion EEP hat für 60 % der Galvanikunternehmen die Energieeffizienz daher auch eine verhältnismäßig große Bedeutung [2]. Jedoch gibt es in der Branche relativ wenig Aktivitäten Energieeffizienzmaßnahmen auch umzusetzen. Dies lässt sich auf die folgenden Faktoren zurückführen:

Grundsätzlich betreiben zum aktuellen Zeitpunkt wenige Unternehmen eine konsequente Erfassung von Energieverbrauchsdaten, die über die Sammlung der vom Energieversorger bereitgestellten Daten hinausgeht. Auch die Ermittlung der eingesetzten Ressourcen, wie Wasser, Material, etc. wird selten auf Prozessebene erfasst und stellt lediglich die Bezugsmenge dar. Daraus ergibt sich die Situation, dass Energie- und Ressourceneffizienzpotentiale nur schwer zu ermitteln sind [3]. Die Unternehmen können damit nur mit großem weiteren Aufwand oder gar nicht bewerten, wie effizient sie mit Energie und den eingesetzten Ressourcen umgehen. Zu den fehlenden eigenen Verbrauchsdaten kommt die inhomogene Struktur der Branche hinzu. Ein Vergleich mit anderen Branchenteilnehmern zur Einordnung des eigenen Energie- und Ressourceneinsatzes gestaltet sich daher schwierig. Darüber hinaus fehlt in vielen Unternehmen das Wissen über geeignete Effizienzmaßnahmen und deren positive Effekte [4].

Bereits etablierte Benchmarks für spezielle Branchen, wie dem Benchmark für den Werkzeug- und Formenbau – ebenfalls eine sehr inhomogene Branche – der RWTH Aachen, zeigen, dass durch den Aufbau eines solchen Benchmarks, alle teilnehmenden Betriebe profitieren können. Auf Grundlage der Benchmark-Analyse können Unternehmen der Werkzeug- und Formbaubranche bei der Vorgehensweise zur Erreichung ihrer Zeit-, Kosten- und Qualitätsziele unterstützt werden [5]. Allerdings werden hier weder Energie noch Ressourcen explizit betrachtet, weswegen dieser Benchmark maximal als Anhaltspunkt für das geplante Vorhaben gesehen werden kann.

Es gibt eine Energieeffizienz-Benchmark Datenbank, diese zeigt allerdings nur den Durchschnitt von 947 Unternehmen in der Branche der Oberflächenveredelung, worin ebenfalls Lackieren, Brünieren, etc. hinzugezählt wird. Die dargelegten Kennzahlen sind zu grob (bspw. Energieverbrauch pro Mitarbeitenden, oder pro 1.000 € Umsatz), um die tatsächlichen Potenziale identifizieren zu können [6].

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass eine breite Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Galvanotechnik durch mangelndes Wissen zum eigenen Energieverbrauch und zu vorhandenen Effizienztechnologien gehemmt wird. Durch eine fehlende Vergleichbarkeit mit Branchenteilnehmern entsteht keine Motivationssituation, besonders erfolgreiche Unternehmen nachzuahmen.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Methodik zur Durchführung eines Benchmarks zur Energie- und Ressourceneffizienz speziell in der Galvanotechnik sowie dessen Erprobung an insgesamt zwölf Unternehmen.

Die Galvanotechnik ist durch eine stark heterogene Struktur charakterisiert, die sich in einer Vielzahl verschiedener Schichtsysteme (Kupfer, Nickel, Chrom, Zink, etc.), einem breiten Teilespektrum vom mm-Bereich bis zu Teilen von 10 m und abweichender Anlagentechnik (Trommelbeschichtung, Gestellbeschichtung, etc.) äußert. Die besondere Herausforderung bei der zu entwickelnden Methodik ist eine Vergleichbarkeit der spezifischen Energie- und Ressourcenverbräuche einzelner Unternehmen zu erreichen. Durch eine geeignete Clusterung muss gewährleistet werden, dass die Verfahren untereinander vergleichbar sind und energieintensive Verfahren nicht schlechter bewertet werden als weniger energieintensive. Die Kennzahlen sind so zu wählen, dass auch die Gruppen miteinander vergleichbar sind. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen bei einem festen Teileportfolio einfacher ist, als bei ständigen wechselnden Teilen. Hinsichtlich des unternehmensspezifischen Ressourceneinsatzes müssen vor allem die eingesetzten Verfahren berücksichtigt werden, da hier teilweise große Unterschiede beim Chemikalieneinsatz oder der Abwasserbehandlung bestehen.

Durch den Einsatz geeigneter Kennzahlen und der Clusterung sollte gewährleistet werden, dass sich alle Unternehmen, die an dem Benchmark teilnehmen wollen, unabhängig von eingesetzten Verfahren oder Anlagensituation quantitativ miteinander vergleichen können. Weiterhin ist jedoch auch ein direkter Vergleich von Unternehmen mit gleichen Verfahren oder Teilespektren möglich. Durch die Identifikation von Klassenbesten und Darlegung entsprechender Verbesserungsmaßnahmen, sollte eine besonders effektive Anreizsituation geschaffen werden.

Die Grundlage für einen solchen Benchmark wurde im Rahmen dieses Vorhabens durch die Entwicklung der Methodik, einer vorgesehenen ersten Datensammlung mit zwölf Unternehmen und einer abschließenden Validierung der entwickelten Kennzahlen geschaffen. Aufgrund der COVID-Pandemie konnte eine eigenständige Datenerhebung durch Messungen vor Ort nicht durchgeführt werden, sodass hier auf bereits installierte Messgeräte von den teilnehmenden Unternehmen zurückgegriffen werden musste. Mit Hilfe dieses Forschungsvorhabens sollte eine möglichst attraktive Ausgangsbasis für die Branche geschaffen werden, an einem solchen Benchmark teilzunehmen. Die teilnehmenden Unternehmen erhielten zum einen eine Einordnung ihres Umgangs mit Energie- und Ressourcen im Vergleich zu Mitbewerbern, zum anderen können gleichzeitig Handlungsfelder im Bereich Ressourcen- und Materialeffizienz sowie Energieeffizienz identifiziert werden. Eine quantitativ messbare Abweichung zu einem Mitbewerber schafft eine größere Handlungsmotivation als das bloße Wissen, dass der Mitbewerber in Effizienztechnologien investiert hat. Dies zeigt die Erfahrung aus vergleichbaren Benchmarks anderer Branchen [7].

Im Kern wurde die Methodik und der Benchmark vom EEP und dem IFF entwickelt und durchgeführt. Durch die enge Partnerschaft zum Fraunhofer IPA konnten die beiden Antragsteller auf Basis einer dauerhaften Kooperationsvereinbarung auf dessen Infrastruktur zurückgreifen. Dies beinhaltete insbesondere den Zugriff auf das Netzwerk und die Branchenkenntnisse.

Von Beginn an waren in das Projekt mit den Firmen LKS Kronenberger GmbH und Rieger Metallveredelung GmbH & Co. KG zwei KMU aus dem Bereich der Lohnbeschichtung als assoziierte Partner in das Forschungsvorhaben eingebunden. Die beiden Unternehmen wurden ausgewählt, weil sie durch ihren Verfahrensmix einen breiten Querschnitt der Branche darstellen können. Dies ist wichtig, um möglichst frühzeitig im Projekt die Unterschiede und Besonderheiten hinsichtlich der einzelnen galvanischen Beschichtungsverfahren herausarbeiten zu können. Die entwickelte Methodik wurde in enger Zusammenarbeit mit diesen beiden Unternehmen aufgebaut, die sich durch Mitarbeit in Workshops, zur Ausgabe von Daten und dem Ausfüllen von Fragebögen in das Forschungsvorhaben einbringen konnten.

Nach erfolgreicher Entwicklung der Methodik und der Kennzahlen sowie der ersten Durchführung des Benchmarks bei den beiden assoziierten Partnern, wurde der Benchmark auf 17 weitere Standorte/Unternehmen ausgeweitet, um eine verbesserte Datengrundlage aufzubauen und die Methodik weiter verbessern zu können. Diese Firmen wurden über das Branchennetzwerk des Fraunhofer IPA und des Zentralverbands akquiriert.

2. Hauptteil

In diesem Kapitel werden die Arbeitsschritte im Detail erläutert, die erzielten Ergebnisse kritisch reflektiert, eine Bewertung aus ökonomischer, technischer und ökologischer Perspektive durchgeführt und die Verbreitung der Ergebnisse dargelegt.

2.1. Arbeitsschritte

Aus der Projektstruktur ergibt sich ein dreistufiges Lösungskonzept, das in Abbildung 1 dargestellt ist und in das die Unternehmen schrittweise integriert werden.



Abbildung 1: Phasen zum Aufbau des Benchmarks in der Galvanotechnik

Im den folgenden Abschnitten wird das Lösungskonzept näher erläutert.

2.1.1. Bestandsaufnahme

Die Erstellung einer soliden Datengrundlage ist beim Aufbau eines Benchmarks besonders wichtig. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit müssen die Unternehmen auf die gleichen, bzw. auf vergleichbare Datenstammsätze zurückgreifen. Da allerdings die vorhandenen Datengrundlagen – durch installierte Messsysteme, integrierte PPS-Systeme, oder ähnliche Produktionsplanungssysteme – bei den KMU unterschiedlich stark ausgeprägt sein, wurde diese erste Phase dazu genutzt werden, um die vorhandenen Systeme und Informationsquellen, wie Lastgänge, Messgeräte, Energierechnungen, Inventarlisten, Gleichzeitigkeitsfaktoren, Hauptenergieverbraucher in der Galvanotechnik, PPS-Systeme, etc., in Galvanikbetrieben zu bestimmen.

Dies wurde erreicht, indem auf das Know-how der beiden Projektpartner (EEP und IFF) zurückgegriffen wurde, aber auch durch eigenständig durchgeführte Recherchen. Darüber hinaus wurden die beiden assoziierten Partner aus der Galvanikbranche eingebunden. Durch mehrere gemeinsame Workshops und einzelnen Experteninterviews mit den beiden KMUs aus der Galvanikbranche wurden die vorhandenen Informationsquellen und geläufigen Datenverarbeitungssystemen in der KMU-Landschaft diskutiert.

Neben den galvanotechnisch-spezifischen Fragestellungen wurden durch Recherchen auch Informationen zu

- Energie- und Ressourcenmanagement,
- Kennzahlen zu Bestimmung der Energie- und Ressourceneffizienz,
- Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Galvanik und
- Benchmarking-Methoden und deren Umsetzung in der Produktion gesammelt.

Es wurde festgestellt, dass die wenigen bisher verfügbaren Benchmarking-Tools von KMU kaum genutzt werden. Der Misserfolg des multinationalen Bess-Projekts belegt, dass eine ausschließliche Betrachtung der Gesamtbetriebsebene für ein Benchmarking nicht ausreichend ist [8]. Stattdessen muss ein Benchmarking-Tool die Prozessebenen eines Betriebs berücksichtigen, aber dennoch für die KMU leicht anwendbar und verständlich sein. Die große Mehrheit der untersuchten Online-Tools berücksichtigt jedoch ausschließlich gesamtbetriebliche Kenngrößen wie der Anzahl an Mitarbeitenden. Auch die teils geringe Menge der verfügbaren Vergleichsdaten verhindert eine verwertbare Interpretation der Ergebnisse. Dies macht aussagekräftige Benchmarks in der heterogenen Galvanoindustrie nahezu unmöglich. Zwar berücksichtigt beispielsweise das Swerea-Tool [9] auch die Prozessebenen der Galvanikbetriebe, jedoch findet auch dort die notwendige Differenzierung zwischen den verschiedenen Galvanikverfahren mit ihren unterschiedlichen Energie- und Ressourcenverbräuchen nicht statt. In den Methodiken der Kenngrößenermittlung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz und des Fraunhofer IML wurden jeweils die Besonderheiten und Notwendigkeiten des Benchmarkings von Galvanikbetrieben teilweise berücksichtigt, die dort angewendeten Methoden jedoch nicht in ein für die Unternehmen nutzbares Tool implementiert.

Die Auswertung des aktuellen Stands der Technik ergab, dass momentan kein Benchmarking-Tool verfügbar ist, welches die spezifischen Anforderungen für das Benchmarking von Galvanikbetrieben vollumfänglich abbildet. Obwohl sich das Benchmarking als eines der zentralen Instrumente zur Potenzialausschöpfung dieser veränderten Rahmenbedingungen herausstellt, wird und kann dieses von Galvanikbetrieben momentan noch nicht angewendet werden. Somit kann ein dringender Bedarf für ein Benchmarking-Tool identifiziert werden, mit dem sich Galvanikbetriebe anonym und leicht miteinander vergleichen und ebendiese Potenziale mit aussagekräftigen Kennzahlen offenlegen können.

2.1.2. Methodikerstellung

Wie in der Einleitung erläutert, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine Methodik entwickelt, mit der auf Basis geeigneter Kennzahlen ein systematischer und anonymer Vergleich von Unternehmen der Galvanoindustrie bezüglich ihres Energie- und Ressourcenverbrauchs erfolgen kann. Insbesondere die Heterogenität der Galvanikbranche wurde bei der Methodik berücksichtigt, da galvanische Verfahren, wie beschrieben, sehr unterschiedliche Energieverbräuchen aufweisen. Dies hat einen großen Einfluss auf die Vergleichbarkeit. Um die Praxistauglichkeit der Methodik sicherzustellen, erfolgte deren Gestaltung nach KMU- und galvanikspezifischen Anforderungen. Zur Gewährleistung der Plausibilität der entwickelten Methodik wurde diese zudem nach den Anforderungen der DIN EN 16231 modelliert [10]. Damit soll die zu entwickelnde Methodik den Anwendern in der Galvanoindustrie ein normkonformes Benchmarking ermöglichen. Abbildung 2 gibt einen Überblick über das methodische Vorgehen innerhalb der Benchmarkentwicklung und dessen Einordnung in das Vorgehensmodell der DIN EN 16231. Die in diesem Abschnitt beschriebene Entwicklung des Benchmarks ist nach DIN EN 16231 in den Schritt Zielsetzung und Planung sowie teilweise in den Folgeschritt Datenerhebung & Verifizierung der DIN EN 16231 einzuordnen.

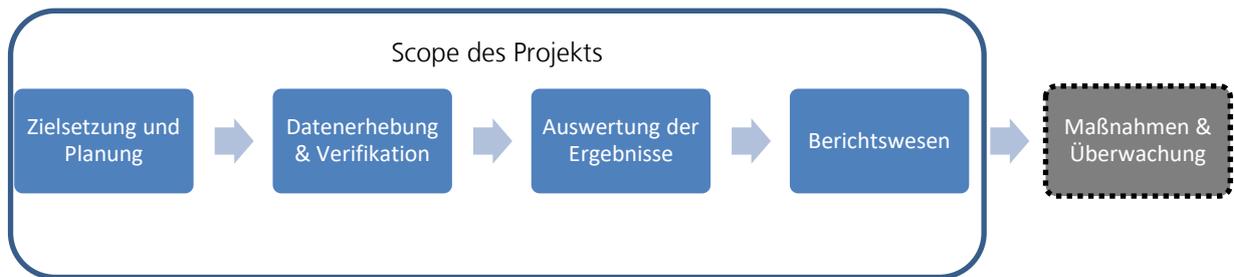


Abbildung 2: Übersicht des methodischen Vorgehens und Einordnung in die Schritte der DIN EN 16231

In Vorbereitung der Methodikentwicklung wurde die Marktsituation und Struktur der Galvanoindustrie sowie den Hauptenergieverbrauchern in der Galvanotechnik durchgeführt. Zudem wurden in der Literatur Methoden zur Gestaltung und Durchführung von Benchmarks in der Galvanoindustrie und KMU- sowie galvanospezifische Probleme bei der Durchführung von Benchmarkings identifiziert. Zudem fand ein Literaturscreening zu aktuell verfügbaren Benchmarking-Tools für die verarbeitende Industrie statt. Dabei wurden die in den Tools genutzten Effizienzkennzahlen erläutert. Im letzten Schritt der Literatursichtung wurden weitere in der Fachliteratur empfohlene Kennzahlen, die nicht in aktuellen Tools verwendet werden, identifiziert.

Im Rahmen der Literaturstudien wurde festgestellt, dass keines der betrachteten und aktuell verfügbaren Tools für ein aussagekräftiges Benchmarking in der Galvanoindustrie geeignet ist. Als Ursache wurden dabei unter anderem ungeeignete Kennzahlen und die fehlende Akzeptanz durch die Betriebe identifiziert. Auch ambitionierte, multinationale Tools wie das BESS-Tool der Europäischen Kommission scheiterten so an ihrer Praxisuntauglichkeit. [8]

Es wurden Anforderungen an die Benchmarking-Methodik sowohl durch die DIN EN 16231 als auch für KMU im Allgemeinen und für Galvanikbetriebe im Speziellen definiert, die aus der ausgewerteten Literatur abgeleitet wurden. Anhand dieses Anforderungskatalogs wurde die Methodik schrittweise entwickelt, um den vorhandenen Mangel bisheriger Benchmarks hinsichtlich einer Eignung für die Galvanotechnik gerecht zu werden. Im Folgenden werden die Anforderungen näher beschrieben.

Allgemeine Anforderungen an eine Benchmarking-Methodik für KMU

KMU verfügen meist nicht über ausreichende personelle Kapazitäten, um umfangreiche Effizienzinstrumente und -maßnahmen, zu denen auch Benchmarkings gehören, in ihren Betrieben zu implementieren. Aus diesem Grund benötigen KMU meist in ihrer Anwendung und Auswertung vereinfachte und leicht anwendbare Benchmarking-Methodiken. Eine Möglichkeit zu einer solchen Vereinfachung ist es, den Aufwand zur Bearbeitung und Dokumentation zu reduzieren. Da dieser maßgeblich mit dem Umfang des Benchmark-Fragebogens korreliert, wurde ein möglichst geringer Umfang des Fragebogens als allgemeine KMU-Anforderung berücksichtigt. Weiterhin wurde die leichte Verständlichkeit der Aussagen des Benchmarkings als notwendig identifiziert. Diese wird neben den genutzten Kennzahlen maßgeblich von der Darstellungsweise der ermittelten Ergebnisse beeinflusst. Somit wurde die leichte Verständlichkeit der Ergebnisdarstellung in den Anforderungskatalog aufgenommen.

Spezifische Anforderungen an eine Benchmarking-Methodik für die Galvanoindustrie

Die Definition der Benchmarking-Grenzen spielt bei der Betrachtung von Galvanikbetrieben eine besondere Rolle. Eine rein vergleichende Betrachtung des gesamten Galvanikbetriebs ist aufgrund der unterschiedlichen Strukturen der Betriebe sowie der verschiedenen Energiebedarfe der Verfahren nur eingeschränkt möglich. Stattdessen muss eine Vergleichbarkeit durch geeignete Betrachtungsgrenzen erreicht werden. Auch das Konzept zur Betriebsstättenbilanzierung von Galvanikbetrieben empfiehlt eine an die technologischen Besonderheiten der Galvanikbetriebe angepasste Betrachtung zur Erhöhung der Vergleichbarkeit. Daher wurde diese Heterogenität bei der Definition der Benchmarking-Grenzen im Anforderungskatalog berücksichtigt [11].

Die Auswertung der Literatur und der verfügbaren Benchmarkingtools ergab, dass die Mehrheit dieser Tools für die Galvanobranche unzureichend geeignete Kennzahlen nutzt. Das Benchmarking von Galvanikbetrieben bedingt den Einsatz spezifischer, abgestimmter Kennzahlen. Daher wurde die Erstellung eines Katalogs mit für die Galvanoindustrie geeigneten Kennzahlen als Anforderung aufgenommen.

Grundsätzlich wäre die beschichtete Oberfläche die geeignetste Bezugsgröße für ein Benchmarking in der Galvanoindustrie. Jedoch ergab sich aus verschiedenen Gesprächen, dass die Betriebe häufig nicht über diese Information verfügen oder nur schätzen können. Um die bereits genannte einfache Nutzung der Methodik zu ermöglichen, wurde für den zu entwickelnden Fragebogen die Anforderung einer Berechnungshilfe für besagte Größe berücksichtigt. Im Folgenden sind nochmals die wichtigsten Anforderungen stichpunktartig aufgelistet:

- Definition der Benchmark-Grenzen
- Erstellung eines galvanospezifischen Kennzahlenkatalogs
- Erstellung eines nutzerfreundlichen Fragebogens

Definition der Benchmarking-Grenzen

Die Definition der Benchmarking-Grenzen beeinflusst in hohem Maße die Qualität und Aussagekraft der ermittelten Kennzahlen. Die Zielsetzung des Projektes war unter anderem eine Methodik zu entwickeln, mit der sich Betriebe der Galvanoindustrie miteinander vergleichen können. Da für ein solches, externes Benchmarking eine ausreichend große Datenbasis erforderlich ist, die insbesondere zu Beginn eines solchen Projekts aufgrund der begrenzten Teilnehmerzahl nicht garantiert werden konnte, wurde die Methodik so konzeptioniert, dass sie auch für ein internes Benchmarking geeignet ist. Ein betriebsinternes Monitoring ermöglicht durch eine regelmäßige Datenerhebung Verbesserungen durch den Vergleich mit den eigenen Vergangenheitsdaten. Dabei wurde der Plan-Do-Check-Act-Zyklus der ISO 50001 berücksichtigt, in dem in der Planungsphase eine energetische Ausgangsbasis sowie Energieleistungskennzahlen definiert werden, um durch wiederholte Messungen die Entwicklung der Energieeffizienz im zeitlichen Verlauf darstellen zu können [12]. So soll die Funktion des Benchmarkings als Motivations- und Informationswerkzeug stets gewährleistet werden. Im Rahmen des Projektes wurden in Anlehnung an das Modell zur Betriebsstättenbilanzierung von Galvanikbetrieben mehrere Betrachtungsgrenzen definiert, um ein Benchmarking auf verschiedenen Detaillierungsstufen zu ermöglichen. Gemäß dem genannten Modell gilt das Benchmarking auf der übergeordneten Betriebsebene als stets zu erfüllendes Minimalziel. [11]

Die oberste Betrachtungsgrenze umfasst daher den Gesamtbetrieb. Während bei der Lohngalvanik damit tatsächlich der Gesamtbetrieb gemeint ist, wird bei Inhouse-Galvaniken die entsprechende Gesamtheit der Galvanikabteilung innerhalb des übergeordneten Betriebs angesprochen. Leider zeigte sich bei den

Auswertungen, dass nicht alle Inhouse-Galvaniken energetisch vom Restbetrieb zu trennen sind und die Daten nicht ausschließlich der Galvanik zugeordnet werden konnten. Die reine Betrachtung der gesamtbetrieblichen Ebene mithilfe eines Top-Down-Ansatzes führt allerdings zu einer verringerten Aussagekraft der Vergleichsergebnisse. Zusätzlich wurde die Entwicklung der Methodik durch den unmittelbaren Vergleich zwischen den Betrieben aufgrund der Heterogenität der Galvanikbetriebe sowie der unterschiedlichen Energiebedarfe der eingesetzten Verfahren erschwert.

Zur Begegnung der genannten Problematiken erfolgte eine kombinierte Definition der Beobachtungsgrenzen des Benchmarkings. Neben dem Ansatz der klassischen Top-Down-Benchmarkings, bei denen Kennzahlen zuerst stets im Kontext des Gesamtbetriebs betrachtet werden, floss daher zudem das Interdependenz-Benchmarking von [13] in die Methodik ein. Hierfür wurden zudem im Rahmen des Projektes Benchmarking-Grenzen auf differenzierteren Ebenen gesetzt, innerhalb dieser Kennzahlen verschiedener Unternehmen gemäß dem Interdependenz-Benchmarking anhand gleicher Merkmalsausprägungen verglichen werden können.

Da die galvanischen Verfahren ausschlaggebend für die heterogenen Energieverbrauchsprofile der Betriebe sind, bieten sich ebendiese Verfahren als Merkmale eines Interdependenz-Benchmarkings an. Daher findet bei gleicher Merkmalsausprägung, also dem gleichen angewandten Verfahren, ein Vergleich der jeweiligen Kennzahlen statt. König empfiehlt ein Ziehen einzelner Benchmarking-Grenzen um die jeweiligen technologischen Verfahrenslinien, wie beispielsweise einer Eloxallinie. Aufgrund des stets ähnlichen technischen Aufbaus der Linien in den Betrieben ermöglicht dies so einen externen Vergleich [14]. Auch werden diese Linien und Anlagen in den Betrieben aus betriebswirtschaftlicher Sicht häufig als separate Kostenstellen geführt. Die Listung der Linien und Anlagen als separate Kostenstellen bekräftigt die Entscheidung zur Betrachtung der jeweiligen Linien in gesonderten Benchmarking-Grenzen. So kann es ermöglicht werden, etwaige bereits existierende Daten aus Betriebsabrechnungen oder sonstigen Berichten mit möglichst wenig Aufwand den jeweiligen Linien zuzuordnen. Dazu kann beispielsweise die jährlich bezogene Menge an Chromsäure zählen, deren Bezugskosten bilanziell einer, als eigenständige Kostenstelle geführten, Hartverchromungslinie zugeordnet wird.

Aufgrund der herausragenden Bedeutung der jeweiligen Verfahren für die Energie- und Ressourceneffizienz wurde zudem eine vertiefende, theoretisch ideale Betrachtung auf der Prozessebene eingeführt, in der die drei Prozesse Vorbehandlung, Hauptprozess sowie Nachbehandlung für jedes Verfahren über eigene Benchmarking-Grenzen verfügen. Diese Prozessschritte können, gemäß dem Interdependenz-Benchmarking, innerhalb ihrer Verfahren wiederum mit denen der Wettbewerber verglichen werden. So soll ein detaillierter Vergleich zwischen gleichartigen Verfahrenslinien ermöglicht werden

Das Fraunhofer ISI empfiehlt zudem das Benchmarking der Energieverbräuche relevanter Querschnittstechnologien [15]. Aus diesem Grund wurden für die Querschnittstechnologien Klimatisierung und Raumbeheizung, Antriebe, Belüftung und Ventilatoren, Trocknung, Beleuchtung sowie Druckluft eigene Betrachtungen berücksichtigt. Diese Querschnittstechnologien können im Gegensatz zu den Verfahrenslinien aufgrund des stets ähnlichen Aufbaus in ihrer Gesamtheit einfacher mit Wettbewerbern verglichen werden. Durch deren verfahrensübergreifenden Aufbau soll eine Betrachtung auf der klassischen, gesamtbetrieblichen Ebene erfolgen. Da das Spülen als Schritt zwischen den Aktivbädern den größten Anteil an den Prozessschritten der galvanischen Verfahrenskette bilden und der Wasserverbrauch somit die Ressourceneffizienz erheblich beeinflusst, wurden zusätzlich Benchmarking-Grenzen für die Abwasser- und Spültechnik eingeführt. Das Beispiel eines erfolgreichen Benchmarking-Projekts in französischen Galvanikanlagen, bei dem Spültechnologien verglichen wurden, zeigt die herausragende Bedeutung des Wasserverbrauchs als Indikator für die Ressourceneffizienz auf. [16] Unter Berücksichtigung dieses Stellenwerts wurde der Wasserverbrauch sowohl auf gesamtbetrieblicher Ebene als auch auf der

Verfahrensebene abgefragt. Abbildung 3 zeigt die Abgrenzung der verschiedenen Betrachtungsebenen und die Art des jeweils anzuwendenden Benchmarking-Ansatzes.

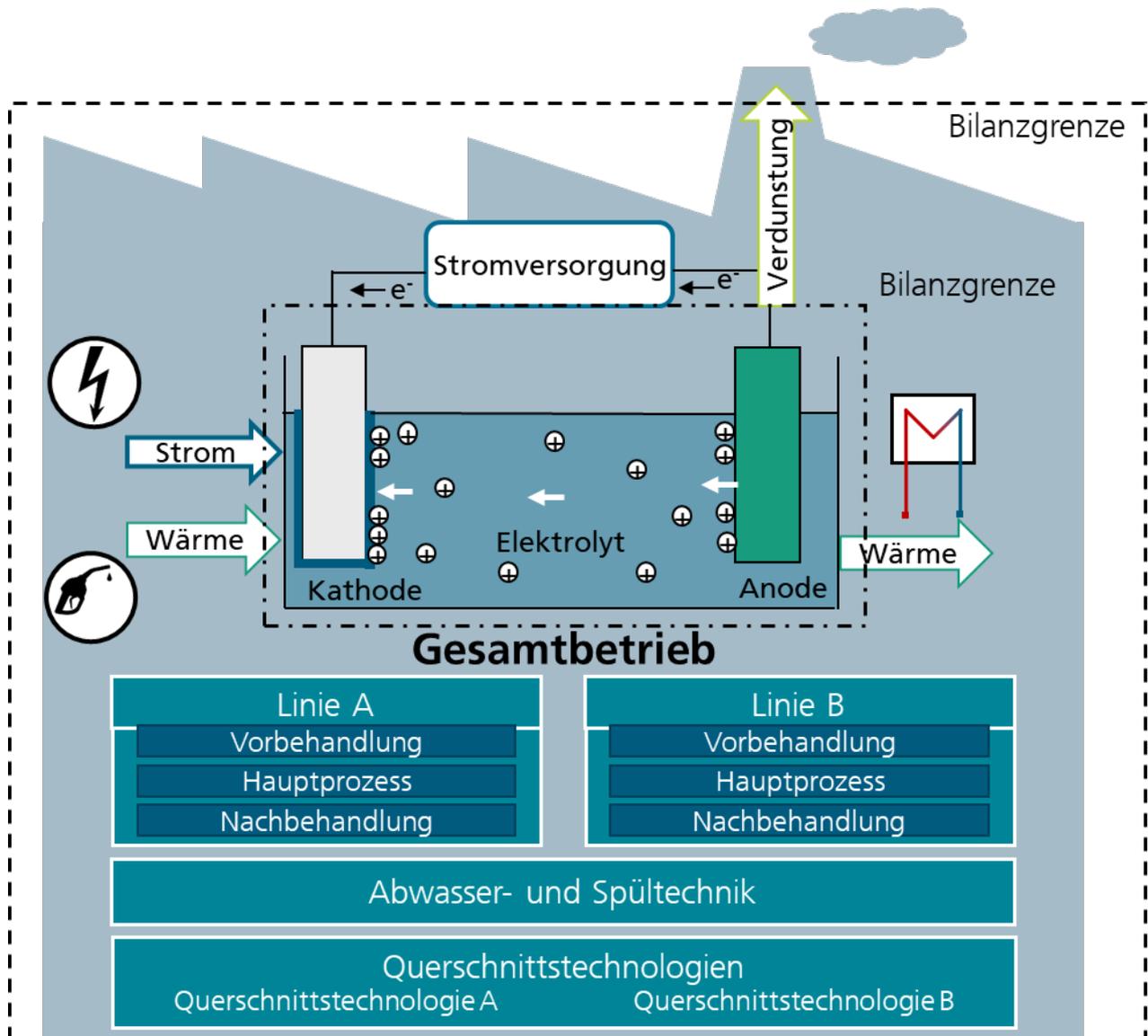


Abbildung 3: Darstellung der Benchmarking-Grenzen bezogen auf galvanotechnische Betriebe auf Basis der Betriebsstättenbilanzierung (eigene Darstellung 2022 auf Basis von [11])

Erstellung des Kennzahlenkatalogs

Der Kennzahlenkatalog bildet die Grundlage der entwickelten Benchmarking-Methodik. Als Anforderung wurde die theoretische, galvanikspezifische Eignung der Kennzahlen vorausgesetzt. Bereits üblicherweise verwendete Kennzahlen wurden verdichtet und angepasst und um weitere Kennzahlen ergänzt. Der so theoretisch entstandene Kennzahlenkatalog wurde anschließend mithilfe der beiden beteiligten Lohnbeschichtungsbetriebe auf dessen praktische Eignung hin bewertet und eingegrenzt.

Um sowohl die Übersichtlichkeit der Benchmarking-Methodik als auch einfache Aussagen zu gewährleisten wurden theoretisch verfügbaren Kennzahlen reduziert. Kennzahlen zur Energie- und Ressourceneffizienz stellen stets ein Verhältnis zwischen einem Aufwand, beispielsweise dem Energieeinsatz, und einem Nutzen,

beispielsweise der beschichteten Oberfläche, dar. In einem ersten Schritt zur Verdichtung des Kennzahlenkatalogs wurden daher nur alle Kennzahlen aufgenommen, die ein solches Verhältnis beschreiben. Ausgenommen hiervon wurden einige Kennzahlen für statistische Auswertungen wie Anteil Energieverbrauch aus Kraft-Wärme-Kopplung [%] oder Anteil Energieverbrauch aus erneuerbaren Energiequellen [%].

Um die Verständlichkeit der Kennzahlen zu erhöhen, wurde zudem eine einheitliche Nomenklatur der Kennzahlen eingeführt. So wurden übergreifend die Größen elektrischer Energieverbrauch und thermischer Energieverbrauch eingeführt.

Um die Kennzahlen an die besonderen Bedarfe an ein Benchmarking von Galvanikbetrieben anzupassen, wurden nicht die häufig verwendete Bezugsgrößen die Menge oder Masse der produzierten Einheiten genutzt, sondern die beschichtete Oberfläche als mengenabhängige Bezugsgröße in der Galvanotechnik. Um darüber hinaus den variierenden Schichtdicken gerecht zu werden, wurde zudem die Schichtdicke miteinbezogen und somit die bereits vom Bayerischen Landesamt für Umwelt empfohlene Bezugsgröße des Beschichtungsvolumens [$\mu\text{m} \cdot \text{m}^2$] genutzt. Wie bereits beschrieben, handelt es sich hierbei um eine theoretisch ideale Bezugsgröße, die allerdings von vielen Beschichtungsunternehmen nicht dokumentiert wird.

Neben dem Fokus auf die Kennzahlen, die die Energieeffizienz messen, wurde wie im Antrag beschrieben ebenfalls eine Bewertung der Ressourceneffizienz erfolgen. Hierzu wurde der Materialeinsatz der jeweiligen Verfahren betrachtet werden. Während bei einigen Verfahren gelöste Metallsalze genutzt werden und diese als Bezugsgröße dienen sollen, kann für die restlichen Verfahren die bezogene Menge der löslichen Anoden bewertet werden. Eine Verbindung zwischen Energie- und Ressourceneffizienz kann erreicht werden, indem der Energieverbrauch der jeweiligen Verfahren auf deren Materialeinsatz bezogen wird und führt zur Kennzahl „Gesamtenergiebedarf pro jährlich bezogenem schichtmetallhaltigen Material [kWh/kg Schichtmetall]“.

Um die Geschlossenheit der Kreisläufe der jeweiligen Verfahren und damit deren Ressourceneffizienz zu bewerten, soll außerdem das Verhältnis des abgeleiteten Metallschlammes zu dem jeweiligen Materialeinsatz ermittelt werden. Das Verhältnis zwischen verworfenen Prozesslösungen und dem Materialeinsatz soll zudem mögliche Organisationsmängel in den Prozessabläufen abbilden. Spülprozesse bilden wie erläutert den größten Teil aller Prozessschritte. Daher soll zudem die Effizienz des Wasserverbrauches ermittelt werden. Dazu soll das Verhältnis zwischen zugeführtem Frischwasser sowie dem Gesamtwasserverbrauch der Spülvorgänge ermittelt werden. Um für alle genannten Kennzahlen eine alternative Bezugsgröße darstellen zu können, wird die Zahl der jährlichen Betriebsstunden genutzt.

In Tabelle 1 ist der Kennzahlenkatalog mit den verdichteten und angepassten Kennzahlen zur Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz dargestellt. Dabei erfolgt zur leichteren Übersicht eine Unterteilung der Kennzahlen gemäß den erarbeiteten Benchmarking-Grenzen in die Ebenen Gesamtbetrieb, Linie, Vorbehandlung, Hauptprozess, Nachbehandlung, Abwasser- und Spültechnik sowie Querschnittstechnologien.

Tabelle 1: Kennzahlenkatalog Benchmark Galvanotechnik BenG

	Kennzahl	Einheit
Gesamtbetrieb	Gesamtenergieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWh/h]
	Elektrischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhel/h]
	Thermischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhth/h]
	Gesamtenergiebedarf pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWh/kg]
	Elektrischer Energieverbrauch pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWhel/kg]
	Thermischer Energieverbrauch pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWhth/kg]
	CO2-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch	[kg CO2/kWh]
	Anteil Energieverbrauch an erneuerbaren Energiequellen an Gesamtenergieverbrauch	[%]
	Anteil Energieverbrauch aus Kraft-Wärme-Kopplung an Gesamtenergieverbrauch	[%]
	Anteil nachgearbeiteter Produkte an Gesamtmenge aller Produkte	[%]
Linie	Gesamtenergiebedarf pro Beschichtungsvolumen	[kWh/ μm^3]
	Elektrischer Energieverbrauch pro Beschichtungsvolumen	[kWhel/ μm^3]
	Thermischer Energieverbrauch pro Beschichtungsvolumen	[kWhth/ μm^3]
	Gesamtenergiebedarf pro beschichteter Oberfläche	[kWh/m ²]
	Elektrischer Energiebedarf pro beschichteter Oberfläche	[kWhel/m ²]
	Thermischer Energiebedarf pro beschichteter Oberfläche	[kWhth/m ²]
	Gesamtenergieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWh/h]
	Elektrischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhel/h]
	Thermischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhth/h]
	Gesamtenergieverbrauch pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWh/kg]
Vorbehandlung Hauptprozess Nachbehandlung	Elektrischer Energieverbrauch pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWhel/kg]
	Thermischer Energieverbrauch pro jährlich bezogenes schichtmetallhaltiges Material	[kWhth/kg]
	Verhältnis anfallender Metallschlamm zu bezogenem schichtmetallhaltigem Material	[%]
	Verhältnis verworfene Prozesslösungen zu bezogenem schichtmetallhaltigem Material	[%]
	Gesamtenergiebedarf pro Beschichtungsvolumen	[kWh/ μm^3]
	Elektrischer Energieverbrauch pro Beschichtungsvolumen	[kWhel/ μm^3]
	Thermischer Energieverbrauch pro Beschichtungsvolumen	[kWhth/ μm^3]
	Gesamtenergieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWh/h]
	Elektrischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhel/h]
	Thermischer Energieverbrauch pro Betriebsstunde	[kWhth/h]
Abwasser- und Spültechnik	Gesamtwasserverbrauch pro beschichtete Gesamtmenge	[m ³ / μm^3 ·kg]
	Verhältnis Frischwassereinsatz zu Gesamtwasserverbrauch	[%]
Querschnittstechnologien	Energieverbrauch Trocknung pro beschichtetes Gesamtvolumen	[kWh/ μm^3]
	Energieverbrauch Trocknung pro Betriebsstunde	[kWh/h]

Entwicklung des Fragebogens zur Datenaufnahme

Abschließend in diesem Kapitel wird die Entwicklung des Fragebogens zur Datenaufnahme beschrieben. Die besonders zu berücksichtigenden Anforderungen waren: Geringer Dokumentenumfang, für möglichst hohe Praktikabilität, Excel-basiert, Vertraulichkeit und Nutzerfreundlichkeit. Zudem wurde der Fragebogen so gestaltet, dass die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Kennzahlen aus einem vollständig befüllten Fragebogen berechnet bzw. ermittelt werden können.

Für eine möglichst erfolgreiche Datenerhebung im Sinne einer hohen Anzahl an Rückläufern und einem hohen Ausfüllungsgrad, musste der Fragebogen so entwickelt werden, dass die zur Verfügung stehenden Informationen bei den Beschichtungsunternehmen berücksichtigt werden. Die Datenerhebung kann dabei von physikalischen Messungen, die mit genauen Ergebnissen, aber auch einem hohen Aufwand verbunden sind, bis zu weniger genauen, aber auch weniger aufwändigen Abschätzungen, variieren. Da KMU für Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen, wie bereits erläutert nur sehr begrenzte finanzielle und personelle Kapazitäten zur Verfügung stehen, sollen für die Benchmarking-Methodik keine physikalischen Messungen vor Ort erforderlich sein. Diese Änderung wurden als Abweichung vom ursprünglichen Antrag aufgrund der COVID-Pandemie vorgenommen. Stattdessen wurde auf Anlagendaten, Abrechnungen sowie Erfahrungswerte der Mitarbeiter der Unternehmen zurückgegriffen. Den Unternehmen wurde empfohlen auf bereits vorhandene Dokumente wie beispielsweise Geschäftsabschlussberichte oder Energie- und Auditberichte zurückzugreifen.

Da sich softwarebasierte Umsetzungen von Fragebögen bewährt haben und das Umweltbundesamt für das Benchmarking von Galvanikanlagen die Nutzung eines Excel-Formelblattes empfiehlt, wurde auch für den zu entwickelnden Fragebogen das Tabellenkalkulationsprogramm Excel verwendet. Die Garantie der vertraulichen Behandlung der Daten wurde dabei in einem Textfeld am Anfang der Excel-Datei formuliert. Durch die ausschließliche Speicherung und Bearbeitung der Daten auf der IT-Infrastruktur der Forschungsinstitute für die Zwecke der Benchmarking-Methodik wurde so ein sicherer und vertrauenswürdiger Umgang mit den Unternehmensdaten gewährleistet.

Der Aufbau des Fragebogens ist gemäß den erarbeiteten Anforderungen leicht verständlich und beschränkt sich auf einen geringen Dokumentenumfang. Damit wurde die Akzeptanz zur praktischen Nutzung der Methodik in den Betrieben erhöht und der Erfolg der Methodik verbessert. Gemäß den festgelegten Benchmarking-Grenzen erfolgt die Datenabfrage auf verschiedenen Ebenen. Ein Top-Down-Ansatz zur Datenerfassung garantiert hierbei die Übersichtlichkeit des Fragebogens sowie ein kongruentes Nutzererlebnis für den Anwender (vgl. Abbildung 4). Da die Datenabfrage auf der übergeordneten Betriebsebene bei der Definition der Benchmarking-Grenzen als Minimalziel genannt wurde, muss diese somit immer erfolgen. Anschließend erfolgt eine Verfeinerung der Datenabfrage in den nachgelagerten Benchmarking-Grenzen *Linie* und *Prozess(schritt)* individuell auf Basis der jeweiligen Erfassungsmöglichkeit der Betriebe. Gemäß den definierten Benchmarking-Grenzen entspricht die höchste Detaillierungsstufe der Datenabfrage somit der separaten Erfassung der Prozessschritte Vorbehandlung, Hauptbehandlung und Nachbehandlung. Die Datenerfassung ist auf diesem Detailgrad theoretisch optimal, in der Praxis jedoch oft für die meisten Betriebe nicht realisierbar. Eine Verfeinerung der Datengranularität soll, um die Anforderung der leichten Bedienbarkeit zu erfüllen, dabei nur erfolgen, wenn den Unternehmen die Daten der detaillierten Betrachtungsebene von Line- oder Prozess bekannt sind.

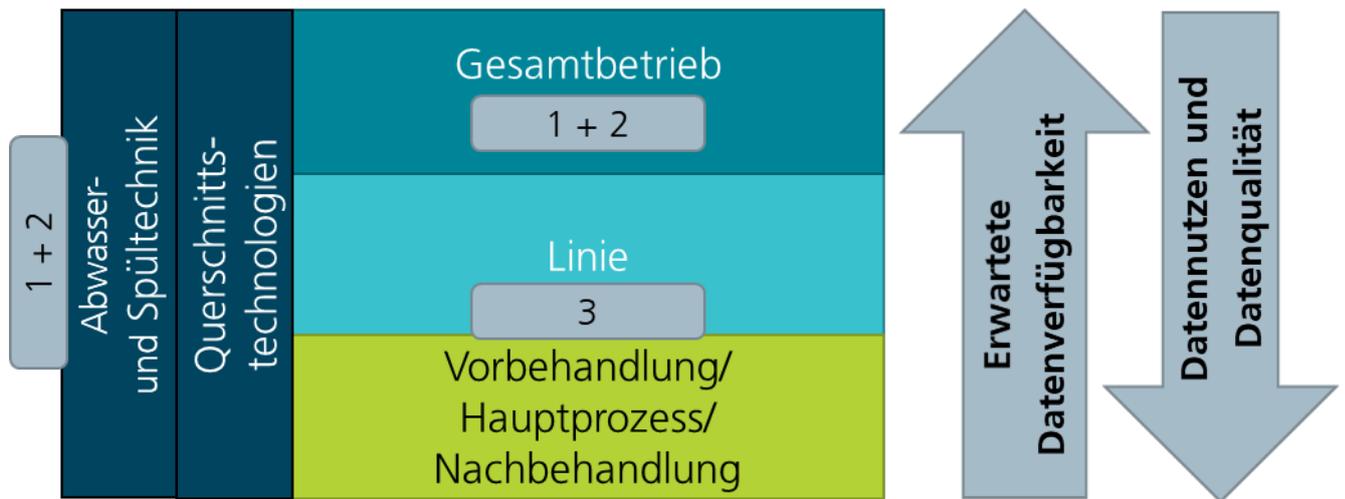


Abbildung 4: Der Top-Down-Ansatz zur Steigerung der Datengranularität im Fragebogen

Der dritte Teil des Fragebogens besteht neben den quantitativen Fragen auf Unternehmens- und auf Linienebene zudem aus einem Tabellenblatt mit qualitativen Fragen, bei denen sowohl organisatorische Themen als auch Fragestellungen zu Effizienzmaßnahmen beantwortet werden können. Im organisatorischen Teil werden gesamtbetriebliche Strukturen, wie die Teilnahme an einer Wissensplattform oder die Erfassungsebene bisheriger Effizienzkenzahlen ermittelt. Im zweiten Bereich werden durchgeführte Effizienzmaßnahmen für die genannten Hauptenergieverbraucher innerhalb der letzten drei Jahre, in Anlehnung an das Industriebenchmarking des Fraunhofer ISI [17], erfasst. Zudem wird die bisherige Umsetzung der spezifischen Effizienzmaßnahmen für Galvanikbetriebe ermittelt. Darunter zählt beispielsweise der Einsatz von Badabdeckungen oder einer KWK-Anlage sowie das Betreiben korrekt dimensionierter bzw. drehzahl geregelter Pumpen. Die Angaben innerhalb des qualitativen Bereichs des Fragebogens sollen dazu beitragen, gemäß der DIN EN 16231 potenzielle Gründe bei variierenden Effizienz der Unternehmen abzuleiten. Da wie bereits beschrieben insbesondere bei der Galvanoindustrie viele verschiedene Variablen den Energie- und Ressourcenverbrauch beeinflussen, wird der unterstützenden qualitativen Auswertung der betrieblichen Abläufe und Organisation ein besonders hoher Stellenwert zugeschrieben. In Abbildung 5 ist ein Teil der qualitativen Fragen dargestellt. Die möglichen Antwortoptionen werden dabei, ähnlich den Auswahlfeldern im quantitativen Teil des Fragebogens, in Auswahllisten angeboten.

Organisatorische Fragen	
Ist Ihr Betrieb Teil eines Netzwerks oder einer Plattform zur Verbesserung der Energieeffizienz? (bspw. GalvanoFlex)	Nein
Werden Energieaudits nach DIN EN 16247 durchgeführt?	Nein
Ist ein Energiemanagementsystem implementiert? (bspw. nach ISO50001)	Nein
Sind alternative Prozesse im Unternehmen vorhanden? (Härten, Lackieren, etc.)	Ja
Erfolgt für Galvanikprozesse eine Abwärmenutzung der alternativen Prozesse?	Ja
Werden in Ihrem Betrieb bereits Effizienzkenzahlen erfasst?	Ja
Bis zu welcher Ebene wird der Energie- und Ressourcenverbrauch in Ihrem Betrieb erfasst?	Fabrikzebene
Werden die Verschleppungsverluste der jeweiligen Verfahren erfasst?	Ja
Ist eine Gasleitung im Betrieb vorhanden?	Nein

Abbildung 5: Auszug aus dem qualitativen Abschnitt des Fragebogens

2.1.3. Aufbau des Benchmarks

Wie bereits beschrieben, musste das ursprüngliche Vorgehen aufgrund der COVID-Pandemie und der darauffolgenden Vorsicht der Unternehmen, nur noch für das Unternehmen elementare Besuche zuzulassen, verworfen werden und es wurde auf den entwickelten Fragebogen zurückgegriffen. Das ursprüngliche Vorgehen sah vor, dass als Grundlage ein Messkonzept erstellt wird. Dieses Messkonzept hätte auch anderen KMU zur Verfügung gestellt werden sollen, da viele Unternehmen nicht wissen, wo, wie und welche Messgeräte angeschlossen werden können, um Energieeffizienzpotenziale zu identifizieren. Die Entwicklung des Messkonzepts sollte unter der Beteiligung der beiden KMU erfolgen. Anschließend war es vorgesehen die entsprechenden Messungen bei den assoziierten Partnern und den Benchmark-Teilnehmern durchzuführen. Durch die Pandemie wurde bereits in der Methodikerstellung auf einen Fragebogen als Tool der Datenerhebung zurückgegriffen und ein entsprechendes Template erstellt.

Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend die Wirkung und die Reichweite des Aufrufs zur Teilnahme am Benchmark:

Tabelle 2 Reichweite des Aufrufs zu Teilnahme am Benchmark

Benchmark: Übersicht Allgemein in Zahlen	Anzahl
Aufruf zum Benchmark	> 1.000 (ZVO, WOMag, Mailing)
Rückmeldung zum Aufruf	40
Rückläufer	17
▪ Unternehmens- und Linienebene	9
▪ Unternehmensebene	8
Lohngalvanik	11
Inhouse-Galvanik	6
Unternehmensübersicht quantitativ	17
Unternehmensübersicht qualitativ	17
Linienebene Einzelschicht in Summe	11
Linienebene Kombinationsschicht in Summe	6

Durch die Mailingaktionen des Fraunhofer IPAs und des Zentralverbands für Oberflächentechnik (ZVO) und deren vorhandene Datenbanken, die Platzierung in diverseren branchenspezifischen Newslettern und Webseiten (WoMAG, IPA, ZVO, etc.) konnten mehr als 1.000 Unternehmen aufgerufen werden am Benchmark teilzunehmen. Diesem Aufruf sind 40 Unternehmen gefolgt, wobei schlussendlich 17 Unternehmen/Standorte/Werke miteinander verglichen werden können. Dabei konnten 17 Unternehmen auf Unternehmens- und neun auf Linienebene verglichen werden. Die Hauptgründe, weshalb wenige Rückläufer nach Versand der Fragebogen erhalten wurden, liegt vermutlich am hohen Zeitaufwand zur Befüllung des Fragebogens, oder an der vorhandenen Datengrundlage des Unternehmens.

Auf Unternehmensebene konnten viele der abgefragten Informationen zur Verfügung gestellt werden (siehe Tabelle 3). Insbesondere die Datenbasis zu den elektrischen Verbräuchen, bzw. Eigenerzeugungsanlagen sind – meist auf Grund der rechtlichen Grundlage – sehr gut und konnte häufig

widergegeben werden. Auch der thermische Verbrauch ist häufig vollumfänglich auf Unternehmensebene bekannt. Erwähnenswert ist, dass ca. 1/3 der Unternehmen eine BHKW besitzt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 3 Quantitative Auswertung bzgl. des Ausfüllungsgrads aus Unternehmensebene

Fragebogen: Unternehmensebene	tatsächlicher Ausfüllungsgrad
Gesamtenergieverbrauch des Betriebs	80.74%
Bezug der elektrischen Energie	100.00%
Netzbezug	100.00%
Eigennutzung BHKW-Anlage (5 Unternehmen)	100.00%
Eigennutzung Photovoltaik-Anlage (2 Unternehmen)	100.00%
Einspeisung Photovoltaik-Anlage (1 Unternehmen)	100.00%
Genutzte Energieträger der thermischen Energie	93.33%
Thermischer Energieverbrauch (ohne BHKW)	86.67%
Thermische Eigennutzung (z. B. Erzeugung durch BHKW)	100.00%
BHKW (5 Unternehmen)	80.00%
Thermischer Energieverbrauch des BHKW	100.00%
Betriebsstunden pro Jahr BHKW	100.00%
Falls erfolgt: Höhe der Einspeisung in das Netz	40.00%

Auf Linienebene zeigt sich ein deutlich anderes Bild (siehe Tabelle 4). Allgemeine Daten, Informationen und Angaben zum Verfahren konnten noch viele Unternehmen vollumfänglich, oder zu einem Großteil beantworten. Herausfordernder wurden allerdings die Fragen hinsichtlich der Material-Energie-Bilanz auf Linienebene. Die jährlich beschichtete Oberfläche wurde von allen Unternehmen, die auch auf Linienebene eine Auskunft erteilt haben, angegeben. Hier waren allerdings auch Abschätzungen und Berechnungshilfen, wie das Kastenmaß¹, erlaubt.

Die jährlich beschichtete Rohware wurde dann lediglich von fast 15 % aller Unternehmen ausgefüllt. Ein ähnliches Ergebnis erzielte die Abfrage zu Verschleppung von Schichtmaterial. Hier konnten immerhin fast 29 % aller Unternehmen eine Aussage darüber treffen. Hinsichtlich der Material-Energie-Bilanz kann die Aussage getroffen werden, dass viele Unternehmen wissen, wie viel Material in Form von Anoden oder Metallsalzen auf Linienebene eingesetzt und auf die zu Produkte aufgetragen werden (ca. 86 %). Schwieriger wurde es eine Auskunft über die Energieverbräuche zu treffen. Überraschend war die Auskunftsgüte hinsichtlich des elektrischen Verbrauchs auf Linienebene. Bei dieser Abfrage wurde mit einer höheren Quote als der Angabe zum thermischen Energieverbrauch gerechnet. Ungefähr 57 % aller Unternehmen konnten zu beiden Abfragen eine Auskunft geben.

¹ Fläche des kleinsten Quaders, der das Produkt vollständig umschließt

Dieser Zustand resultierte schlussendlich, dass häufig die besonders wichtige Kennzahl „Energieeinsatz zu Materialeinsatz“, bzw. „Energieeinsatz zu beschichtete Oberfläche“ nicht häufig gebildet werden konnte und somit weniger Unternehmen in den Benchmark auf Linienebene einbezogen werden konnten.

Tabelle 4 Quantitative Auswertung bzgl. des Ausfüllungsgrads auf Linienebene.

Fragebogen: Linienebene	Ausfüllungsgrad
Allgemeine Daten	68.57%
Verfahren	100.00%
Anschaffungsjahr der Linie	85.71%
Betriebsstunden der Anlage	85.71%
Art der Anlage (Trommel, Gestell)	85.71%
Jährlich beschichtete Oberfläche	100.00%
Datenherkunft (z. B. Messgröße, Abschätzung, Berechnungshilfe)	100.00%
Jährlich beschichtete Rohware	14.29%
Datenherkunft (z. B. Messgröße, Abschätzung, Berechnungshilfe)	14.29%
Art der Prozessbeheizung (z. B. Warmwasser, Dampf, Gas, Strom)	85.71%
Material-Energie-Bilanz der Linie Kombinationsschicht	57.14%
Elektrischer Energieverbrauch der Linie	57.14%
Thermischer Energieverbrauch der Linie (Gas, Öl, Strom, etc.)	57.14%
Menge des jährlich bezogenen schichtmetallhaltigen Materials	
als Anoden Schichtmaterial 1 / 2 / 3	85.71%
als (gelöstes) Metallsalz Schichtmaterial 1 / 2 / 3	85.71%
Menge der jährlichen Verluste des schichtmetallhaltigen Materials	
durch Verschleppung Schichtmaterial 1 / 2 / 3	28.57%
durch die Abluftwäscher Schichtmaterial 1 / 2 / 3	28.57%
Menge des jährlich anfallenden Metallschlamm Schichtmaterial 1 / 2 / 3	85.71%
Menge der jährlich verworfenen Prozesslösungen Schichtmaterial 1 / 2 / 3	28.57%
Jährlicher Wasserverbrauch der Linie	57.14%

2.1.4. Ergebnisse des Benchmarks

Im Gegensatz zu den 1985 und 2007 durchgeführten Benchmarks für die Galvanobranche wurden beim Benchmark des Projekts BenG vor allem energetische Verbrauchsdaten für die 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. Weiterhin wurde zwischen dem elektrischen und thermischen Energieverbrauch unterschieden und die dadurch entstehenden CO₂-Emissionen berücksichtigt. [16, 18]

Im Folgenden werden vor allem die Kennzahlen Energiebedarf pro beschichteter Oberfläche (kWh/m²), Gesamt-CO₂-Emissionen eines Unternehmens (tCO₂) sowie CO₂-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch (kgCO₂/kWh) für ausgewählte Unternehmen dargestellt und bewertet. Die Auswahl ergibt sich durch den Ausfüllungsgrad der Fragebögen sowie die Vergleichbarkeit der Verfahren.

In der nachfolgenden Tabelle sind die teilnehmenden Unternehmen anonymisiert, sortiert nach Verfahren und Ausfüllungsebene aufgelistet.

Tabelle 5 Teilnehmende Unternehmen nach Verfahren und Ausfüllungsebene

Unternehmen	Verfahren	Ausfüllungsebene
Apfel	Kunststoffgalvanik	Linienebene
Aprikose	Kunststoffgalvanik	Linienebene
Banane	Kunststoffgalvanik	Unternehmensebene
Pfirsich	Kunststoffgalvanik	Unternehmensebene
Traube	Kunststoffgalvanik	Linienebene
Birne	Anodisieren GS-Verfahren	Unternehmensebene
Ananas	Zink, chemisch Nickel	Linienebene
Blaubeere	Zink, Zink-Nickel, Phosphatierung,	Linienebene
Brombeere	Zink, Zink-Eisen, Zink-Nickel, Passivierung, Chromatierung,	Unternehmensebene
Himbeere	Zink, Zink-Nickel, Zink-Eisen, chemisch Nickel, Phosphatierung	Unternehmensebene
Kirsche	Zink, chemisch Nickel, Elektropolieren	Linienebene
Dattel	Kupfer/Nickel/Chrom	Linienebene
Erdbeere	Galvanisch Nickel, chemisch Nickel, Zinn, Kupfer	Linienebene
Feige	Dickschicht Nickel, chemisch Nickel, Kupfer	Linienebene
Orange	Chrom, Nickel, Kupfer, Zink	Unternehmensebene
Wassermelone	Hartverchromung	Unternehmensebene
Zitrone	Dickschicht Nickel	Unternehmensebene

größte Gruppe

Am Benchmark haben insgesamt 17 Unternehmensstandorte mit verschiedenen Einzelschichten und Linien teilgenommen. Nicht alle haben den Fragebogen vollständig ausgefüllt. Bei vielen Unternehmen ist eine exakte Aufschlüsselung der Daten, wie sie für die Bestimmung der Kennzahlen notwendig wäre, nicht vollumfänglich möglich gewesen. Aufgrund der hohen Heterogenität und der relativ geringen Anzahl an Standorten konnten nur zwei Verfahren untereinander verglichen werden. Diese sind Zink sowie Kupfer-Nickel-Chrom bei der Kunststoffbeschichtung. Um die Anonymität der Teilnehmenden zu gewährleisten, werden den Unternehmensstandorten Obstsorten zugewiesen (vgl. Tabelle 5).

In Abbildung 6 ist die Kennzahl „Energiebedarfe in Kilowattstunden pro beschichteter Oberfläche“ von den Unternehmen auf Unternehmensebene abgebildet, die entsprechende Daten zur Verfügung gestellt haben (9 von 17 Unternehmen). Die Energiebedarfe sind jeweils in elektrischen und thermischen Energieverbrauch aufgeteilt. Die Unternehmen Apfel, Aprikose, Banane, Pfirsich sowie Traube sind Kunststoffgalvaniken. 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 allerdings nicht deutlich erkennbar, 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/m².

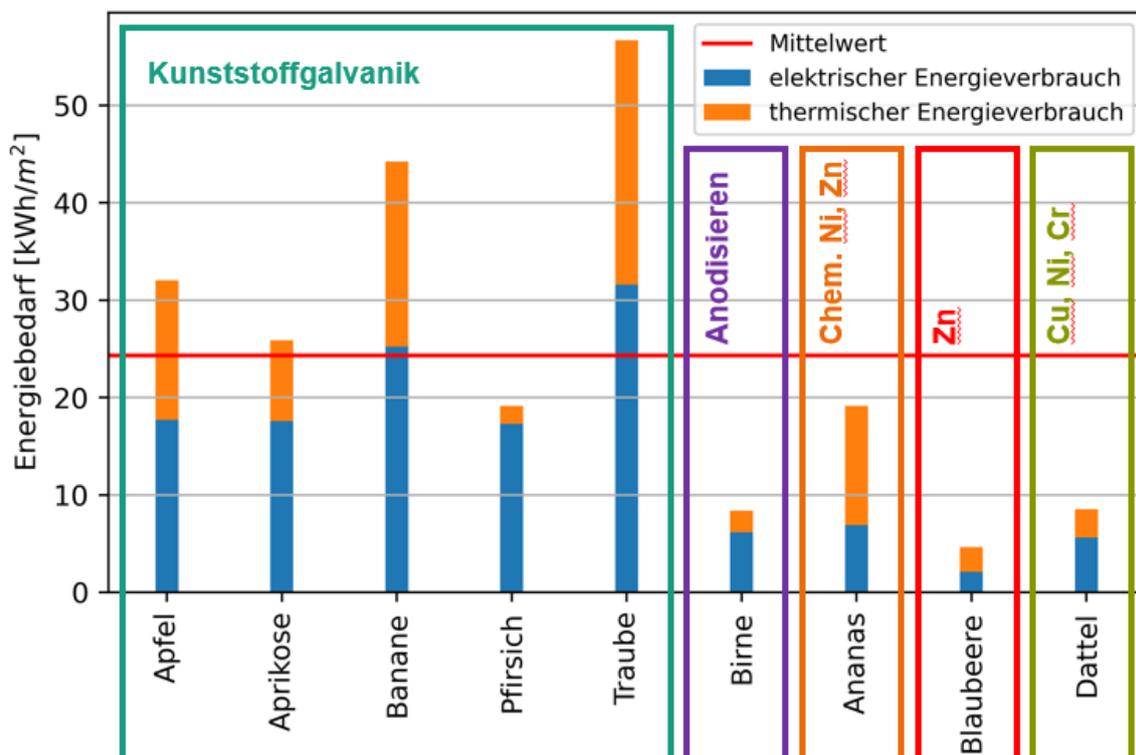


Abbildung 6: Energiebedarf bezogen auf die beschichtete Oberfläche auf Unternehmensebene

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. Das ist die Ursache für den verhältnismäßig höheren thermischen Energiebedarf bei den 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 Abbildung 7 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. 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, was zum Teil auf den höheren Energieverbrauch schon auf Unternehmensebene zurückzuführen ist (Abbildung 6). Die beiden Unternehmen Apfel und Aprikose weisen in Abbildung 6 einen mittleren Energieverbrauch pro beschichteter Fläche auf.

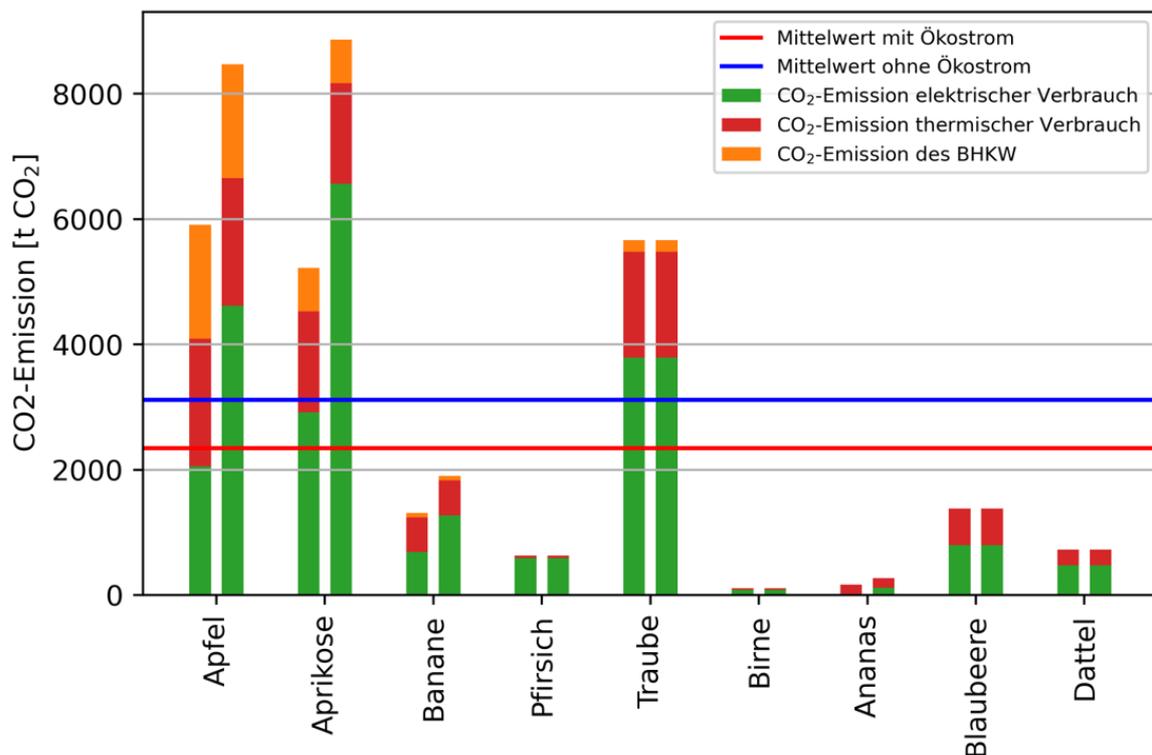


Abbildung 7: CO₂-Emissionen im Benchmark auf Unternehmensebene

Aus Abbildung 7 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 Großteils auf die unterschiedlichen Produktionsmengen und -verfahren zurückgeführt werden. In Abbildung 8 sind zum Vergleich die CO₂-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch dargestellt.

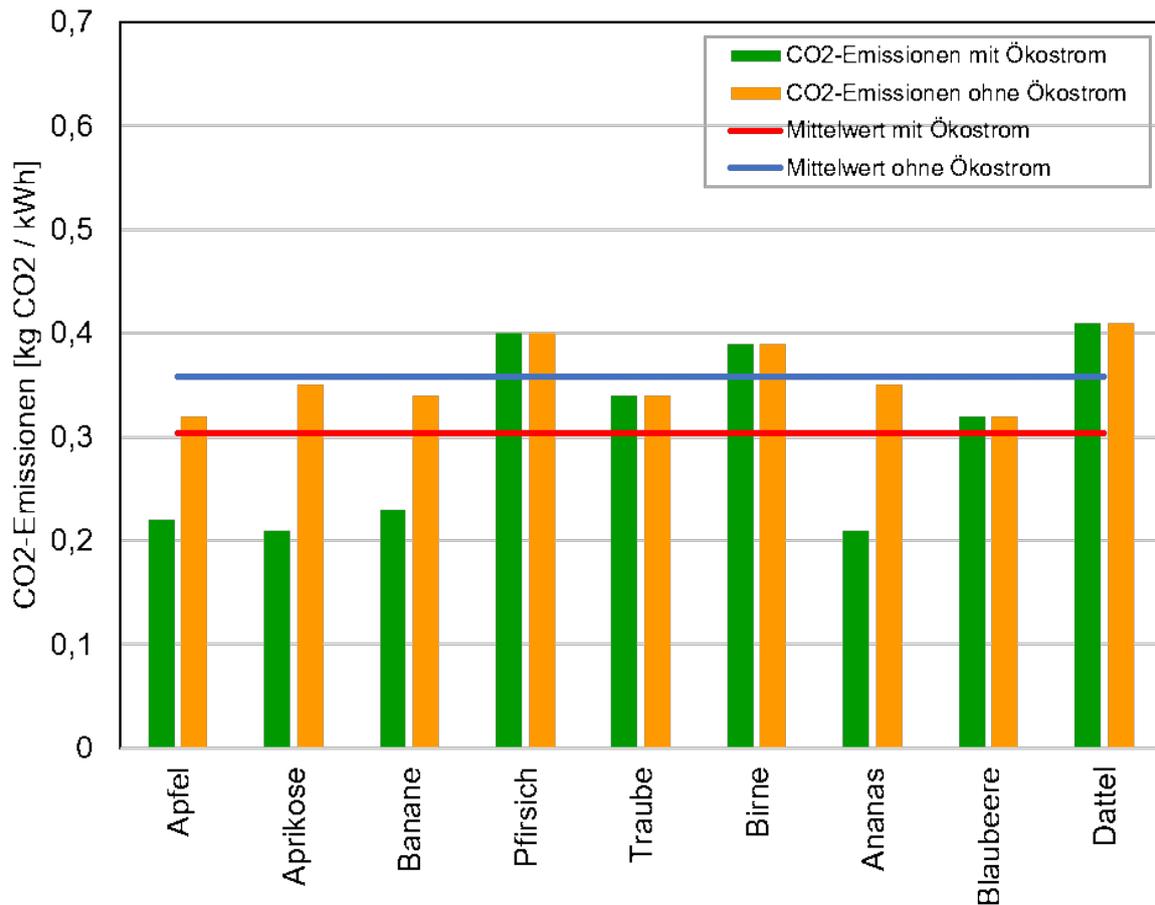


Abbildung 8: CO2-Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch verschiedener Unternehmen

Wie in Abbildung 7 entspricht die jeweils linke Säule den Emissionen mit Ökostrom. In der rechten Säule wird der deutsche Strommix berücksichtigt. Für die Unternehmen, die keinen Ökostrom beziehen, sind die Säulen identisch. Über die verschiedenen Verfahren hinweg wird hierbei deutlich, dass die Emissionen pro Gesamtenergieverbrauch trotz der Heterogenität der Verfahren ähnlicher sind als die Absolutwerte in Abbildung 7. Unternehmen, die Ökostrom beziehen, haben bilanziell geringere Emissionen. Dies ist allerdings nicht auf einen effizienteren Umgang mit Energie zurückzuführen.

Die Unternehmen Aprikose und Apfel beziehen zu 60 % Ökostrom und betreiben ein BHKW, weshalb ihre Emissionen unter dem Mittelwert liegen. Das Unternehmen Traube betreibt ebenfalls 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 aus finanzieller Sicht sinnvoll, da eine Reduzierung der Leistungsbezugsspitzen durch ein Spitzenlastmanagement als Option mit enthalten ist [15]. Weiterhin hat der Benchmark ergeben, 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 Benchmark-Ergebnisse mit Literaturdaten zeigt, dass der Energiebedarf pro beschichteter Fläche im Benchmark niedriger ist. In Abbildung 9 ist der Vergleich von Literaturdaten mit den Ergebnissen des Benchmarks abgebildet. Hieraus geht hervor, dass die im Benchmark ermittelten Energiebedarfe nah an den festgestellten Literaturwerten liegen, jedoch bei beiden Verfahren etwas niedriger sind. Um den Mehrwert einzelner Effizienzmaßnahmen beurteilen zu können, wäre eine größere Teilnehmerzahl notwendig.

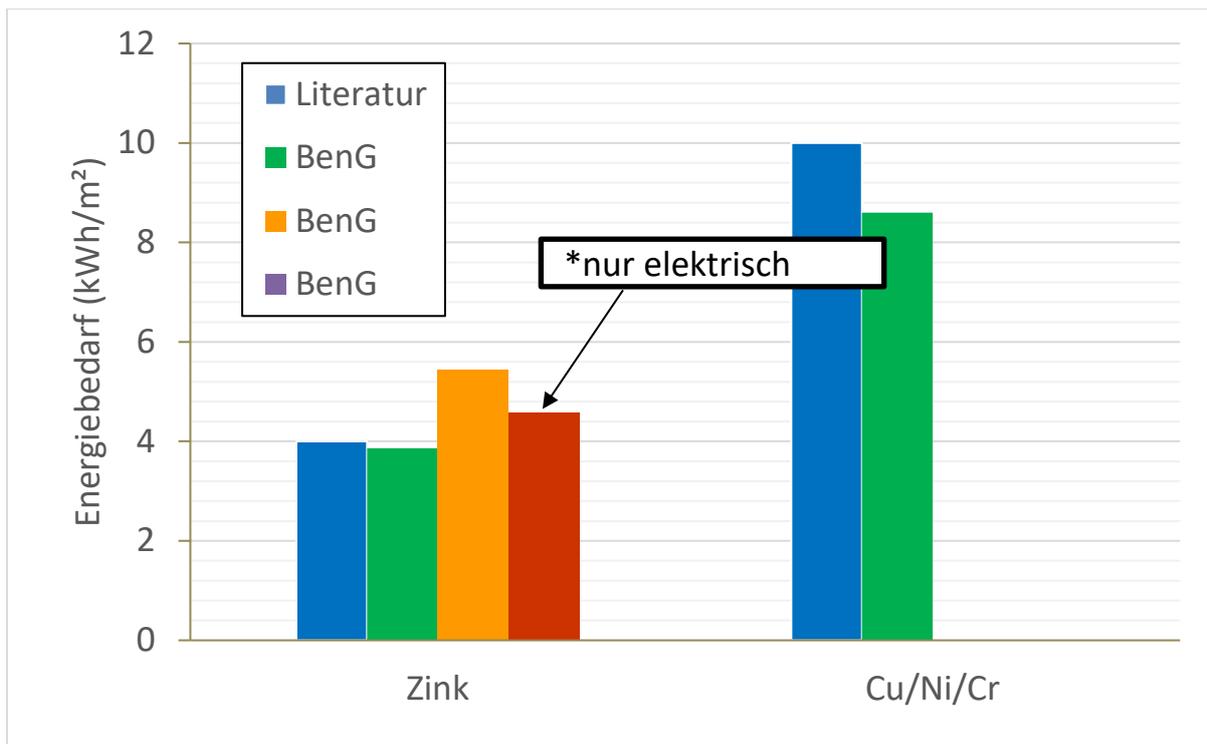


Abbildung 9 Vergleich von Literaturdaten mit Daten des Benchmarks [19]

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

2.2. Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel dieses Forschungsprojekts war es einen Energie- und Ressourcenbenchmark für die Galvanikbranche aufzubauen. Dieses Ziel wurde erreicht und es konnten 17 Standorte eingebunden und miteinander verglichen werden. Mit dem Benchmark verfolgt das Forschungsteam zwei Hauptziele:

Zum einen sollte mit diesem Benchmark Unternehmen aus der Galvanotechnik motiviert werden Energie- und Ressourceneffizienzprojekt umzusetzen. Die Galvanikbranche mit den unterschiedlichen Energieintensitäten der eingesetzten Verfahren, Unternehmensgröße, Produktvielfalt, eingesetzten Technologien lässt einen Vergleich nur bedingt zu. Dadurch haben die einzelnen Unternehmen keinen Vergleich, wie hoch die Energie- und Ressourceneffizienz und dadurch auch das Kostensenkungspotenzial sein kann. Dieser Umstand mindert die Bereitschaft in Effizienzmaßnahmen zu investieren.

Zum anderen sollte durch den erhobenen Benchmark Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen abgeleitet, quantifiziert und der Galvanikbranche als Maßnahmenkatalog zur Verfügung gestellt werden. Durch die Bestimmung des Klassenbesten und die Ableitung und Darlegung der umgesetzten Maßnahmen zur Erreichung eines besseren Energie- und Ressourceneffizienzniveaus sollte Galvanikbetrieben ein Leitfaden dokumentiert werden.

Im Forschungsantrag war ursprünglich angedacht ein Messkonzept zu Erhebung der abgeleiteten Kennzahlen zu erarbeiten und diese Messungen bei den teilnehmenden Unternehmen durchzuführen. Dadurch sollten gleich zwei Unsicherheitsfaktoren ausgeschlossen werden.

Durch die Erhebung der Daten durch eine zentrale Stelle sollte vermieden werden, dass Unternehmen ggf. unterschiedliche Bilanzgrenzen ziehen. Dies hätte dazu führt, dass bestimmte periphere Energieverbraucher nicht berücksichtigt werden, oder zu viele Energieverbraucher einbezogen werden könnten. Durch das Ziehen von unterschiedlichen Bilanzgrenzen wäre die Vergleichbarkeit nicht mehr vollumfänglich gegeben und die Dateninterpretation ggf. falsch.

Der zweite Unsicherheitsfaktor, der ausgeschlossen werden sollte, wäre die Verfügbarkeit der Messmittel bei den Unternehmen. Bei vielen Unternehmen werden keine, oder nur wenige Untermessungen durchgeführt. Insbesondere auf Linienebene sind festinstallierte Messgeräte zur Messung des thermischen Energieverbrauchs sehr selten. Werden die Messungen von Dritten durchgeführt, erhöht das die Teilnahmewahrscheinlichkeit, da eine fehlende Messtechnik als Grund ausgeschlossen werden könnte.

Durch die COVID-Pandemie wurde in Abstimmung mit dem Projektträger das Vorgehen angepasst: Die gesetzlichen Kontaktbeschränkungen, das Risiko der teilnehmenden Unternehmen ggf. eigene Mitarbeitende durch Externe mit dem Virus zu infizieren und der daraus resultierenden Vorsicht gegenüber nicht notwendigen Besuchen musste beim Erhebung des Benchmarks berücksichtigt werden. Schlussfolgernd wurde das Vorgehen dahingehend angepasst, dass die vorgesehenen Messkampagnen bei den Unternehmen vor Ort, von den teilnehmenden Unternehmen eigenständig durchgeführt werden. Hierfür wurden einen Fragenkatalog erstellt.

Die eingangs angeführten Bedenken bezüglich der unterschiedlichen Bilanzgrenzen wurden entschärft, indem im Detail beschrieben wurde, welche Aggregate und deren Energieverbräuche wie zu ermitteln sind. Vollumfänglich konnte diese Unsicherheit allerdings nicht ausgeschlossen werden. Die übermittelten Werte konnte mit Erfahrungswerten und Daten aus der Literatur abgeglichen werden. Dadurch konnten Ausreißer identifiziert und bei den entsprechenden Unternehmen nochmals die Richtigkeit der Werte und der gezogenen Bilanzgrenze überprüft werden.

Die zweite Unsicherheit, dass viele Unternehmen ggf. nicht die notwendigen Messmittel verfügen wurden bestätigt, indem insbesondere die thermischen Energieverbräuche auf Linienebene selten angegeben wurden. Nichtsdestotrotz wurde zum Teil durch Workshops und bilaterale Absprachen mit den teilnehmenden Unternehmen und Berechnungshilfestellungen der thermische Energieverbrauch auf die Linien herunter gebrochen. Allerdings war dies in den seltensten Fällen möglich.

Das Ziel des Aufbaus eines Benchmarks für Energie- und Ressourceneffizienz wurde erreicht. Auf Unternehmensebene können Unternehmen ihre Performance im Vergleich zu anderen Galvanikbetrieben in derselben Kategorie überprüfen. Ein Rückschluss, inwiefern ein Handlungsbedarf besteht, lässt der Benchmark zu und kann so Unternehmen aus der Galvanobranche motivieren ihren Energie- und Ressourcenbezug zu optimieren und so Emissionen und Kosten einzusparen.

Auf Linienebene ist ein Vergleich nur bei einigen wenigen Verfahren und Clustern möglich. Aufgrund der fehlenden Messinfrastruktur bei den Unternehmen und den nicht mehr durchzuführenden Messkampagnen konnte die Energie- und Ressourcenverbräuche nicht bei allen teilnehmenden Unternehmen ermittelt werden, sodass hier eine geringfügige Abweichung vom Forschungsantrag festzustellen ist.

Ebenso war es ein Ziel ein Leitfaden und Maßnahmenkatalog für die teilnehmenden Unternehmen und allen weiteren Unternehmen aus der Galvanikbranche zu erstellen. Aufgrund der fehlenden Messkampagnen konnten hier die eingesetzten Technologien und Neuerungen nicht ermittelt und zusammengetragen werden. Aufgrund der Umstellung der Vorgehensweise auf eine auf Fragenkatalog-basierende Ermittlung der Energie- und Ressourceneinsätze konnte diese Zielstellung nicht vollumfänglich abgedeckt werden. In Rücksprache mit den assoziierten Partnern sollte der Fragenkatalog so gestaltet werden, dass die Hürde einer Teilnahme so gering wie möglich ist. Es sollten somit auch mit weniger Detailfragen gestellt werden. Der Benchmark musste eine bestimmte kritische Größe erreichen, um zum einen die Anonymität zu gewährleisten und zum anderen die relevante Aussagekraft auszuweisen. Bei zu wenigen Teilnehmern wären beide Anforderungen nicht erfüllt worden, sodass hier ein Kompromiss aus Detaillierungsgrad und Aufwand zum Ausfüllen des Fragebogens eingegangen wurde. Dies führte dazu, dass einige wenige Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Emissionen ermittelt wurden, bspw. Alter der Becken, BHKW, PV-Anlage, Energiemanagementsystem, etc. Schlussfolgernd ist eine geringfügige Abweichung zum Antrag festzustellen.

2.3. Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung

In der Literatur sind eine Vielzahl von Energieeffizienzmaßnahmen hinsichtlich Senkung von Wärme und Stromverbrauch bekannt. Laut einer Erhebung des Stuttgarter Instituts für Energieeffizienz in der Produktion EEP hat für 60 % der Galvanikunternehmen die Energieeffizienz daher auch eine verhältnismäßig große Bedeutung [20]. Jedoch gibt es in der Branche relativ wenig Aktivitäten Energieeffizienzmaßnahmen auch umzusetzen. Ein Benchmark, der den Unternehmen aufzeigt, wie sie im Vergleich mit Branchenteilnehmern positioniert sind, kann ein geschärftes Bewusstsein für die Potentiale von Effizienzmaßnahmen schaffen.

Gerade Unternehmen der Galvanikbranche stehen lediglich begrenzte Ressourcen zur Verfügung Energieeffizienzpotenziale zu ermitteln. Der Benchmark ermöglicht es KMU mit geringem Ressourcenaufwand neue Potenziale und Schwachstellen zu entdecken. Ebenfalls können konkrete Umsetzungsideen und neue Maßnahmenfelder vorgestellt werden, welche sowohl die energetische Leistung verbessern, als auch die Produktivität erhöhen sollen. Zudem ist die Steigerung der Energieeffizienz eine der drei tragenden Säulen der Energiewende. Dabei will die Bundesregierung die Energieeffizienz um 32,5 % bis 2030 verbessern [21]

Bei den rund 1.500 oben genannten KMU der Branche ergibt sich bei einem durchschnittlichen Energieverbrauch pro Jahr und Betrieb von 7.500 MWh ein Gesamtenergieverbrauch von rund 11.250 GWh (entspricht 4.500.000 tCO₂). Nach Expertenansicht können unternehmensindividuell 10 - 20 % Energieeinsparungen realisiert werden [22]. Daraus können Energieeinsparungspotentiale von 1.125 bis 2.250 GWh oder 450.000 bis 900.000 tCO₂ entstehen. Hierbei ist sicherlich nicht von kurzfristigen Effekten, jedoch bei einem erfolgreichen Start des Benchmarks von einer Anstoßwirkung in der Branche, auszugehen.

Innerhalb des Projekt wurde festgestellt, dass insbesondere eine Elektrifizierung mit einem Ökostromtarif die CO₂-Emissionen signifikant reduzieren kann (siehe Abbildung 10). Je nach Energieverbrauch, Verfahren, Größe, etc. können so die CO₂-Emissionen um bis zu 30% (Aprikose) reduziert werden. Auch die Installation einer PV-Anlage oder eines BHKWs wirkt sich positiv auf den Ausstoß aus. So emittieren die Unternehmen mit einem BHKW im Durchschnitt weniger CO₂-Emissionen als Unternehmen ohne ein BHKW im Einsatz.

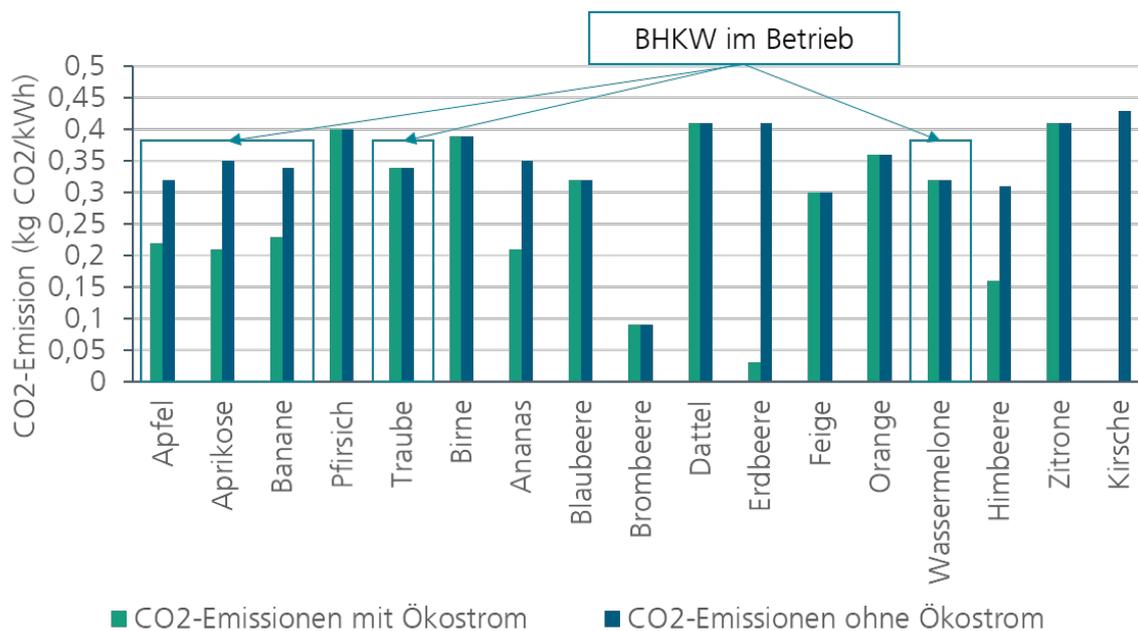


Abbildung 10 Spezifische CO₂-Emissionen der analysierten Unternehmen

Das Alter von Galvanikanlagen kann ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch haben. So wurden zwei Linien mit ähnlichem Produktionsvolumen und Teilen miteinander verglichen und es konnte festgestellt werden, dass Zink 2 (1985) gegenüber Zink 1 (2006) einen höheren spezifischen Energiebedarf hat (28 %) (Abbildung 11). Neben dem Alter können auch weitere Bedingungen, wie standortspezifisches Wetter, Schichtdicke, etc. einen Einfluss haben. Nichtsdestotrotz kann das Alter bei der Berücksichtigung der Energieeffizienz einen entscheidenden Einfluss haben und sollte von allen Betrieben aus der Galvanobranche spezifisch bewertet werden.

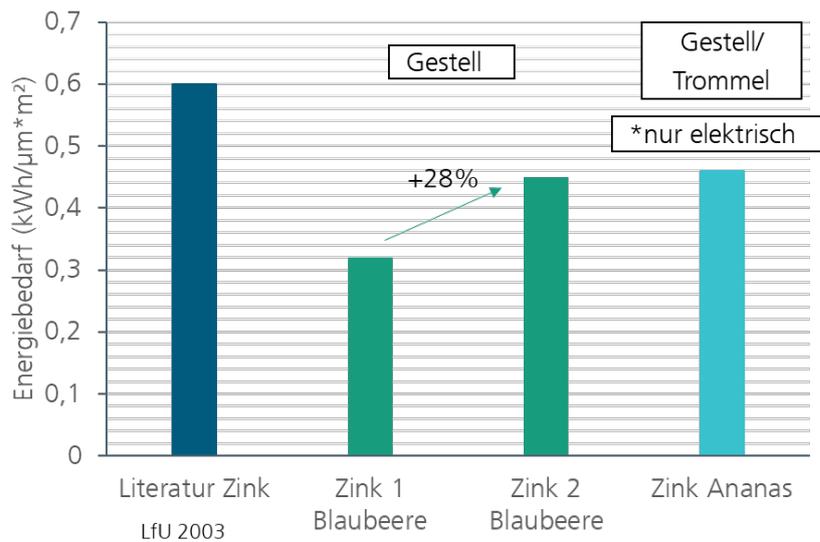


Abbildung 11 Vergleich verschiedener Zink-Linien hinsichtlich des spezifischen Energiebedarfs und Abgleich mit Literaturwerten

Neben der Erhöhung der Energieeffizienz wurde ebenfalls der Ressourceneinsatz der Galvanikunternehmen verglichen. Hierbei wurde vor allem zwischen Wasser (Frisch- und Abwasser) und dem Chemikalieneinsatz (Ansatzchemikalien und Abwasseraufbereitung) unterschieden. Die größten Stellhebel bei der Ressourceneffizienz stellen sicherlich Chemikalien und Wasser dar. Da hier aufgrund der Heterogenität der Unternehmen die Prozesse unterschiedlich (oft) vor- und nachbehandelt werden und die Verschleppung somit stark abhängig vom Prozess ist, kann aktuell keine Aussage über die möglichen Einsparungen getroffen werden.

2.4. Verbreitung der Ergebnisse

Folgende Aufzählung zeigt einen Überblick über die Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse:

1. Die Ergebnisse wurden den teilnehmenden Unternehmen in einer Abschlusspräsentation vorgestellt. Hier konnten die Unternehmen sich anonym zuschalten, Fragen stellen und anschließend bei den Projektpartnern sich melden.
2. Darüber hinaus wurden die erzielten Ergebnisse einem Fachpublikum des ZVO (Zentralverband Oberflächentechnik) im Rahmen einer Messe/Fachkongress vorgestellt. Die Ergebnisse wurden von Stefan Kölle anschließend mit interessierten Unternehmen diskutiert und es gibt relevante Anknüpfungspunkte, dass weitere Unternehmen teilnehmen wollen. (<https://oberflaechentage.zvo.org/rueckblick/nachbericht-2022>)
3. Die Projektpartner vom EEP und IFF (Verena Lampret, Stefan Kölle, Ekrem Köse, Alexander Sauer) haben eine peer-reviewed Veröffentlichung mit dem Titel „Benchmarking in der Galvanotechnik - Ableitung relevanter Kennzahlen für Galvanobetriebe“ geschrieben. Das Paper wird in der Werkstatttechnik in der Ausgabe 02/23 veröffentlicht. Nachfolgend der Abstract des Papers:
„Steigende Energiekosten und ambitionierte Klimaschutzziele erhöhen den Handlungsbedarf, die Energieeffizienz zu steigern. Um einen Vergleich und eine Entscheidungshilfe von Energieeffizienzmaßnahmen für die energieintensive Galvanobranche zu schaffen, wurde ein Energie- und Ressourceneffizienzbenchmark durchgeführt. Herausforderungen bei der Erhebung sind die Heterogenität der Galvanobranche sowie verschiedene Messinfrastrukturen. Dennoch ist es gelungen, einen Vergleich zu schaffen und Handlungsbedarfe sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz zu identifizieren.“
4. Das Projekt und auch die Ergebnisse werden auf der Homepage des EEP (<https://www.eep.uni-stuttgart.de/forschung/projekte/>), des Fraunhofer IPAs (<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/BenG.html>) und der GalvanoFlex-Seite (<https://www.galvanoflex-bw.de/>) für weitere Unternehmen aus der Galvanobranche zur Verfügung gestellt. Hier können interessierte Unternehmen die Unterlagen sichten und die Projektpartner kontaktieren.
5. Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde ein Mailing mit den wichtigsten Erkenntnissen aufgesetzt. Hier hat das Fraunhofer IPA eine Mailingaktion gestartet und somit ca. 250 Unternehmen aus der Galvanobranche erreicht.

3. Fazit

Für das Projekt waren Messkampagnen bei teilnehmenden Unternehmen geplant, um identische Bilanzrahmen für die Analyse der Verfahren zu gewährleisten. Die Messkampagnen waren aufgrund der mit der COVID-Pandemie einhergehenden Kontaktbeschränkungen nicht möglich. Um dennoch die für einen Benchmark notwendigen Daten zu erhalten, wurde ein Fragebogen entwickelt. Dieser Fragebogen ermittelt auf Unternehmens- und Linien-/Prozessebene die relevanten Daten zur Berechnung von Energie- und Ressourcenkennzahlen ab. Auf den Benchmark wurde per Mailing und auf Veranstaltungen wie den Oberflächentagen hingewiesen. Zur Unterstützung beim Ausfüllen des Fragebogens, konnten teilnehmende Unternehmen per Email Rückfragen stellen oder bilaterale Gespräche führen.

Insgesamt haben 17 Unternehmensstandorte am Benchmark teilgenommen. Von diesen Unternehmen haben neun Unternehmen den Fragebogen nicht nur auf Unternehmensebene, sondern ebenfalls vollständig auf Linien- und Prozessebene ausgefüllt. So konnten die Kennzahlen dieser Unternehmen bestimmt und miteinander verglichen werden. Weiterhin war hier eine Clusterung in Gruppen mit ähnlichen Verfahren möglich. Die bestimmten Kennzahlen konnten mit Kennzahlen aus Literaturdaten verglichen werden. Durch die Heterogenität der teilnehmenden Unternehmensstandorte und die geringe Stichprobengröße, waren nur wenige Rückschlüsse auf den Mehrwert von Energieeffizienzmaßnahmen möglich. Lediglich bei einem Unternehmen konnte eine alte mit einer neuen Linie verglichen werden und eine Verbesserung der Energieeffizienz bei der neuen Linie im Vergleich zur alten festgestellt werden. Weiterhin konnte allgemein festgestellt werden, dass der Einsatz von BHKW einen Mehrwert für Unternehmen darstellt. Bezogen auf die Ressourceneffizienz waren aufgrund der wenigen zur Verfügung gestellten Daten und der geringen Stichprobengröße kaum Aussagen möglich.

Abschließend lassen sich einige Handlungsempfehlungen für weitere Benchmarks identifizieren. Bezogen auf den Fragenkatalog sollte die Hemmschwelle für eine Teilnahme weiter gesenkt werden. Nach diesem ersten Benchmark ist nachvollziehbar, welche Daten bei Unternehmen vorliegen und welche Kennzahlen bestimmt werden können. Dadurch kann der Umfang des Fragenkatalogs verringert und auf wesentliche Daten beschränkt werden. Die Bearbeitungsdauer des Fragebogens würde dadurch reduziert werden. Um einen identischen Bilanzrahmen bei teilnehmenden Unternehmen und eine identische Datenstruktur zu gewährleisten, sollten bei einem weiteren Benchmark Messkampagnen durchgeführt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass nicht nur Daten aus übergeordneten Messzählern genutzt werden können, sondern alle notwendigen Daten auf Linien- und Prozessebene vorliegen.

Die Wiederholung des Benchmarks könnte bei teilnehmenden Unternehmen zu einem internen Energie- und Ressourceneffizienztracking beitragen und den Mehrwert von umgesetzten Maßnahmen aufzeigen.

Als letzte Empfehlung sollte der Fragenkatalog auf einer Website implementiert werden. Teilnehmende Unternehmen könnten sich registrieren und direkt ihre Daten angeben. Die Daten werden auf Plausibilität geprüft und automatisiert ausgewertet. Durch eine regelmäßige Datenerhebung und die Zuweisung zu einem Profil für Unternehmen, kann das Unternehmen sich zeitnah den Mehrwert von Maßnahmen ausgeben lassen.

Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt, "Europäische Energie- und Klimaziele,," Dessau, 2022. Accessed: Jan. 30 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>
- [2] EEP - Institut für Energieeffizienz in der Produktion, *Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie: Ausgewählte Ergebnisse der Wintererhebung 2011/2019*. Studie.
- [3] D. Gensing, D. Wang, and A. Sauer, "Markterhebung Energieaudit: Befragung zur Wirksamkeit von Energieaudits.," 2016. Accessed: Jan. 30 2023. [Online]. Available: <https://www.denbag.de/news/news-presse/newsarchiv/ergebnisse-markterhebung-energieaudit-2016>
- [4] H. Kämper, "Energieeffizienzpotenziale bei Geschäftskunden: Studie," 2010. Accessed: Jan. 30 2023. [Online]. Available: https://www.bdew.de/media/documents/2010_BDEW_StudienEnEff.pdf
- [5] WZL RWTH Aachen, "Ihr Vorteil,," 2023. Accessed: Jan. 30 2023. [Online]. Available: https://wzl.rwth-aachen.de/www_files/FLYER_Produktbenchmarking.pdf
- [6] J. Lässig, T. Schütte, and W. Riesner, Eds., *Energieeffizienz-Benchmark Industrie: Energieeffizienzkennzahlen 2020*, 1st ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg, 2022. [Online]. Available: <https://permalink.obvsg.at/AC16681811>
- [7] J. Lässig, T. Schütte, and W. Riesner, Eds., *Energieeffizienz-Benchmark Industrie: Energieeffizienzkennzahlen 2016*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2018. [Online]. Available: <http://www.springer.com/>
- [8] Europäische Kommission, "BESS - Benchmarking and Energy management Schemes in SMEs: BESS - Benchmarking and Energy management Schemes in SMEs Erläuterung des Web-basierten BESS Benchmarking Systems,," 2020. [Online]. Available: http://www.energymanagement.at/fileadmin/elearning/Benchmarking/Benchmarking_Erlaeuterung.pdf
- [9] Swerea, "Jämför energianvändning,," Stockholm, 2020. Accessed: Jun. 14 2020. [Online]. Available: <http://extra.swerea.se/enig/?lang=sv-SE>
- [10] *DIN EN 16231:2012: Energieeffizienz-Benchmarking-Methodik:*
- [11] P. Kauschke, C. Nagel, and J. Buchgeister, "Transparenz durch Umweltkennzahlen: Umweltmanagement ist auch für kleine und mittelständische Betriebe der Galvano- und Oberflächentechnik rentabel.," in *Qualität und Zuverlässigkeit*, pp. 688–692.
- [12] *Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*, DIN EN ISO 50001, Aug. 2018.
- [13] M. A. Rotzoll, "Erfahrungsgestützte Optimierung der Produktionsleistung: systematische Aufdeckung und Ausschöpfung von Verbesserungspotentialen mittels Interdependenzbenchmarking,," Dissertation, Hannover, 1999.
- [14] C. König, "Umstellung bestehender galvanotechnischer Anlagen auf stoffverlustminimierte Prozesstechnik bei gleichzeitiger Kostensenkung: Teilvorhaben 2: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.,," Frankfurt/Main, 2003. Accessed: Aug. 5 2020. [Online]. Available: https://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/28016_-_Abschlussbericht.pdf

- [15] Fraunhofer ISI, "Kosten-/Nutzen-Analyse von Instrumenten zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland: Ausgestaltungsoptionen und Bewertung von Instrumenten und möglicher Instrumentenkombinationen für Deutschland," Karlsruhe, 2014. Accessed: Jan. 30 2023. [Online]. Available: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/kosten-nutzen-analyse-von-instrumenten-zur-realisation-von-endenergieeinsparungen-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [16] Umweltbundesamt, *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung: Merkblatt zu den besten verfügbaren Techniken für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen*. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_galvanik_zf.pdf (accessed: Oct. 7 2022).
- [17] Fraunhofer ISI, *Industriebenchmarking - Energieeffizienz*. [Online]. Available: <https://www.industriebenchmarking.eu/energie> (accessed: Jan. 30 2023).
- [18] K. Kulterer, *Energieeffizienz in Kältesystemen: Beraterinformationen klima:aktiv Programm energieeffiziente Betriebe*. Wien, 2007. Accessed: Oct. 7 2022. [Online]. Available: https://www.ztk.at/dl/Energieeffizienz_Kaeltesysteme_klima_aktiv.pdf
- [19] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, *Chance Flächenrecycling: Zukunft ohne Altlasten ; Ratgeber für Kommunen und Investoren*. Augsburg, 2008. Accessed: Aug. 11 2022.
- [20] Insitut für Energieeffizienz in der Produktion EEP, *Energieeffizienz-Index*. [Online]. Available: <https://www.eep.uni-stuttgart.de/eei/archiv-aeltere-erhebungen/> (accessed: Sep. 27 2019).
- [21] Umweltbundesamt, *Europäische Energie- und Klimaziele*. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele> (accessed: Sep. 27 2019).
- [22] Bayer. Landesamt für Umweltschutz, Ed., "Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie," Augsburg, 2003.

Anhänge

Betreute Abschlussarbeiten

Gröger, Fabian	„Energie- und Ressourceneffizienz in der Galvanoindustrie – Entwicklung einer Methodik für den Kennzahlenvergleich von Galvanikbetrieben“, abgeschlossen am Februar 2021
Eller, Urs	„Entwicklung einer Methode zur digitalisierten Verarbeitung von Energieverbräuchen und automatisierten Auswertung von Energieeffizienzmaßnahmen, abgeschlossen im Juli, 2022