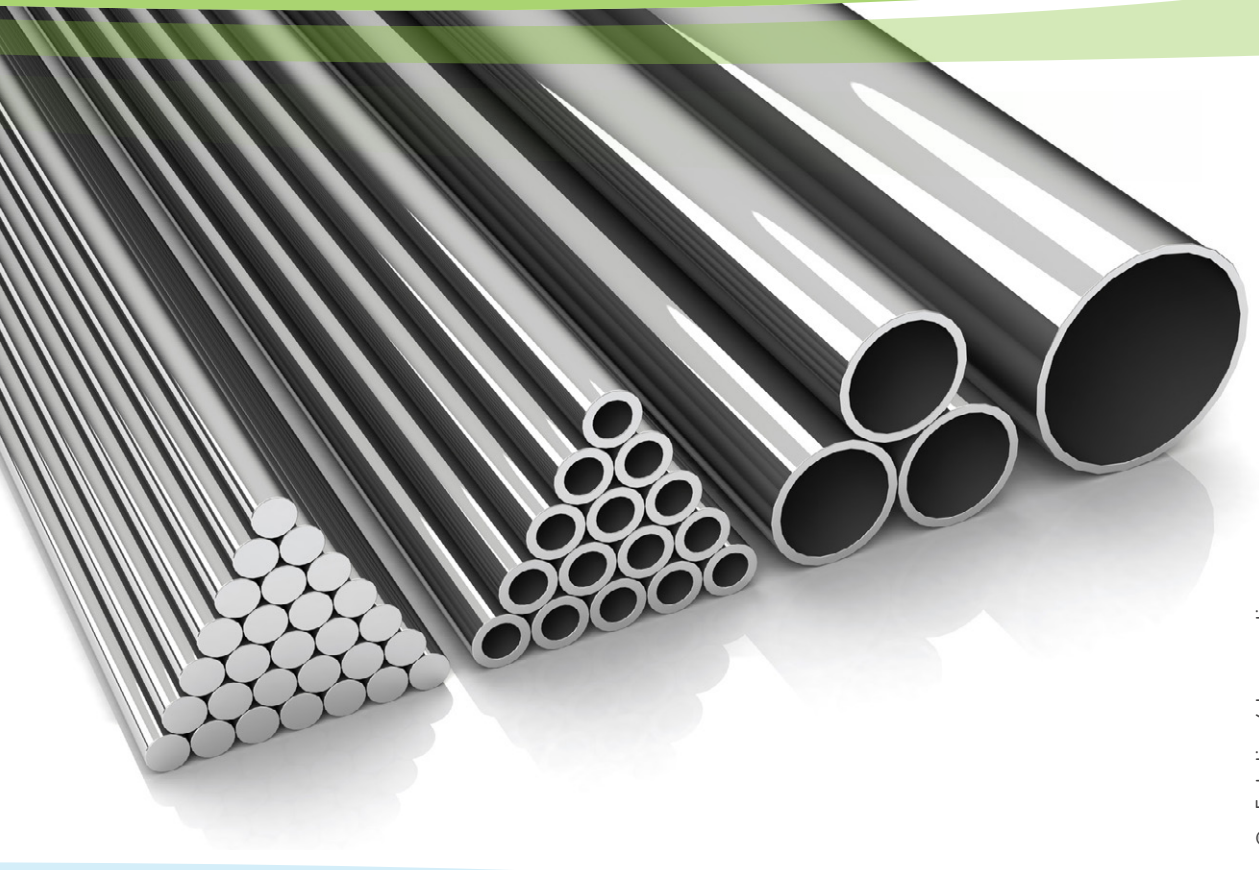


VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Studien



© Fotolia / beermedia

Analyse von Potenzialen der Material- und
Energieeffizienz in ausgewählten Branchen
der Metall verarbeitenden Industrie

Juni 2013

Studie: Analyse von Potenzialen der Material- und Energieeffizienz in ausgewählten Branchen der Metall verarbeitenden Industrie

3. Auflage 2016

Die Studie wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erstellt.

Erstellt von:

ITCL GmbH

Transfer Center for Logistics Plannig and Innovation

Hardenbergstr. 9

10623 Berlin

Technische Universität Berlin

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger

Autoren:

Soner Emec, Tim Stock, Pinar Bilge, Philippe Tufinkgi, Cornelia Kaden, Günther Seliger

Im Auftrag der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Fachliche Ansprechpartner:

Kerstin Drechsler, Christof Oberender, Sebastian Schmidt

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Bertolt-Brecht-Platz 3

10117 Berlin

Tel. 030 - 27 59 506 - 0

Fax 030 - 27 59 506 - 30

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Grafik und Satz: Marco Naujokat; ESM Satz und Grafik GmbH

Titelbild: ©beermedia - Fotolia.com

Druck: Sprintout Digitaldruck, Grunewaldstraße 18, 10823 Berlin

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

Studie

Analyse von Potenzialen der
Material- und Energieeffizienz in
ausgewählten Branchen der Metall
verarbeitenden Industrie

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	9
1. MANAGEMENT SUMMARY	10
2. ZIEL UND METHODIK DER WISSENSCHAFTLICHEN UNTERSUCHUNG	12
2.1. Ziele der Untersuchung	12
2.2. Methodik der Untersuchung	13
3. DAS VERARBEITENDE GEWERBE UND DIE FOKUSBRANCHEN	22
4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG	29
4.1. Ergebnisse der Grobpotenzialbewertung	29
4.2. Ergebnisse der Feinpotenzialanalyse	40
4.2.1 Prozesskettenbetrachtung und Energietreiber	45
4.2.2 Peripherie-, Methoden- und Technologiematrix	49
4.2.3 Hochrechnung	59
4.3. Kritische Würdigung der Ergebnisse	65
5. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	70
5.1. Verbesserung der Datenbasis für die Bestimmung von Ressourceneffizienzpotenzialen	70
5.2. Weiterbildung, methodische Standardisierung und Zertifizierung im Bereich Rohstoff-/Energieeffizienz	71
5.3. Ganzheitliche Ressourcenmanagementsysteme	72
6. LITERATURVERZEICHNIS	74
7. ANHANG	78
8. GLOSSAR	79

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a. n. g.	anderweitig nicht genannt
BWS	Bruttowertschöpfung (Definition siehe Glossar)
ERP	„Enterprise-Resource-Planning“
FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen (Definition siehe Glossar)
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
QFD	Quality Function Deployment
RHB	Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe (Definition siehe Glossar)
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung (Definition siehe Glossar)
UMS	Umweltmanagementsystem
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz
WZ	Wirtschaftszweig

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Struktur der Untersuchung	13
Abbildung 2: Methodik der Grobpotenzialanalyse	17
Abbildung 3: Bewertungsrelevante Größen auf Branchen- und Prozessebene	18
Abbildung 4: Vorgehen der Feinpotenzialanalyse	20
Abbildung 5: Entwicklung der Bruttowertschöpfung in Deutschland von 1992 bis 2011	22
Abbildung 6: Anteile der Wirtschaftsbereiche an der Bruttowertschöpfung 2011	23
Abbildung 7: Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe 2010	24
Abbildung 8: Verbrauch an RHB im Verarbeitenden Gewerbe 2010	24
Abbildung 9: Material- und Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe 2010	25
Abbildung 10: Beschäftigte, Umsatz und Anzahl der Unternehmen im WZ 25 „Herstellung von Metallerzeugnissen“	27
Abbildung 11: Energie- und Materialverbrauch gesamt “Herstellung von Metallerzeugnissen”, Stand 2010	28
Abbildung 12: Vorgehensweise und Ergebnis der Grobpotenzialbewertung	30
Abbildung 13: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Wirtschaftszweige (Arbeitsschritt 2, Arbeitspaket 1)	34
Abbildung 14: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Branchen (Arbeitsschritt 3, Arbeitspaket 1)	37
Abbildung 15: Scoring-Modell zur Bewertung zukünftiger Ressourcenverbräuche	39
Abbildung 16: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Branchen für die Feinanalyse (Arbeitsschritt 4, Arbeitspaket 1)	40
Abbildung 17: Ermittelte Einsparpotenziale für Material und Energie für Wirtschaftszweig 25	42
Abbildung 18: Theoretisches Vorgehensmodell zur Hochrechnung	43
Abbildung 19: Durchschnittliche Verteilung des Energieverbrauchs auf die Anwendungsbereiche in der Industrie	44
Abbildung 20: Beispiel Boxplot-Darstellung	44
Abbildung 21: Darstellung der Branchen Schmiede und Metalltanks mit ihren Prozessketten, Prozessen und zugeordneten Verfahren sowie Überschneidungen der Branchen	47
Abbildung 22: Darstellung der Branche Oberflächenveredelung mit ihren Prozessketten, Prozessen und zugeordneten Verfahren	48
Abbildung 23: Übersicht: Matrizen und Methode zur konservativen Abschätzung der Potenziale	51
Abbildung 24: Sankey-Diagramm, Materialverlust für die betrachteten Firmen pro Jahr nach VerMat-2012	54

Abbildung 25: Boxplot-Darstellung der Potenziale zur Energieeinsparung in der Peripherie	59
Abbildung 26: Boxplot-Darstellung Potenziale zur Materialeinsparung durch Analyse- und Optimierungsmethoden	60
Abbildung 27: Boxplot-Darstellung: Potenziale zur Energie- und Materialeinsparung durch Technologien	61
Abbildung 28: Darstellung der anteiligen Energieeinsparpotenziale	63
Abbildung 29: Darstellung der minimalen und maximalen Materialeinsparungen bezogen auf WZ	64

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Wirtschaftszweige (WZ) des Verarbeitenden Gewerbes	15
Tabelle 2:	Wirtschaftszweige und Branchen der Metall verarbeitenden Industrien	16
Tabelle 3:	Bewertungsfaktoren für das Scoring-Modell	19
Tabelle 4:	Fokusbranchen und dazugehörige Subbranchen	26
Tabelle 5:	Beschäftigte, Umsatz und Anzahl der Unternehmen in den Fokusbranchen	27
Tabelle 6:	Intensitätskennzahlen am Beispiel Energie	31
Tabelle 7:	Verbrauchsintensitätskennzahlen am Beispiel Energie	32
Tabelle 8:	Rangfolgen der Verbrauchsintensitäten der Wirtschaftszweige	32
Tabelle 9:	Rangplätze der gewichteten Verbrauchsintensitäten	33
Tabelle 10:	Übersicht der Branchen in der zweiten Stufe des Filterprozesses	35
Tabelle 11:	Rangfolgen der Energie- und Materialintensitäten je Branche innerhalb der WZ	36
Tabelle 12:	Grundlegende Bewertungsrichtlinien für das Scoring-Modell	41
Tabelle 13:	Hochrechnungsmodell	44
Tabelle 14:	Energietreiber in der Metall verarbeitenden Industrie	46
Tabelle 15:	Peripheriematrix: Potenziale der Energieeinsparung je Systemverbesserung in Prozent	52
Tabelle 16:	Auszug des Maßnahmenkatalogs, Bereich Analyse- und Optimierungsmethoden	55
Tabelle 17:	Ausschnitt aus der Technologiematrix	58
Tabelle 18:	Übersicht der Hochrechnungen für das HIGH- und LOW-Potenzial	62
Tabelle 19:	Energieeinsparpotenziale je Branche	63
Tabelle 20:	Materialeinsparpotenziale je Branche	64
Tabelle 21:	Ermittelte Potenziale für CO ₂ -Reduktion, bezogen auf Material- und Energieeinsparung	64

1. MANAGEMENT SUMMARY

Angesichts der Verfünffachung von Preisen für Metalle wie zum Beispiel Kupfer¹ und der Verdreifachung von Energiepreisen² in den letzten zehn Jahren stellt die Erhöhung der Ressourcenproduktivität in der deutschen Metall verarbeitenden Industrie einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor dar.

Das Ziel der Untersuchung liegt in der Abschätzung von Potenzialen der Material- und Energieeffizienz für ausgewählte Branchen der Metall verarbeitenden Industrie. Die Auswahl der betrachteten Branchen basiert auf einer Grobanalyse der Effizienzpotenziale der verschiedenen Branchen der Metall verarbeitenden Industrie, die sowohl die aktuellen Ressourcenverbräuche beziehungsweise -intensitäten als auch zukünftige Branchenentwicklungen berücksichtigt. Im Ergebnis dieser Grobanalyse wurden die Branchen

- Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik anderweitig nicht genannt [a. n. g.],
- Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen,
- Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen

identifiziert und in vertiefende Feinanalysen einbezogen. Mit den ausgewählten Branchen werden 44 Prozent der Beschäftigten, mehr als die Hälfte der registrierten Unternehmen und rund 40 Prozent des erwirtschafteten Umsatzes des Wirtschaftszweiges [WZ] „Herstellung von Metallerzeugnissen“ repräsentiert.

In der Feinanalyse wurden zu möglichen Effizienzpotenzialen die Bereiche Technologie, Peripherie und Optimierungsmethoden analysiert und als Grundlage der Hochrechnung zur Bestimmung sinnvoller Schätzintervalle genutzt. Zur Zuordnung und Systematisierung der relevanten Effizienzpotenziale wurde eine prozessorientierte Sicht gewählt, die eine entsprechende Schwerpunktsetzung zukünftiger Maßnahmen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz erlaubt.

Im Ergebnis der Hochrechnung über die drei betrachteten Branchen konnten im Bereich Material Einsparpotenziale von zwei bis sechs Prozent pro Jahr ausgewiesen werden. Dies entspricht einem monetären Wert im Jahr 2012 von 763 bis 2.364 Millionen Euro. Im Bereich Energie wurden im Rahmen der Hochrechnung Einsparpotenziale über alle Branchen in Höhe von fünf bis 14 Prozent ermittelt, was eine monetäre Einsparung von 96 bis 280 Millionen Euro ausmacht. Das höchste Einsparpotenzial im Bereich Material mit maximal 1.298 Millionen Euro konnte in der Branche „Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen“ ausgewiesen werden. Im Bereich Energie sind die höchsten Einsparungen mit 146 Millionen Euro in der Branche „Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.“ festzumachen.

¹ Vgl. London Metal Exchange (1/2013).

² Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2013c, S. 13 ff.

Zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Metall verarbeitenden Industrie wurden drei Schwerpunktthemen identifiziert:

- Die Datenbasis, die einerseits eine Grundlage für belastbare Aussagen und Entscheidungen innerhalb der Unternehmen bildet und andererseits zur Kommunikation und Bewertung nach außen dient, muss verbessert werden.
- Des Weiteren sind Zertifizierungen im Bereich der Ressourceneffizienz differenziert nach verschiedenen Rohstoffarten weiterzuentwickeln.
- Zur gezielten Umsetzung und Bewertung bestehender Effizienzmaßnahmen werden vor allem die Weiterentwicklung und Implementierung integrierter Umwelt- und Ressourcenmanagementsysteme herangezogen.

Alle drei Schwerpunktthemen sollten durch gezielte Informationsprogramme sowie Beratungs- und Weiterbildungsförderung unterstützt werden.

2. ZIEL UND METHODIK DER WISSENSCHAFTLICHEN UNTERSUCHUNG

Das definierte Ziel der Untersuchung besteht in der Quantifizierung von Potenzialen der Material- und Energieeffizienz in der Metall verarbeitenden Industrie. Hierfür wurde eine Methode zur Bewertung der branchenspezifischen Potenziale entwickelt. Dazu werden drei aus 35 Branchen der Metall verarbeitenden Industrie tiefergehend auf Potenziale untersucht. Im Ergebnis der Untersuchung werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, mit denen ein Beitrag zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Metall verarbeitenden Industrie geleistet werden kann. Die Methodik der Untersuchung basiert auf einem zweistufigen Analyseprozess, der sich über eine Grob- und eine Feinpotenzialanalyse erstreckt.

Quantifizierung
von Potenzialen
der Material- und
Energieeffizienz
als Ziel der
Untersuchung

2.1. Ziele der Untersuchung

Die Studie wurde mit zwei wesentlichen Zielstellungen vom VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE), einer Projektkooperation des Bundesumweltministeriums mit dem Verein Deutscher Ingenieure, initiiert. Die Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Methodik zur Bewertung von Ressourceneffizienzpotenzialen bildet die Ausgangszielstellung für die folgende Untersuchung. Unter Anwendung der entwickelten Methode erfolgt eine umfassende, sekundärdatenbasierte Analyse der Material- und Energieeffizienz in drei Branchen der Metall verarbeitenden Industrie, bei denen ein hohes Einsparpotenzial zu erwarten ist. Im Ergebnis liegen verständliche und praktikable Lösungen vor, die einen wesentlichen Beitrag zur Erschließung von Potenzialen und somit auch zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)³ der Bundesregierung leisten. Resultierend aus den Ergebnissen der Studie können für die Akteure aus Wirtschaft und Politik, hier im Speziellen für die Fokusbranchen der Metall verarbeitenden Industrie, Effizienzmaßnahmen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Ökonomie und Ökologie in den betrachteten Unternehmen ermöglichen und somit einen Beitrag zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität leisten.

Der Zuwachs von Wohlstand und Bevölkerung stellt nur eine Ursache für die seit Jahrzehnten kontinuierliche Zunahme der Nachfrage nach Konsum- und Wirtschaftsgütern dar. Durch eine nicht nachhaltige Produktion werden die natürlichen Ressourcen unserer Erde stark in Anspruch genommen, was unabdingbar zu einer zunehmenden Konkurrenz um die knapper werdenden Rohstoffe führt. Infolgedessen ist der effiziente Umgang mit den natürlichen Ressourcen eine globale Herausforderung und eine dringliche Aufgabe, die bereits in den politischen Fokus gerückt ist. Die Verankerung der Ressourcenschonung sowohl im EU-Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa als auch im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung lässt zukünftig eine Fokussierung der politischen Entscheidungen auf Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Wirtschaft in Verbindung mit Ressourcenschutz und -effizienz

³ Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.02.2012

erwarten. Gleiches gilt für die deutsche Nachhaltigkeits- und für die deutsche Rohstoffstrategie.

Die Betrachtung in der Studie bezieht sich auf die Produktionsprozesse, deren unmittelbare Peripherie sowie prozessuale und strukturelle Maßnahmen im Fabrikbetrieb. Aspekte der Gebäudegestaltung, der Gebäudeeinrichtung und entsprechende Maßnahmen des Energiemanagements werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt. Eine Bewertung der identifizierten Maßnahmen zur Umsetzung von Ressourceneffizienzpotenzialen hinsichtlich notwendiger Investitionen und korrespondierender Amortisationszeiten ist nicht Bestandteil der Untersuchung, da eine entsprechende Betrachtung unternehmensspezifische Kontexte einbeziehen müsste und nicht über eine generische Betrachtung sinnvoll realisierbar ist.

2.2. Methodik der Untersuchung

Die entwickelte Methodik basiert auf einer sekundärdatenbasierten Analyse einzelner, im Rahmen der Untersuchung identifizierter Branchen der Metall verarbeitenden Industrie. Der grundsätzliche methodische Ansatz entspricht einer bottom-up-orientierten, fallbasierten Analyse von Effizienzpotenzialen in ausgewählten Branchen. Die Identifikation und Auswahl dieser Fokusbranchen erfolgen über die Bewertung vergangenheitsbezogener Verbrauchsintensitäten und eine zukunftsorientierte Bewertung der Branchenentwicklung.

Die grundsätzliche Methodik der Untersuchung der Branchen der Metall verarbeitenden Industrie, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, setzt sich aus verschiedenen aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten zusammen. Ausgehend von den Vorgaben für die Untersuchung werden in Arbeitspaket 1 im Rahmen einer Grobpotenzialanalyse alle Branchen der Metall verarbeitenden Industrie untersucht und drei Branchen identifiziert, auf die Arbeitspaket 2 mit der Feinpotenzialanalyse fokussiert.

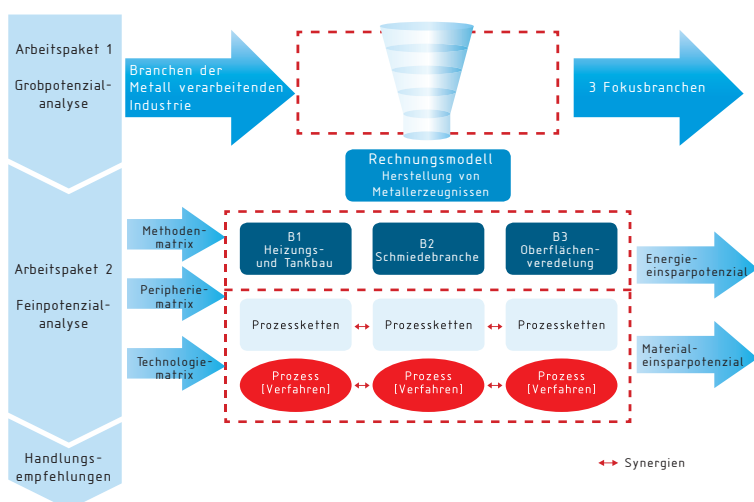


Abbildung 1: Struktur der Untersuchung

Grobpotenzialanalyse

Die Branchen der Metall verarbeitenden Industrie unterscheiden sich in den einzelnen Dimensionen, beispielhaft genannt seien hier Produktspektrum, Leistungstiefe und Wertschöpfungsstufe. Eine klare Branchenabgrenzung ist oft durch die unterschiedliche Ausprägung in den oben genannten Dimensionen nicht möglich. Dieser Aspekt wurde im Rahmen von Literaturrecherchen deutlich. Eine einheitliche Branchennomenklatur wird in Deutschland nicht angewendet. Vielmehr nutzen Verbände, Institutionen, Unternehmen und Ämter eigene Nomenklaturen für die Datenerhebung und die Branchendarstellung. Dieses Vorgehen erschwert eine Sekundärdatenerhebung beträchtlich, da Branchendaten zwar grundsätzlich erhoben und zur Verfügung gestellt werden, durch die fehlende Einheitlichkeit in den verwendeten Nomenklaturen sind sie jedoch in der Analyse nur schwer miteinander vergleichbar.

Verwendung der
Nomenklatur des
Statistischen
Bundesamtes

Die Definition eines einheitlichen Verständnisses über die Zielsetzung und den Untersuchungsrahmen bildet die Grundlage der Untersuchung. Um bei der Sekundärdatenanalyse eine möglichst hohe Datendichte zu erzielen, hat sich für die Untersuchung die Verwendung der Nomenklatur des Statistischen Bundesamtes⁴ als zweckmäßige Lösung herausgestellt.

Im Rahmen der Studie wurden aus den Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes - in der Art wie vom Statistischen Bundesamt zugeordnet und in Tabelle 1 abgebildet - diejenigen betrachtet, die der Metall verarbeitenden Industrie angehören. Die untersuchten Metall verarbeitenden Wirtschaftszweige sind in Tabelle 1 weiß hinterlegt. Die Branchen „Metallerzeugung und Bearbeitung“ sowie der Bausektor wurden explizit von der Analyse ausgeschlossen und sind somit nicht im Untersuchungsrahmen enthalten.

Diese sechs ausgewählten Wirtschaftszweige fassen insgesamt 35 Branchen der Metall verarbeitenden Industrie zusammen, unter denen 70 Subbranchen subsumiert sind. Tabelle 2 zeigt die betreffenden Wirtschaftszweige und die Branchen.

Der Fokus der Untersuchung wird auf die Branchenebene gelegt, die zweite Gliederungsebene in Tabelle 2. Im Rahmen des ersten Arbeitspaketes werden kennzahlenbasiert aus einer Gesamtmenge von 35 Branchen die drei Branchen mit den zu erwartenden größten nutzbaren Potenzialen herausgefiltert. Zum besseren Verständnis ist die Methodik der Grobpotenzialanalyse, die den Inhalt des ersten Arbeitspaketes ergibt, in Abbildung 2 detailliert mit den einzelnen Arbeitsschritten dargestellt.

Zur Definition des Untersuchungsrahmens zählt neben der zu verwendenden Branchennomenklatur auch die Festlegung des zeitlichen Bezugs für die Berechnung der Kennzahlen. Als zeitlicher Bezug wird der jeweils aktuellste Jahreszeitraum festgelegt, für den Sekundärdaten zu den definierten Branchen erhoben werden können.

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2007), S. 2.

WZ 2008 Code	WZ 2008 - Bezeichnung (a. n. g. = anderweitig nicht genannt)
10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln
11	Getränkeherstellung
12	Tabakverarbeitung
13	Herstellung von Textilien
14	Herstellung von Bekleidung
15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus
18	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
24	Metallerzeugung und -bearbeitung
25	Herstellung von Metallerzeugnissen
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen
28	Maschinenbau
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen
30	Sonstiger Fahrzeugbau
31	Herstellung von Möbeln
32	Herstellung von sonstigen Waren
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen

Tabelle 1: Wirtschaftszweige (WZ) des Verarbeitenden Gewerbes⁵

Jeder Produktionsprozess entlang der Wertschöpfungskette ist charakterisiert durch Input, spezifische Produktion und Output. Die für die Potenzialuntersuchung relevanten Ressourcen im Produktionsprozess werden grundsätzlich in zwei Kategorien unterteilt, in die Input-Ressourcen und in den umweltrelevanten Output, siehe Abbildung 3. Die im Rahmen dieser Studie analysierten Ressourceneffizienzpotenziale beziehen sich auf die eingesetzten Ressourcen. Potenziale, beispielsweise aus der Verminderung von Abfall und überschüssigem Material oder dessen (innerbetrieblichem) Recycling bleiben unberücksichtigt.

⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (2007), S. 78 ff.

25	H. v. Metallerzeugnissen
25.1.	Stahl- und Leichtmetallbau
25.2.	Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und Kesseln für Zentralheizungen
25.3.	Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
25.4.	Herstellung von Waffen und Munition
25.5.	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen
25.6.	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.
25.7.	Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen
25.9.	Herstellung von sonstigen Metallwaren
26	H. v. Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen
26.1.	Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten
26.2.	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten
26.3.	Herstellung von Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik
26.4.	Herstellung von Geräten der Unterhaltungselektronik
26.5.	Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren
26.6.	Herstellung von Uhren
26.7.	Herstellung von optischen und fotografischen Instrumenten und Geräten
26.8.	Herstellung von magnetischen und optischen Datenträgern
27	H. v. elektrischen Ausrüstungen
27.1.	Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätsverteilungs- und schalteneinrichtungen
27.2.	Herstellung von Batterien und Akkumulatoren
27.3.	Herstellung von Kabeln und elektrischem Installationsmaterial
27.4.	Herstellung von elektrischen Lampen und Leuchten
27.5.	Herstellung von Haushaltsgeräten
27.9.	Herstellung von sonstigen elektrischen Ausrüstungen und Geräten a. n. g.
28	Maschinenbau
28.1.	Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen
28.2.	Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen
28.3.	Herstellung von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen
28.4.	Herstellung von Werkzeugmaschinen
28.9.	Herstellung von Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen
29.1.	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren
29.2.	Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern
29.3.	Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen
30	Sonstiger Fahrzeugbau
30.1.	Schiff- und Bootsbau
30.2.	Schienenfahrzeugbau
30.3.	Luft- und Raumfahrzeugbau
30.4.	Herstellung von militärischen Kampffahrzeugen
30.9.	Herstellung von Fahrzeugen a. n. g.

Tabelle 2: Wirtschaftszweige und Branchen der Metall verarbeitenden Industrien⁶⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2007), S. 91 ff.



Abbildung 2: Methodik der Grobpotenzialanalyse

Die Unterteilung in Input und Output ermöglicht eine weitere Differenzierung der beiden Kategorien. Zum Input zählen die produktspezifischen Rohstoffe und Halbzeuge, ebenso die prozessspezifischen Hilfs- und Betriebsstoffe (RHB). Zum Output rechnen alle prozess- und produktspezifischen Emissionen wie Abfall, Abwasser, CO₂, etc. und die Erzeugnisse selbst. Jede der Ressourcengruppen lässt sich weiter in ihre einzelnen Ressourcen aufgliedern. Beispielhaft bedeutet das für die Ressourcengruppe Energie eine Aufteilung in Mineralöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Kernenergie, erneuerbare Energien, etc. Die Datenverfügbarkeit in diesem Detaillierungsgrad ist für alle Ressourcengruppen und Branchen nur unzureichend gegeben. Für Emissionen wie Abfall, Staub, Abwärme, Materialreste und sonstige Gase liegen keine aktuellen Daten auf Branchenebene vor. Sie sind der Vollständigkeit halber in Abbildung 3 aufgeführt (grau hinterlegt).

Die Bewertung der sechs definierten Wirtschaftszweige im zweiten Arbeitsschritt erfolgt über die Berechnung einer Gesamtressourcenverbrauchsintensität. Die strukturierte Gegenüberstellung der Ressourcenverbrauchskenndaten in einer Branchen-Rohstoff-Gruppen-Matrix ermöglicht Aussagen über die Höhe der Ressourcenverbräuche, lässt jedoch keine Aussagen hinsichtlich möglicher Effizienzpotenziale zu.

In Anlehnung an das Statistische Bundesamt, das die Effizienz bei der Faktorennutzung in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung [UGR] als Intensitätskennzahlen ausweist, wurden im Rahmen der Untersuchung Intensitätskennzahlen als Rechengrundlage genutzt. „Intensitäten werden in den UGR berechnet, um den ‚Umweltverbrauch‘ verschiedener Branchen miteinander vergleichbar zu machen.“⁷

⁷ Statistisches Bundesamt (2011), Tabellenband Teil 1

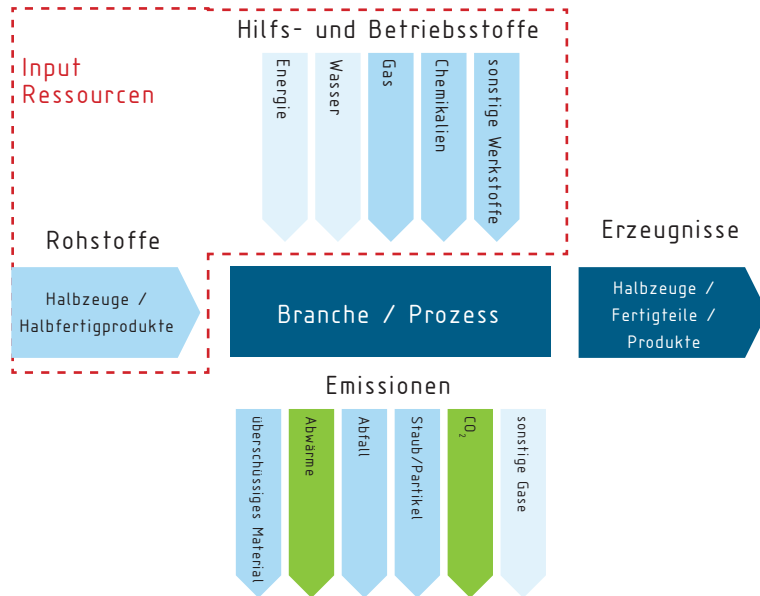


Abbildung 3: Bewertungsrelevante Größen auf Branchen- und Prozessebene

Zur Bewertung und zum Vergleich der Ressourcenverbräuche in den sechs Wirtschaftszweigen werden zunächst je Ressourcengruppe Intensitätskennzahlen berechnet, die die Branchenverbräuche mit den dazugehörigen Bruttoproduktionswerten des Vergleichszeitraumes ins Verhältnis setzen. Eine Gewichtung der Ressourcen anhand des Branchenanteils am Gesamtverbrauch ermöglicht die Bildung einer Gesamtverbrauchsintensitätskennzahl für den Ressourcenverbrauch und die Bildung einer Rangfolge der Verbrauchsintensitäten. Mit Hilfe dieses ersten Filters wird eine Reduzierung von ursprünglich sechs betrachteten Wirtschaftszweigen auf drei möglich.

Im sich anschließenden dritten Arbeitsschritt erfolgt eine differenzierte Bewertung der insgesamt 19 Branchen der drei ausgewählten Wirtschaftszweige hinsichtlich Materialintensität einerseits und Energieintensität andererseits. Diese Bewertung bildet die Grundlage für die Auswahl von neun aus 19 Branchen. Um in der weiteren Bewertung der Branchen keinen der drei ausgewählten Wirtschaftszweige zu verlieren, werden je Wirtschaftszweig die drei Branchen herangezogen, die die höchste Material- und Energieintensität aufweisen. Am Ende des dritten Arbeitsschrittes liegen insgesamt neun Branchen aus drei Wirtschaftszweigen für die weitere Analyse vor.

Um neben der reinen Vergangenheitsbetrachtung über Verbrauchs- und Intensitätskennzahlen auch die zukünftige Entwicklung der Branchen in den kommenden Jahren zu berücksichtigen, werden die neun Branchen in Arbeitsschritt vier anhand eines entwickelten zweidimensionalen Scoring-Modells bewertet. Die beiden Dimensionen für die Bewertung umfassen die Branchenentwicklung und das technologische Innovationspotenzial. Den beiden Dimensionen sind, in Anlehnung an das 5-Kräfte-Modell von Michael E.

Porter⁸, Faktoren zugeordnet, die den Ressourcenverbrauch in den kommenden Jahren signifikant beeinflussen können.

Die Auswahl der qualitativen und quantitativen Faktoren innerhalb der Dimensionen erfolgt unter der Maßgabe der Überschneidungsfreiheit, um eine übermäßig starke Gewichtung einzelner Ziele auszuschließen. Die Gewichtung der einzelnen Faktoren findet in Abstimmung mit dem Forschungsteam der Studie statt und wird im Anschluss mit Experten verschiedener relevanter Fachdisziplinen der TU Berlin⁹ diskutiert und finalisiert. Dem Modell liegt eine Bewertungsskala von einem bis zehn Punkten zugrunde, die für alle Kriterien verwendet wird. Durch die Punktevergabe je Subbranche und Kriterium wird die Höhe des Faktoreinflusses auf die Entwicklung der zu erwartenden Ressourcenverbräuche bewertet. Die Einschätzung „vollständig branchenwachstumsbeschränkend“ entspricht einem Wert von 1, „nicht branchenwachstumsbeschränkend“ einem Wert von 10. Die quantitativen Faktoren im Scoring-Modell werden über Zeitreihenanalysen bewertet, die qualitativen Faktoren über Literaturanalysen und Expertenbefragungen innerhalb verschiedener relevanter Fachdisziplinen der TU Berlin. Um den teilweise großen Ermessensspielräumen bei dieser Bewertung entgegenzuwirken, wird die Punktevergabe im Expertenteam durchgeführt.

Dimension	Faktor	
Branchenentwicklung	Ressourcen- verfügbarkeit	Zugang zu Rohstoffen
		Preisentwicklung von Rohstoffen
		Rohstoffreichweite
		Recyclingrate in Deutschland
		Substituierbarkeit von Rohstoffen
		Demographische Einflüsse
Technologisches Innovationspotenzial	Branchen- attraktivität	Branchengröße in Deutschland
		Branchenwachstum
		Marktstabilität
	Wettbewerbs- stärke	Partizipationsrate BIC Staaten
		Anteil Exportrate
		Wertschöpfungstiefe Deutschland
Technologisches Innovationspotenzial		Investitionen in Forschung & Entwicklung; staatl. Forschungsausgaben
		Produktlebenszyklus
		Innovationsintensität

Tabelle 3: Bewertungsfaktoren für das Scoring-Modell

⁸ Vgl. Porter, M. E. (1989), S. 17 ff.

⁹ Befragung von Mitarbeitern folgender Fachgebiete der TU Berlin: Energie- und Rohstoffwirtschaft, Technologie- und Innovationsmanagement, Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik

Die Ermittlung der gewichteten Gesamtpunktzahl für jede der neun Branchen ermöglicht die Priorisierung von drei Branchen als Input für eine detaillierte Branchenanalyse im zweiten Arbeitspaket. Es werden die drei Branchen mit den größten Punktzahlen ausgewählt - je höher die Punktzahl, desto positiver das erwartete Branchenwachstum und die technologischen Innovationspotenziale.

Eine Reflexion der priorisierten Branchen anhand politischer Schwerpunktthemen dient als Kontrollinstrument vor Beginn der Arbeiten in Arbeitspaket 2. Mit Hilfe der zweistufigen Methode werden drei aus 35 Branchen identifiziert, die neben einer bestehenden hohen Ressourcenintensität zukünftig einerseits ein weiteres Branchenwachstum in Deutschland erwarten lassen, was mit einem Anstieg des Ressourcenverbrauchs einhergehen würde, und bei denen andererseits die technologischen Innovationspotenziale noch nicht ausgeschöpft sind.

Feinpotenzialanalyse

Die anschließende Ermittlung spezifischer Einsparpotenziale in den drei identifizierten Branchen aus der Grobpotenzialanalyse erfolgt in drei wesentlichen Schritten. Zunächst werden für die einzelnen Branchen die branchenspezifischen Fertigungsprozesse in Form von Input-Output-Beziehungen erfasst und entsprechend der Prozesslogik zu Prozessketten verdichtet, die den ganzheitlichen Fertigungsumfang einer Branche abbilden. Im Ergebnis dieses Schrittes liegen alle relevanten Prozesse beziehungsweise Prozessketten vor, auf deren Basis insbesondere die Auswahl wesentlicher zu betrachtender Fertigungstechnologien erfolgt. Zudem können prozessbedingte Branchenüberschneidungen herausgearbeitet werden.

Ermittlung der Einsparpotenziale in drei Schritten



Abbildung 4: Vorgehen der Feinpotenzialanalyse

Im zweiten Schritt werden Einsparmöglichkeiten in Einzelbetrachtungen analysiert und in Form von Ressourceneinsparpotenzialen quantifiziert. Für die Einzelbetrachtungen haben sich die erwarteten Unterschiede in der Datenbasis und -qualität bestätigt. Bei der Quantifizierung von Potenzialen wird zum einen auf direkte, fertigungsprozessbezogene Einsparmöglichkeiten im Bereich der Fertigungstechnologien fokussiert. Zum anderen werden Maßnahmen zur Einsparung in der Peripherie der Prozesse und im Bereich des Fabrikbetriebs - im Sinne organisatorischer, prozessualer und personeller Verbesserungsmaßnahmen - betrachtet. Im Ergebnis dieses Schrittes liegen aus Einzelbetrachtungen ermittelte, quantifizierte Einsparpotenziale vor, die je nach Bezug in einer Technologie-, Peripherie- oder Verbesserungsmaßnahmenmetrik abgebildet werden.

Im abschließenden Schritt erfolgt die Hochrechnung der Ressourceneinsparpotenziale auf Branchenebene. Hierzu werden zunächst auf Basis der im zweiten Schritt ermittelten Einsparpotenziale untere und obere Grenzen abgeleitet (Low-High-Prinzip). Dazu erfolgt die Datenvisualisierung in Form von Box-Plot-Diagrammen; über das unterste beziehungsweise oberste Quantil wird das minimale beziehungsweise maximale Einsparpotenzial abgeschätzt. Anschließend werden für die minimalen und maximalen branchenspezifischen Material- und Energieeinsparpotenziale die arithmetischen Mittel über die drei Einspardimensionen (Technologie, Peripherie, Verbesserungsmaßnahmen) berechnet und auf die branchenspezifischen Material- und Energieverbräuche projiziert. Das Ergebnis der Hochrechnung ergibt minimale beziehungsweise maximale Material- und Energieeinsparpotenziale für die drei betrachteten Branchen.

3. DAS VERARBEITENDE GEWERBE UND DIE FOKUSBRANCHEN

Die Weltwirtschaft und damit auch die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands hängen direkt von der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen und der Ressourcenproduktivität ab. Es zeichnet sich ab, dass natürliche Ressourcen auf der ganzen Welt langfristig knapper und somit kostenintensiver werden. Nur eine Steigerung der Ressourcenproduktivität und die nachhaltige Nutzung der gegebenen Ressourcen werden langfristig die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland sichern.

Die Waren und Produkte aus Deutschland sind weltweit gefragt. Deutschland zählte im Jahr 2011 zu den weltweit führenden Exportnationen neben China und den USA mit einem Wert an ausgeführten Waren in Höhe von 1.060 Milliarden Euro. Das entspricht einem Plus von 11,4 Prozent gegenüber 2010.¹⁰

Trotz des Trends zur Auslagerung von Wertschöpfungsstufen in Niedriglohnländer hat sich die Bruttowertschöpfung (BWS) in Deutschland in den vergangenen zwanzig Jahren kontinuierlich positiv entwickelt. Nach einem kurzen Einbruch im Jahr 2009 – als Resultat der internationalen Finanzkrise – wurden in den Jahren 2010 und 2011 wieder Zuwächse der Bruttowertschöpfung verzeichnet (Abbildung 5). Der Anteil des Produzierenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung macht – neben dem Dienstleistungsbereich als dem größten deutschen Wirtschaftssektor – konstant um die 30 Prozent aus.

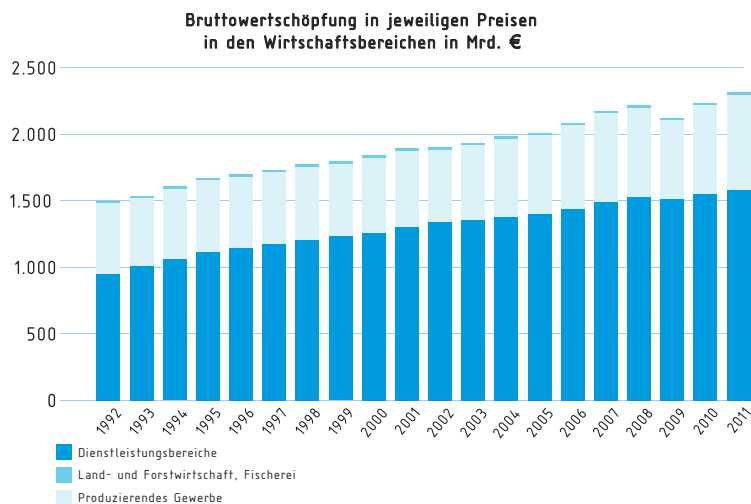


Abbildung 5: Entwicklung der Bruttowertschöpfung in Deutschland von 1992 bis 2011¹¹

¹⁰ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012).

¹¹ Vgl. Statistisches Bundesamt (2012 a), Ergebnisse einer Datenabfrage.

Innerhalb des Wirtschaftssektors Produzierendes Gewerbe weist das Verarbeitende Gewerbe mit einem Anteil von 23 Prozent die wirtschaftlich größte Relevanz auf (Abbildung 6). Die wirtschaftliche Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland zeigt sich auch in der Höhe des Verbrauchs von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, die im Jahr 2010 bei 748,58 Milliarden Euro lag.

Eine differenzierte Betrachtung des Verarbeitenden Gewerbes zeigt deutlich, dass die Branchen der Metall verarbeitenden Industrie den mit Abstand größten Beitrag zur Bruttowertschöpfung leisten (siehe Abbildung 7).

Dementsprechend hoch ist auch der Anteil am Verbrauch von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen in der Metall verarbeitenden Industrie. Abbildung 8 zeigt die Verbrauchszahlen von 2010. Die Branchen der Metall verarbeitenden Industrie verbrauchten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe im Wert von 434,3 Milliarden Euro. Das entspricht 58 Prozent des Gesamtverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes.

Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen 2011

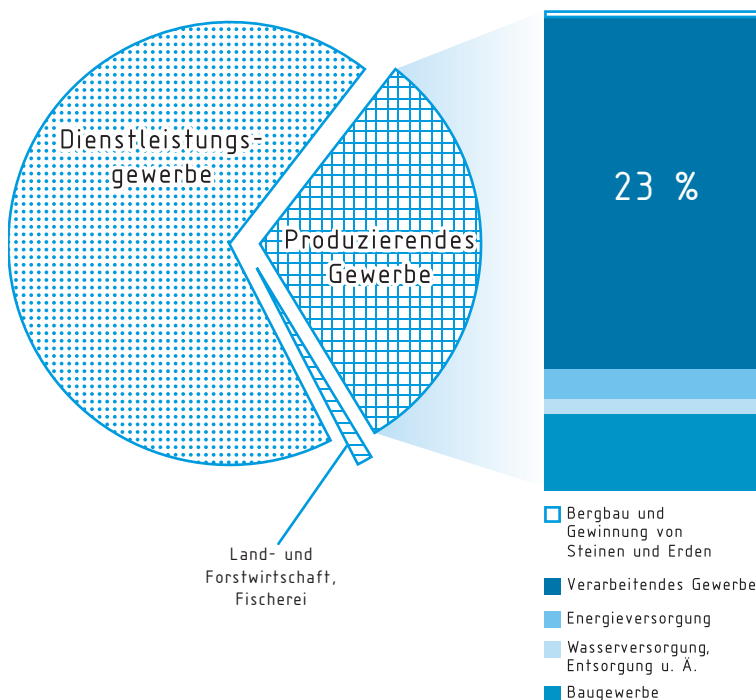


Abbildung 6: Anteile der Wirtschaftsbereiche an der Bruttowertschöpfung 2011¹²

¹² Vgl. Statistisches Bundesamt (2012 a), Ergebnisse einer Datenabfrage.

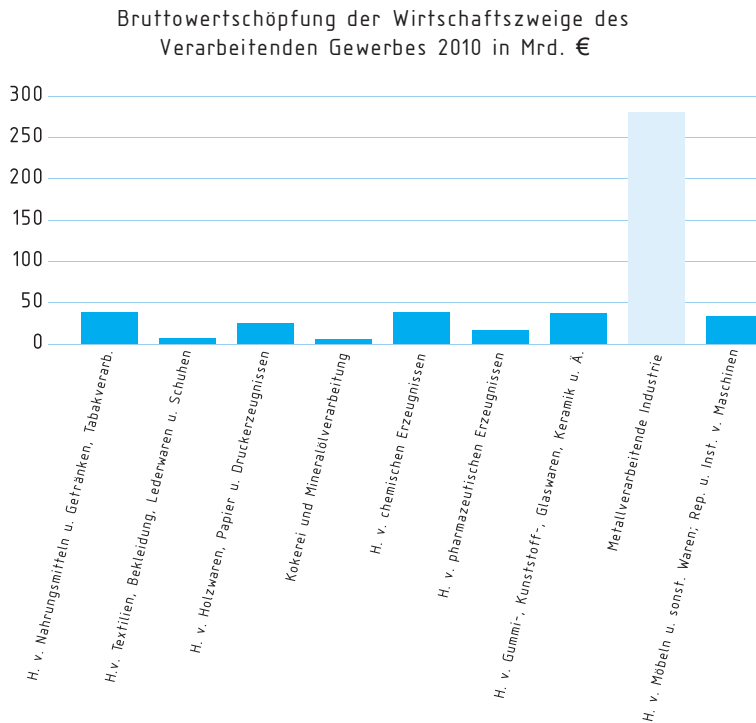


Abbildung 7: Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe 2010¹³

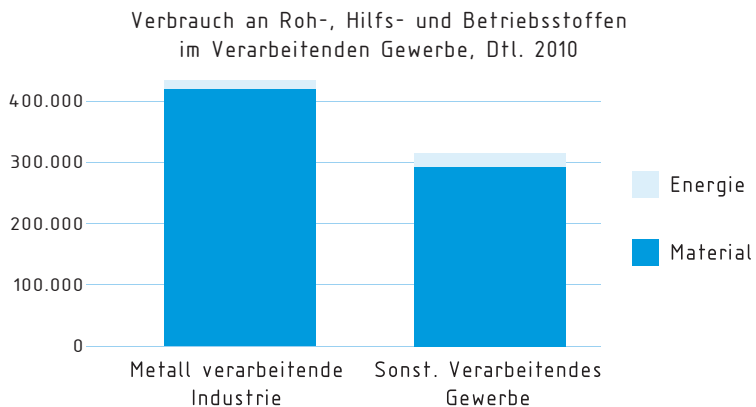


Abbildung 8: Verbrauch an RHB im Verarbeitenden Gewerbe 2010¹⁴

¹³ Vgl. Statistisches Bundesamt (2012 a), Ergebnisse einer Datenabfrage.

¹⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2012b), S. 176 – 234.

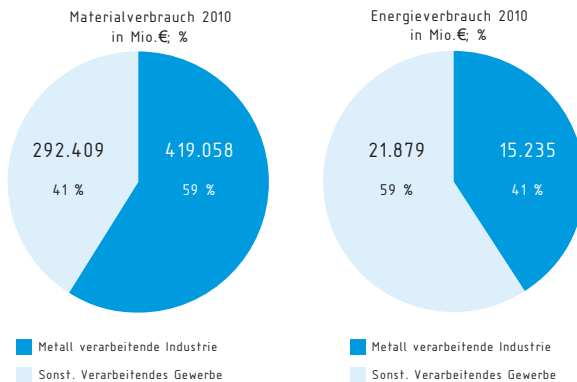


Abbildung 9: Material- und Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe 2010¹⁵

Zur Verdeutlichung der wirtschaftlichen Bedeutung der Metall verarbeitenden Industrie sind deren Verbräuche von Material und Energie im Verarbeitenden Gewerbe in Abbildung 9 dargestellt. Die hohen Ressourcenverbräuche der Metall verarbeitenden Industrie lassen unter anderem ein großes absolutes Effizienzpotenzial erwarten.

Um diese Vermutung zu untermauern und damit einen Beitrag zur Erforschung der Ressourceneffizienzpotenziale in der Metall verarbeitenden Industrie zu leisten, wird im Rahmen der Studie eine branchenweite Grobpotenzialanalyse über alle 35 Branchen der Metall verarbeitenden Industrie durchgeführt. Eine vertiefende Analyse erfolgt für drei ausgewählte Branchen im zweiten Arbeitspaket.

Zur Ermittlung dieser drei Branchen wird nach der in Kapitel 2 beschriebenen Methodik vorgegangen. In diesem Kapitel, den Untersuchungsergebnissen vorgehend, werden die drei Fokusbranchen vorgestellt.

Die Fokusbranchen der Untersuchung allgemein

Die Fokusbranchen der Untersuchung gehören alle dem Wirtschaftszweig „Herstellung von Metallerzeugnissen“ an. Dieser trägt gemäß der Klassifikation des Statistischen Bundesamtes den WZ Code 25. Die drei Fokusbranchen sind in Tabelle 4 hervorgehoben. Unter den drei Fokusbranchen sind insgesamt neun Subbranchen subsummiert.

Zur wirtschaftlichen Einordnung der drei Fokusbranchen innerhalb ihres Wirtschaftszweiges „Herstellung von Metallerzeugnissen“ dient Tabelle 5. Insgesamt arbeiten 44 Prozent der Beschäftigten der Metall verarbeitenden Industrie in einer der ausgewählten Branchen. Mehr als die Hälfte der registrierten Unternehmen des Wirtschaftszweiges „Herstellung von Metallerzeugnissen“ gehören einer der drei Branchen an. Zusammen erwirtschaften sie 40 Prozent des Umsatzes dieses Wirtschaftszweiges.

¹⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (2012b), S. 176 – 234.

Zur Verdeutlichung der Bedeutung der ausgewählten Branchen sind die Branchenanteile in den Kategorien Beschäftigte, Umsatz und Anzahl Unternehmen in Abbildung 10 prozentual dargestellt.

WZ Code 2008	Branchennamen
25	H. v. Metallerzeugnissen
25.1.	Stahl- und Leichtmetallbau
25.2.	Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und Kesseln für Zentralheizungen
25.21	Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen
25.29	Herstellung von Sammelbehältern, Tanks u. ä. Behältern aus Metall
25.3.	Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
25.4.	Herstellung von Waffen und Munition
25.5.	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erz
25.50.1	Herstellung von Freiformschmiedestücken
25.50.2	Herstellung von Gesenkschmiedeteilen
25.50.3	Herstellung von Kaltfließpressteilen
25.50.4	Herstellung von Press-, Zieh- und Stanzteilen
25.50.5	Herstellung von pulvermetallurgischen Erzeugnissen
25.6.	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.
25.60.1	Oberflächenbehandlung und Wärmebehandlung
25.60.2	Mechanik a.n.g.
25.7.	Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schössern und Beschlägen aus unedlen Metallen
25.9.	Herstellung von sonstigen Metallwaren

Tabelle 4: Fokusbranchen und dazugehörige Subbranchen¹⁶

¹⁶ Statistisches Bundesamt (2008), S. 95 ff.

Branche	Anzahl der Beschäftigten	Umsatz in Mio. €	Anzahl der Unternehmen
Gesamt WZ 25 H. v. Metallerzeugnissen	815.306	111.031,2	42.452
Branche B1 WZ 25.20 Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und Kesseln für Zentralheizungen	22.828	4.134,7	494
Branche B2 WZ 25.50 Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen	103.956	18.196,6	1.545
Branche B3 WZ 25.60 Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.	231.752	22.444,7	20.142

Tabelle 5: Beschäftigte, Umsatz und Anzahl der Unternehmen in den Fokusbranchen¹⁷

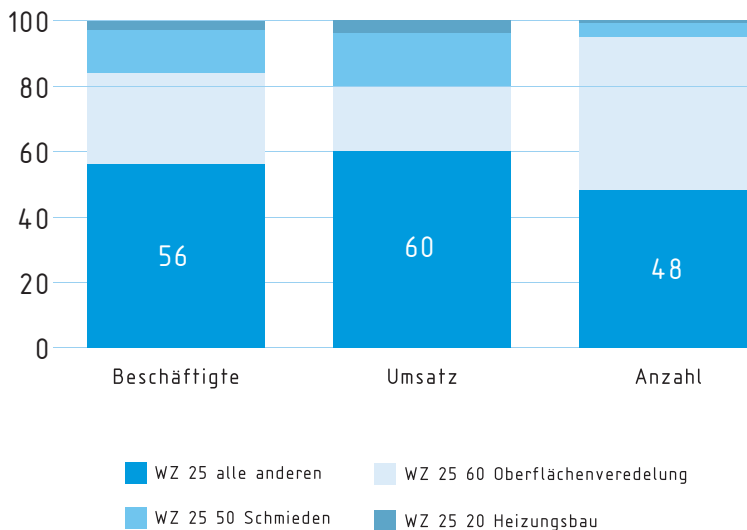


Abbildung 10: Beschäftigte, Umsatz und Anzahl der Unternehmen im WZ 25 „Herstellung von Metallerzeugnissen“¹⁸

¹⁷ Vgl. Eurostat (2012), Stand 2010.

¹⁸ Vgl. Eurostat (2012), Stand 2010.

Energie- und Materialverbrauch der Fokusbranchen

Der gesamte Energieverbrauch der Branchen, die unter die Klassifizierung „Herstellung von Metallerzeugnissen“ zählen, betrug 94 Millionen Gigajoule¹⁹ im Jahr 2010 (siehe Abbildung 11). Weit mehr als die Hälfte dessen wird in den Fokusbranchen verbraucht. Die Fokusbranche „Oberflächenveredelung; Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.“ nimmt mit 28 Prozent den größten Anteil am Energieverbrauch der betrachteten Branchen ein. Mit einem etwas kleineren Anteil von 24 Prozent weist die Branche „Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen“ einen Energieverbrauch auf, der in etwa dem jährlichen Energieverbrauch einer Stadt wie Ludwigsburg mit 86.000 Einwohnern entspricht.²⁰ Mit einem Energieverbrauch von 2,8 Gigajoule, was einen Anteil von circa drei Prozent ausmacht, verbraucht die Branche „WZ 25.20 Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen“ von den betrachteten Fokusbranchen am wenigsten Energie.

In der rechten Grafik in Abbildung 11 sind die Materialverbräuche der drei Fokusbranchen denen der anderen Branchen der „Herstellung von Metallerzeugnissen“ gegenübergestellt. Die Schmiedeindustrie verbraucht jährlich Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe im Wert von 8,3 Milliarden Euro und weist damit einen Anteil von 22 Prozent am Gesamtverbrauch auf. Verglichen mit dem in Tabelle 5 bezifferten Umsatz in Höhe von 18,2 Milliarden Euro stellen sie eine bedeutende Kostenstelle dar.

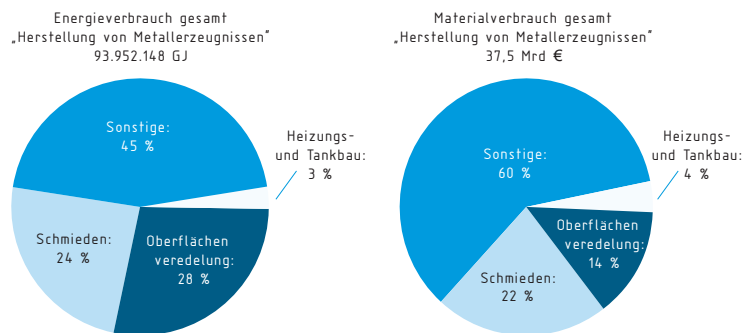


Abbildung 11: Energie- und Materialverbrauch gesamt "Herstellung von Metallerzeugnissen", Stand 2010

¹⁹ Vgl. Statistisches Bundesamt (2011a), Tabellenband Teil 2.

²⁰ Vgl. Jank, R. (2010), S. 25 ff.

4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG

Zur Identifikation und Erschließung von Potenzialen zur Ressourceneffizienz wurde eine zweistufige Analyseverfahren entwickelt. Im ersten Schritt werden die material- und energieintensivsten Branchen identifiziert und im zweiten Schritt wird für diese Branchen eine detaillierte Analyse der Effizienzpotenziale auf Prozess- und Prozesskettenebene durchgeführt. Während der Untersuchungsgegenstand des ersten Arbeitspaketes eine vergleichende Darstellung aller relevanten Branchen darstellt, liegt der Fokus der im zweiten Arbeitspaket entwickelten Methode auf einer vertiefenden Analyse der Potenziale zur Energie- und Materialeffizienz, auf deren Basis Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Zweistufige
Analyseverfahren zur
Identifikation und
Erschließung von
Ressourceneffizienz-
Potenzialen

4.1. Ergebnisse der Grobpotenzialbewertung

Erhebliche Potenziale für eine Ressourceneffizienz werden in der deutschen Metall verarbeitenden Industrie vermutet. Um diese Vermutung zu untermauern und den Unternehmen Hilfestellungen und Möglichkeiten zur Nutzung vorhandener Potenziale zu geben, werden aus den insgesamt 35 Branchen der Metall verarbeitenden Industrie im ersten Arbeitsschritt drei Branchen ausgewählt, die anhand einer rückwärts betrachteten Sekundärdatenanalyse kombiniert mit einer zukunftsorientierten Bewertung durch ein Scoring-Modell auf ein hohes Potenzial schließen lassen. Das Ergebnis bildet die Grundlage für die Detailuntersuchung im 2. Arbeitspaket, deren Ergebnisse in 4.2 näher erläutert sind.

Bei der Vorauswahl aus sechs Wirtschaftszweigen mit insgesamt 35 Branchen der Metall verarbeitenden Industrie wurden drei Branchen identifiziert, die insgesamt einen im Verhältnis zum erwirtschafteten Bruttoproduktionswert des Vergleichszeitraumes hohen Ressourcenverbrauch aufweisen und auch zukünftig für den Wirtschaftsstandort Deutschland von Bedeutung sind. Die Fokusbranchen als Ergebnis des ersten Arbeitspaketes sind in Abbildung 12 dargestellt.

Die Grobanalyse beinhaltet einerseits die Betrachtung und Bewertung von Verbrauchsdaten in Verbindung mit der Berechnung von Intensitätskennzahlen und andererseits eine Abschätzung der zukünftig erwarteten Branchenentwicklung mit Hilfe eines zweidimensionalen Scoring-Modells.

Bildung gewichteter Verbrauchsintensitätskennzahlen:

Auswahl von drei aus sechs Wirtschaftszweigen

Die Datenerhebung ergab, dass Verbrauchskennzahlen für Ressourcen sowie Kennzahlen über Emissionen nicht in einheitlichen Detaillierungsgraden vorliegen. Auffällig hierbei war, dass zwischen den Erhebungen und den darauf basierenden Berechnungen für die Verbräuche von Wasser und Generierung von Abwasser Zeitabstände von fünf Jahren liegen. Ähnliches gilt für die CO₂-Emissionen. Die auf Berechnungen des Statistischen Bundesamtes basierenden

Veröffentlichungen erfolgen in der umweltökonomischen Gesamtrechnung auf Wirtschaftszweigebene, detaillierte Branchendaten werden nicht berechnet.



Abbildung 12: Vorgehensweise und Ergebnis der Grobpotenzialbewertung

Untereinander vergleichbare Daten für die betrachteten Ressourcen liegen auf Ebene der Wirtschaftszweige vor. In der nächsten Gliederungsebene, den Branchen, beschränken sich die verfügbaren Daten auf Energie- und Materialverbräuche. Die Angaben zu den Verbräuchen finden sich als monetäre Werte.

Um die Ressourcen und die Emissionen zu berücksichtigen, wurden im ersten Schritt Verbrauchsintensitätskennzahlen auf Wirtschaftszweigebene berechnet. Dies ermöglicht eine Vorauswahl von drei aus den sechs Wirtschaftszweigen.

Da die verfügbaren Verbrauchs- und Output-Daten nicht in vergleichbaren Zeiträumen erhoben beziehungsweise veröffentlicht werden, wurden zur Berechnung der Intensitätskennzahlen (Ressourcenverbrauch/ Bruttowertschöpfung) die jeweils aktuellsten Daten je Ressource und Output erhoben und mit der Bruttowertschöpfung des Bezugsjahres ins Verhältnis gesetzt. Mit Hilfe der Intensitätskennzahlen je Ressourcengruppe sind die Verbräuche der sechs Wirtschaftszweige je Ressourcengruppe vergleichbar. Für den Vergleich der Kennzahlen gilt:

Annahme 1: Je höher der Verbrauch einer Ressource [Rohstoffverbrauch] in einer Branche im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung liegt, desto höher ist die Ressourcenintensität der Branche.

Beispielhaft sind in Tabelle 6 die Intensitätskennzahlen für Energie je Wirtschaftszweig dargestellt. Der ermittelte Faktor für die Energieintensität gibt Auskunft darüber, wie hoch der Verbrauch von Energie im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung der Branche im Vergleichsjahr war.

Analog wurden Intensitätskennzahlen für alle relevanten Ressourcengruppen (Energie, Material, Wasser, Abwasser, Emissionen) berechnet.

Die Rohstoffintensität als solche gibt keinen Hinweis, wie groß der jeweilige Anteil am Verbrauch der Wirtschaftszweige ausfällt. Um mit Hilfe der Intensitätskennzahlen eine Aussage über erwartete Potenziale treffen zu können, wurde eine zweite Annahme formuliert.

Annahme 2: Die Einsparpotenziale sind umso wahrscheinlicher, je höher die Intensität beim Ressourcenverbrauch und je höher der Branchenanteil am Gesamtressourcenverbrauch sind.

Um die anteiligen Verbräuche der Wirtschaftszweige zu berücksichtigen, wurden die ermittelten Intensitätskennzahlen je Wirtschaftszweig und Ressourcengruppe mit dem jeweiligen Anteil am Gesamtressourcenverbrauch multipliziert. Basierend auf den so ermittelten Verbrauchsintensitätskennzahlen konnten die Wirtschaftszweige je Ressourcengruppe nach ihren Verbrauchsintensitäten in eine Rangfolge gebracht werden.

WZ Code	Wirtschaftszweig	Verbrauch an Primärenergie	Bruttowertschöpfung	Energieintensität
		2009 Terajoule	2009 in 1.000 €	Terajoule BWS in 1.000 €
		379.829	209.430.000	Faktor
25	H. v. Metallerzeugnissen	102.295	37.930.000	0,0027
26	H. v. DV Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen...	31.461	20.000.000	0,0016
27	H. v. elektrischen Ausrüstungen	31.172	33.330.000	0,0009
28	Maschinenbau	88.877	63.530.000	0,0014
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	112.779	45.930.000	0,0025
30	Sonstiger Fahrzeugbau	13.245	8.710.000	0,0015

Tabelle 6: Intensitätskennzahlen am Beispiel Energie²¹

Die Gewichtung der Rohstoffintensitäten mit dem Branchenanteil am Gesamtverbrauch der betrachteten Branchen ermöglicht die Ermittlung bewerteter Rohstoff- und Verbrauchsintensitäten je Wirtschaftszweig für die Ressourcengruppen Energie, Material, Wasser sowie Emissionen wie Abwasser und CO₂. Im Ergebnis des Berechnungsschrittes liegen für alle Ressourcengruppen Rangfolgen der Verbräuche vor (siehe Tabelle 8). Zur Auswahl von drei Wirtschaftszweigen über alle Ressourcen und Emissionen wurde eine Gesamtrangfolge aus den fünf Ressourcen-/Emissionsrangfolgen gebildet.

²¹ Eigene Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (2011a).

WZ Code	Wirtschaftszweig	Energieintensität	Anteil des monetären Verbrauchs	gewichtete Intensitätskennzahl Energie	Ranking
			2009	2009	Energie
		TJ BWS in 1000 €	%	Energieintensität Anteil am Verbrauch	
		Faktor	1	FAKTOR	1-6
25	H. v. Metallerzeugnissen	0,0027	0,24	0,00064	2
26	H. v. DV Geräten, elektr. und optischen Erzeugnissen...	0,0016	0,08	0,00012	4
27	H. v. elektrischen Ausrüstungen	0,0009	0,11	0,00011	5
28	Maschinenbau	0,0014	0,24	0,00033	3
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	0,0025	0,30	0,00075	1
30	Sonstiger Fahrzeugbau	0,0015	0,03	0,00005	6

Tabelle 7: Verbrauchsintensitätskennzahlen am Beispiel Energie²²

WZ	Wirtschaftszweig	Rangplätze				
		Energie	Material	Wasser	Abwasser	CO ₂ Emissionen
25	H. v. Metallerzeugnissen	2	5	4	5	1
26	H. v. DV Geräten, elektr. und optischen Erzeugnissen	4	2	1	1	3
27	H. v. elektrischen Ausrüstungen	5	4	6	6	5
28	Maschinenbau	3	3	5	4	4
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	1	1	3	3	2
30	Sonstiger Fahrzeugbau	6	6	2	2	6

Tabelle 8: Rangfolgen der Verbrauchsintensitäten der Wirtschaftszweige²³

Annahme 3: Je größer die Verbrauchsintensität einer Ressource in einer Branche, desto höher der Rangplatz (höchste Verbrauchsintensitätskennzahl = höchster Rangplatz = 1). Je kleiner die Summe der Rangplätze über alle Ressourcengruppen, desto höher liegt die Gesamtverbrauchsintensität der Branche.

Um die unterschiedliche Bedeutung der betrachteten Ressourcen und Emissionen für die Ressourcenproduktivität bei der Ermittlung einer Gesamttrangfolge zu berücksichtigen, werden die in Tabelle 8 dargestellten Rangplätze gewichtet.

²² Eigene Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (2011a).

²³ Eigene Berechnungen.

Nach der Recherche in verschiedenen aktuellen Studien und aufgrund der Einschätzung ausgewählter Fachexperten²⁴ wurden die Gewichtungsfaktoren für die Ressourcen festgelegt. Die größte Bedeutung wurde dabei den Ressourcengruppen Energie und Material zugerechnet, die aus heutiger Sicht die für die Zukunft wichtigsten Ressourcengruppen bilden. Die Ressource Wasser und die Emission Abwasser wurden mit dem niedrigsten Faktor bewertet, da diese nach Einschätzung der aktuellen Situation in Deutschland keine kritischen Größen darstellen.

Annahme 4: Die betrachteten Ressourcen unterscheiden sich in ihrer Bedeutung. Für die Bildung einer Gesamtrangfolge wurden die Rangplätze der Verbrauchsintensitäten anhand ihrer Bedeutung gewichtet.

Die Rangfolgebildung über die gewichteten Verbrauchsintensitäten, wie in Tabelle 9 dargestellt, ermöglicht eine Auswahl von drei Wirtschaftszweigen unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Verbrauchsintensitäten für die fünf relevanten Ressourcen beziehungsweise Emissionen. Die Bewertung und Gewichtung der Verbrauchsintensitäten ermöglicht eine Fokussierung der ursprünglichen sechs Wirtschaftszweige auf drei, die in Abbildung 13 benannt werden.

Die drei mit Hilfe der Grobanalyse identifizierten Wirtschaftszweige

- WZ 25: Herstellung von Metallerzeugnissen,
- WZ 26: Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen ...,
- WZ 29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen,

lassen auf Grund ihres Ressourcenverbrauchs und des Anteils am Gesamtressourcenverbrauch auf ein verhältnismäßig höheres Einsparpotenzial schließen als die aus der Analyse ausgeschiedenen Wirtschaftszweige.

WZ Code	Wirtschaftszweig	gewichtetes Ranking	gewichtetes Ranking	gewichtetes Ranking	gewichtetes Ranking	gewichtetes Ranking	Gesamtranking	
		Energie	Material	Wasser	Abwasser	CO ₂ Emissionen	Σ	Rangplätze
25	H. v. Metallerzeugnissen	0,67	1,67	0,22	0,28	0,22	3,06	3
26	H. v. DV-Geräten, elektr. und optischen Erzeugnissen ...	1,33	0,67	0,08	0,06	0,67	2,78	2
27	Herstellung elektrischer Ausrüstungen	1,67	1,33	0,33	0,33	1,11	4,78	5
28	Maschinenbau	1,00	1,00	0,28	0,22	0,89	3,39	4
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen	0,33	0,33	0,17	0,17	0,44	1,44	1
30	Sonstiger Fahrzeugbau	2,00	2,00	0,11	0,11	1,33	5,56	6

Tabelle 9: Rangplätze der gewichteten Verbrauchsintensitäten²⁵

²⁴ Befragung von Mitarbeitern folgender Fachgebiete der TU Berlin: Energie- und Rohstoffwirtschaft, Technologie- und Innovationsmanagement, Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik

²⁵ Eigene Berechnungen.



Abbildung 13: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Wirtschaftszweige (Arbeitsschritt 2, Arbeitspaket 1)

Bildung von Energie- und Materialverbrauchskennzahlen:

Auswahl von neun aus 19 Branchen

Die drei ausgewählten Wirtschaftszweige der Metall verarbeitenden Industrie subsumieren insgesamt 19 verschiedene Branchen mit unterschiedlichen Produkten, was für die weitere Untersuchung eine differenzierte Betrachtung auf Branchenebene erfordert. Tabelle 10 schlüsselt die drei Wirtschaftszweige mit den jeweils dazugehörigen Branchen auf.

Auf Grund der mangelhaften Datenlage auf Branchenebene stützt sich der Auswahlprozess auf die Branchenverbräuche von Energie und Material. Das definierte Kriterium zur Reduzierung der 19 auf neun Branchen ist die Höhe der Energie- und Materialintensität. Beide – sowohl Material als auch Energie – konnten im Rahmen der Gewichtung bereits als die beiden kritischen Ressourcengruppen bestimmt werden.

Annahme 5: Je größer die Energie- und Materialintensität einer Branche, desto größer das erwartete Potenzial der Ressourceneffizienz.

Die Methodik sieht vor, für die weitere Bewertung im Rahmen der Grobpotenzialanalyse die 19 Branchen auf neun Branchen zu reduzieren. Um in der folgenden, zukunftsorientierten Bewertung der Branchenentwicklung auch aus jeder der drei identifizierten Hauptgruppen Branchen zu berücksichtigen, fiel die Auswahl auf jeweils die drei Branchen je Wirtschaftszweig, die den höchsten Verbrauch an Energie und Material im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung aufwiesen. Das entspricht den Branchen mit den höchsten Rangplätzen je Wirtschaftszweig (in Tabelle 11 rot dargestellt).

WZ Code	Betrachtete Wirtschaftszweige und dazugehörige Branchen
25	H. v. Metallerzeugnissen
25.1.	Stahl- und Leichtmetallbau
25.2.	H. v. Metalltanks und -behältern; H. v. Heizkörpern und Kesseln für Zentralheizungen
25.3.	H. v. Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
25.4.	H. v. Waffen und Munition
25.5.	H. v. Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen
25.6.	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.
25.7.	H. v. Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen
25.9.	H. v. sonstigen Metallwaren
26	H. v. Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen ...
26.1.	H. v. elektronischen Bauelementen und Leiterplatten
26.2.	H. v. Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten
26.3.	H. v. Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik
26.4.	H. v. Geräten der Unterhaltungselektronik
26.5.	H. v. Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen
26.6.	H. v. Uhren
26.7.	H. v. optischen und fotografischen Instrumenten und Geräten
26.8.	H. v. magnetischen und optischen Datenträgern
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen
29.1.	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenmotoren
29.2.	H. v. Karosserien, Aufbauten und Anhängern
29.3.	H. v. Teilen und Zubehör für Kraftwagen

Tabelle 10: Übersicht der Branchen in der zweiten Stufe des Filterprozesses²⁶

Die Daten und Verbräuche zur Branche 25.4. „Herstellung von Waffen und Munition“ spiegeln nicht die tatsächlichen Branchenverbräuche wider. Die Angaben des Statistischen Bundesamts hinsichtlich der Branche fallen lückenhaft aus und sind daher nicht vergleichbar mit denen der anderen Branchen. Die Branche 25.9. „Herstellung sonstiger Metallwaren“ wurde bei der Auswahl der Branchen nicht berücksichtigt, da eine Zuordnung von Produktionsprozessen zur Branche auf Grund der Abstraktheit der Bezeichnung nicht möglich ist.

²⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2008), S. 95 ff.

WZ Code	Wirtschaftszweige und Branchen	Intensitätsfaktor	Ranking	Intensitätsfaktor	Ranking	gemittelter Rangplatz
		Verbrauch / BWS	Energieintensität	Verbrauch / BWS	Materialintensität	
25	H. v. Metallerzeugnissen					
25.1.	Stahl- und Leichtmetallbau	0,041	5	1,265	4	4,5
25.2.	H. v. Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen	0,054	4	1,338	2	3,0
25.3.	H. v. Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)	0,032	6	1,337	3	4,5
25.4.	H. v. Waffen und Munition	0,029	7	0,997	6	6,5
25.5.	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen	0,078	2	1,359	1	1,5
25.6.	Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.	0,090	1	0,756	7	4,0
25.7.	H. v. Schneidwaren, Werkzeugen, Schloßern und Beschlägen aus unedlen Metallen	0,041	5	0,723	8	6,5
25.9.	H. v. sonstigen Metallwaren	0,064	3	1,169	5	4,0
26	H. v. DV Geräten, elektr. und optischen Erzeugnissen...					
26.1.	H. v. elektronischen Bauelementen und Leiterplatten	0,072	2	1,750	3	2,5
26.2.	H. v. Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten	0,015	5	1,518	4	4,5
26.3.	H. v. Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik	0,015	5	1,083	6	5,5
26.4.	H. v. Geräten der Unterhaltungselektronik	0,019	3	1,776	2	2,5
26.5.	H. v. Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen	0,018	4	0,829	7	5,5
26.6.	H. v. Uhren	0,014	6	1,135	5	5,5
26.7.	H. v. optischen und fotografischen Instrumenten und Geräten	0,015	5	0,609	8	6,5
26.8.	H. v. magnetischen und optischen Datenträgern	0,135	1	2,988	1	1
29	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen					
29.1.	H. v. Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	0,035	3	2,681	1	2
29.2.	H. v. Karosserien, Aufbauten und Anhängern	0,042	2	2,407	2	2
29.3.	H. v. Teilen und Zubehör für Kraftwagen	0,049	1	2,088	3	2

Tabelle 11: Rangfolgen der Energie- und Materialintensitäten je Branche innerhalb der WZ²⁷

²⁷ Eigene Berechnungen, Statistisches Bundesamt (2012b).



Abbildung 14: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Branchen (Arbeitsschritt 3, Arbeitspaket 1)

Bewertung der Entwicklung von Branchen und Ressourcenverbräuchen

Eine Analyse der vergangenheitsbezogenen Verbrauchskennzahlen gibt keinen Aufschluss über die erwartete Entwicklung einer Branche. Um diesen Faktor in die Bewertung mit einfließen zu lassen, wurde ein Bewertungsmodell entwickelt, das Aussagen zur erwarteten Entwicklung der Branchen zulässt. Dabei wird bei einer erwarteten positiven Entwicklung einer Branche auch ein Anstieg an Ressourcenverbräuchen prognostiziert.

Das Bewertungsmodell wird als Scoring-Modell aufgebaut und bedient sich der beiden Dimensionen Branchenentwicklung und technologisches Innovationspotenzial.

Annahme 6: Aussagen zu den zukünftigen Ressourcenverbräuchen lassen sich über die Branchenentwicklung und das technologische Innovationspotenzial ableiten.

Annahme 7: Branchenentwicklung und technologisches Innovationspotenzial werden im Scoring-Modell gleich gewichtet.

Die Gewichtung der im Scoring-Modell den beiden Dimensionen zugeordneten Faktoren erfolgte zunächst innerhalb der Arbeitsgruppe. Die Ergebnisse wurden mit Experten verschiedener Fachrichtungen²⁸ diskutiert und gegebenenfalls angepasst. Den Rahmen des Scoring-Modells und die Gewichtung der Faktoren zeigt Abbildung 14.

²⁸ Befragung von Mitarbeitern folgender Fachgebiete der TU Berlin: Energie- und Rohstoffwirtschaft, Technologie- und Innovationsmanagement, Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik

In einem umfänglichen Analyse- und Bewertungsprozess wurden die qualitativen und quantitativen Faktoren für die neun Branchen bewertet (Anhang 1). Zur Unterstützung dienten grundsätzliche Bewertungsrichtlinien:

Im Ergebnis wurden im ersten Arbeitspaket mit Hilfe des Untersuchungsansatzes, wie in Abbildung 15 dargestellt, drei Branchen identifiziert, in denen große Potenziale zur Ressourceneffizienz vermutet werden. Nach der Priorisierung von drei aus 35 Branchen erfolgte eine Reflexion der Ergebnisse anhand aktueller, politischer Schwerpunktthemen. Sowohl der Fokus der Rohstoffstrategie der Bundesregierung 2010 als auch der des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms 2012 liegen auf der langfristigen Gewährleistung der Versorgungssicherheit der deutschen Industrie mit nicht nachwachsenden Rohstoffen sowie der nachhaltigen Nutzung vorhandener Ressourcen. Als positives Ergebnis der Reflexion konnte festgehalten werden, dass der priorisierte Wirtschaftszweig den Anforderungen der politischen Schwerpunktthemen entspricht.

Dimension	Faktor	Group Weight	Weight	Rating Branche 1	Value	Rating Branche 2	Value
Branchenentwicklung	Verfügbarkeit von Ressourcen	Gleichverteilung	0,083	1-10	0	1-10	0
			0,1	0,05	0	0	
			0,1	0,05	0	0	
			0,1	0,05	0	0	
			0,09	0,045	0	0	
			0,05	0,025	0	0	
			0,04	0,02	0	0	
			0,12	0,06	0	0	
			0,09	0,045	0	0	
			0,08	0,04	0	0	
Branchenattraktivität:	Demographische Einflüsse	0,5	0,06	0	0		
	Branchengröße in Deutschland	0,08	0,04	0	0		
	Branchenwachstum	0,06	0,03	0	0		
Wettbewerbsstärke:	Markstabilität	0,09	0,045	0	0		
	Partizipationsrate in BIC-Staaten	0,08	0,04	0	0		
Technologisches Innovationspotenzial	Fertigungstiefe in Deutschland**	0,333	0,03	0	0		
		0,15	0,045	0	0		
		0,1	0,1	0	0		
		0,25	0,25	0	0		
Investition in F & E und staatl. Forschungsausgaben	Produktlebenszyklen	0,5	0,15	0	0		
			0,1	0	0		
			0,25	0	0		
Innovationsintensität	Innovationsintensität	0,333	0	0			

Abbildung 15: Scoring-Modell zur Bewertung zukünftiger Ressourcenverbräuche

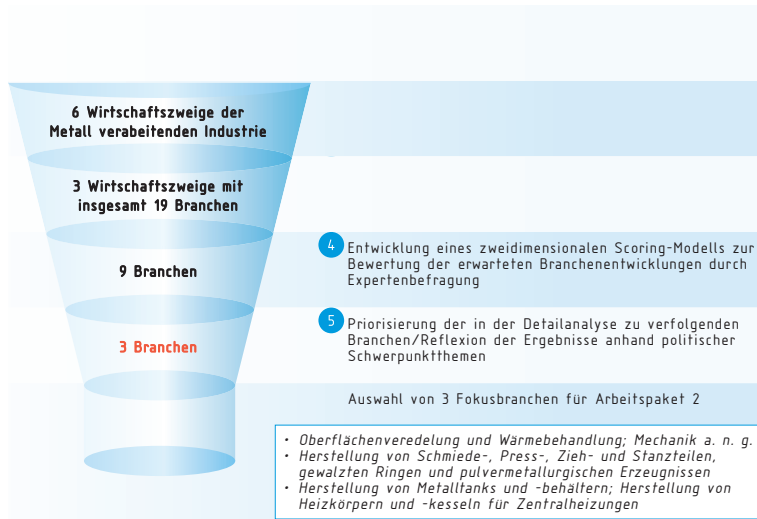


Abbildung 16: Ergebnisse Grobanalyse, Auswahl Branchen für die Feinanalyse (Arbeitsschritt 4, Arbeitspaket 1)

Die drei Branchen werden im zweiten Arbeitspaket im Rahmen der Feinanalyse auf die Potenziale und die mögliche Erschließung dieser untersucht.

4.2. Ergebnisse der Feinpotenzialanalyse

Die Ergebnisse der Feinpotenzialanalyse ermöglichen Aussagen zu den theoretischen Einsparpotenzialen für Material und Energie in den drei Fokusbranchen. Die aus der Untersuchung einzelner Unternehmen und Technologien berechneten Potenziale zur Materialeinsparung über alle Branchen des Wirtschaftszweiges „25. Herstellung von Metallerzeugnissen“ liegen bei einer konservativen Betrachtung zwischen zwei und sechs Prozent pro Jahr. Das entspricht unter der Annahme der Metallpreise von 2010 einem Warenwert von 763 bis 2.364 Millionen Euro. Die ermittelten Einsparpotenziale im Bereich Energie sind zwischen fünf und 14 Prozent für den betrachteten Wirtschaftszweig auszumachen. Das ergibt unter der Annahme der Energiepreise für die Industrie von 2010 einen Wert von 96 bis 631 Millionen Euro. Umgerechnet in CO₂ entspricht das einer Einsparung in Höhe von 631 bis 1.826 Millionen Tonnen CO₂. Abbildung 17 zeigt die berechneten Ergebnisse für die Material- und Energieeinsparung bezogen auf den Wirtschaftszweig „25. Herstellung von Metallerzeugnissen“.

Hochrechnung

Für die Ergebnisberechnung wird die Methode der Hochrechnung genutzt. Das bedeutet, bei dem Gesamtergebnis für die Metall verarbeitende Industrie handelt es sich um eine geschätzte Extrapolation auf Basis der Teilergebnisse aus der Peripherie-, Methoden- und Technologiematrix. Diese beziehen sich auf die Potenziale der Ressourceneffizienz der drei Fokusbranchen.

Faktor	Bewertungsrichtlinie
Zugang zu Rohstoffen	Je höher der Mittelwert der Länderrisikos und je höher die Anzahl der Rohstoffe, desto kritischer der Zugang, desto kleiner der Wert.
Preisentwicklung bei Rohstoffen	Je kleiner der Mittelwert der Preisanstiege, desto positiver die erwartete Preisstabilität, desto größer der Wert.
Rohstoffreichweite	Je kürzer die Reichweite, desto kleiner der Wert.
Recyclingrate	Je kleiner die Recyclingrate, desto negativer, desto kleiner der Wert.
Substituierbarkeit von Rohstoffen	Je substituierbarer, desto größer der Wert.
Demographische Einflüsse	Je abhängiger vom demographischen Faktor, desto kleiner der Wert.
Branchengröße in Deutschland	Je weniger Mitarbeiter und je weniger KMU, desto kleiner der Wert.
Branchenwachstum	Je höher der Anstieg, desto kleiner der Wert.
Marktstabilität	Je kleiner der Einbruch 2009, desto robuster, desto kleiner der Wert.
Partizipationsrate BIC Staaten	Je höher der Anteil am Export in BIC, desto mehr Partizipation und erwartetes Wachstum, desto größer der Wert.
Exportrate	Je höher die Exportrate und je instabiler, desto abhängiger, desto kleiner der Wert.
Wertschöpfungstiefe in Dtl.	Je größer die Wertschöpfungstiefe, desto größer der Wert, da Prozessoptimierung möglich.
Investition in F&E; staatl. Forschungsausgaben	Je niedriger die staatlichen Forschungsausgaben in der letzten Periode, desto größer der Faktor.
Produktlebenszyklen	Je länger die Produktlebenszeit, desto höher das Potenzial zur Prozessverbesserung, desto größer der Wert.
Innovationsintensität	Je höher die Innovationen in der Vergangenheit, desto weniger Potenzial, desto kleiner der Wert.

Tabelle 12: Grundlegende Bewertungsrichtlinien für das Scoring-Modell

Da sich die Erschließung von Potenzialen über Technologien auf bestehende Prozesse und Prozessketten richtet, werden die Teilergebnisse aus der Technologiematrix nach dem Bottom-up-Prinzip in der Hochrechnung berücksichtigt. Die Ergebnisse aus der Peripherie- und Methodenmatrix hingegen sind branchenunabhängig. Diese Ergebnisse fließen unter Berücksichtigung des Top-down-Ansatzes in die Berechnung der Einsparpotenziale ein (siehe Abbildung 18).

Das Grundgerüst der Hochrechnung ist in Tabelle 13 aufgezeigt. Da bei der Berechnung der Potenziale innerhalb der Peripherie-, Methoden- und Technologiematrix eine große Streuung der Werte festgestellt wurde, sind diese jeweils als Spanne in die Berechnung eingeflossen. Die Berechnung des Gesamtergebnisses erfolgt somit sowohl für LOW-Werte als auch für HIGH-Werte.

Materialeinsparungen bis zu 2,3 Milliarden Euro und Energieeinsparungen bis zu 631 Millionen Euro pro Jahr möglich

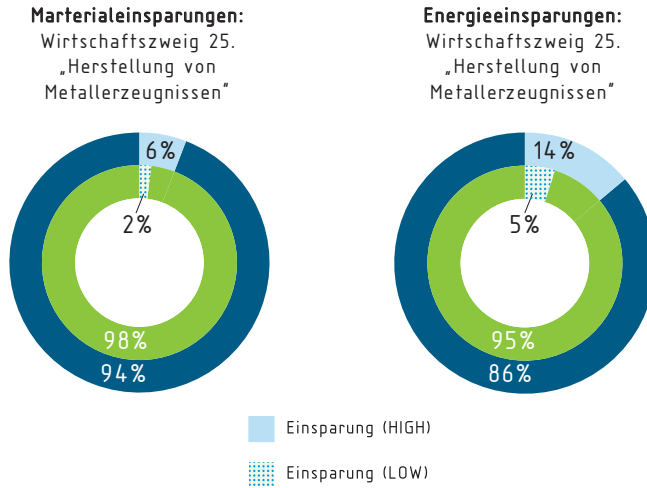


Abbildung 17: Ermittelte Einsparpotenziale für Material und Energie für Wirtschaftszweig 25

Dabei teilt sich deren Einfluss auf Energie- und Materialeinsparung wie folgt auf:

- Peripheriematrix: Energieeinsparung,
- Methodenmatrix: Materialeinsparung,
- Technologiematrix: Materialeinsparung und Energieeinsparung.

Die Potenziale der vorstehenden Matrizen werden mit dem Faktor $R = 0,5$ gleich gewichtet. Bei einer besseren Datengrundlage bietet das Modell jedoch die Möglichkeit, Technologien höher zu gewichten, da diese in der Regel einen starken Einfluss auf die zukünftige Entwicklung einer Branche ausüben. Auf der beschriebenen Basis werden Gesamtergebnisse unterteilt in Material- und Energieeinsparung. Analog erfolgt die Berechnung für die Maximalbetrachtung. Als Gesamtergebnisse der Hochrechnung ergeben sich eine Materialeinsparung in Millionen Euro pro Jahr und eine Energieeinsparung in Gigajoule, Kilowattstunden, Millionen Euro und Millionen Tonnen CO_2 .

Als Basis der Hochrechnung dienen der Materialverbrauch an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie der Energieverbrauch der Branchen. Des Weiteren wird der Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen unterschieden (siehe Abbildung 19). Für die Berechnung der Einsparung werden in erster Linie die zur Erzeugung der Prozesswärme benötigte thermische Energie und die mechanische Energie berücksichtigt. Dies entspricht einem Anteil von 87 Prozent an der gesamten in der Branche verbrauchten Energie.²⁹

LOW-HIGH-Prinzip der Hochrechnung

Die ermittelten Einsparpotenziale der drei Matrizen weichen zum Teil stark voneinander ab. Um die Robustheit zu gewährleisten, wird für die Hochrechnung,

²⁹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012b).

wie bereits erläutert, eine Potenzialsparne gebildet. Hierzu werden pro Matrix die ermittelten Einsparpotenziale in Boxplots zusammengefasst und jeweils ein LOW- und ein HIGH-Wert berechnet. Der LOW-Wert stellt die minimale, der HIGH-Wert die maximale Einsparung dar. Ein Boxplot besteht aus folgenden Komponenten³⁰:

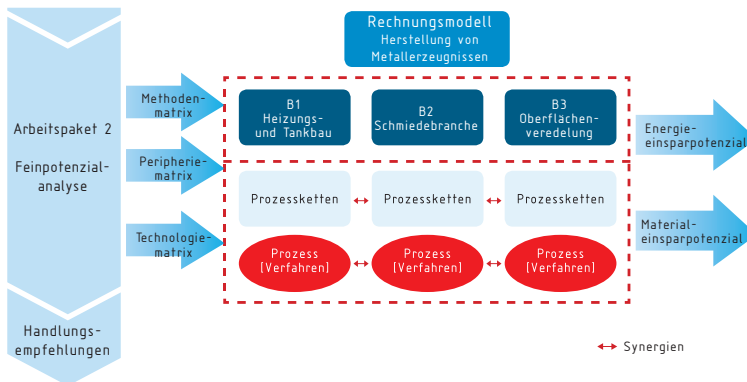


Abbildung 18: Theoretisches Vorgehensmodell zur Hochrechnung

- Rechteck,
- Minimum und Maximum,
- Whisker (= das Rechteck verlängernde Haarlinien),
- Median,
- Quartilsabstand.

Für jede Datenreihe ergibt sich somit ein unteres und oberes Quantil, zwischen denen 50 Prozent aller Werte liegen. Das untere Quantil bildet den LOW-Wert, das obere Quantil den HIGH-Wert. Des Weiteren ist in der Darstellung der Median zu erkennen, also der Wert, der in der Mitte einer der Größe nach sortierten Datenreihe steht. Außerdem ist jeweils der minimale und maximale Wert der Datenreihe dargestellt.

Als Beispiel für die Boxplot-Darstellung dient Abbildung 20. Mit „Min“ und „Max“ sind die jeweiligen minimalen und maximalen möglichen Potenziale abgebildet, die im vorliegenden Beispiel bei null beziehungsweise 42 Prozent liegen. Die blau dargestellte Box wird durch das untere Quantil mit Q1 = fünf Prozent und das obere Quantil mit Q3 = 21 Prozent begrenzt. Innerhalb der Box befinden sich 50 Prozent der Werte der Datenreihe. Der Median liegt bei elf Prozent und teilt die gesamte Box, wobei auf jeder Seite 50 Prozent der Potenziale, ermittelt aus den Datenreihen, zu finden sind. Für die spätere Hochrechnung wurden der Wert des unteren Quantils für den anzusetzenden LOW-Wert und der Wert des oberen Quantils für den anzusetzenden HIGH-Wert genutzt.

³⁰ Vgl. Friedrich, D. (2004)

Input Low									Output Low				
Technologie			Peripherie		Methoden		Material-einsparung		Energieeinsparung				
Branche	Material	R	Energie	R	Energie	R	Material	R	Material [Mio. €]	Energie [GJ]	Energie [kWh]	Energie [Mio €]	CO ₂ [Mio t]
B2													
B1		0,5		0,5		0,5		0,5					
B3													

Tabelle 13: Hochrechnungsmodell

Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in der Industrie (Stand 2010): insgesamt 2541,4 PJ

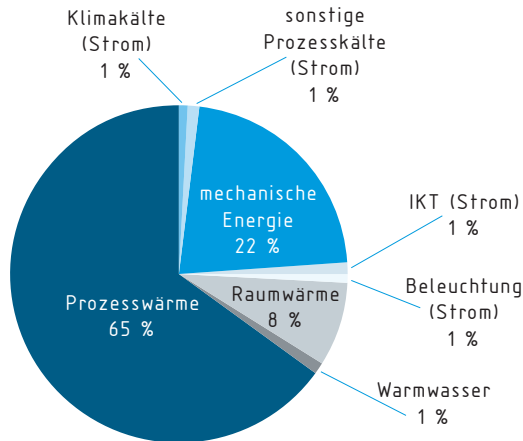


Abbildung 19: Durchschnittliche Verteilung des Energieverbrauchs auf die Anwendungsbereiche in der Industrie

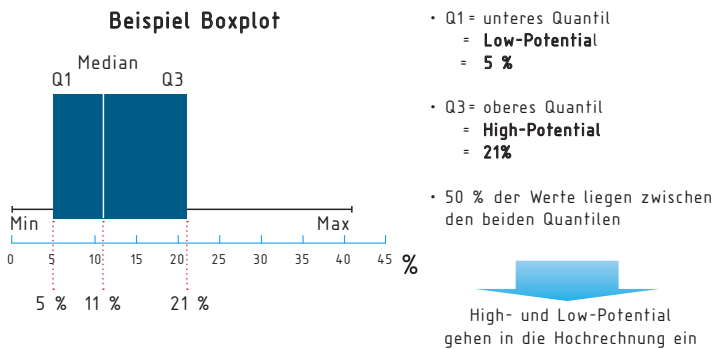


Abbildung 20: Beispiel Boxplot-Darstellung

4.2.1 Prozesskettenbetrachtung und Energietreiber

Die Grundlage der Analyse­methode bildet die Betrachtung der drei Fokus­branchen auf der Prozessketten- und Prozessebene. Die Betrachtung beginnt mit der kleinsten Einheit, dem Fertigungsprozess, darauf aufbauend, der Prozesskette und schließlich der Gesamtbetrachtung der Branche. In der Literatur finden sich Definitionen für einen Prozess auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau:

Definition 1: „Ein Prozess ist eine Gesamtheit aufeinander einwirkender Vorgänge in einem System, durch die Materie, Energie oder Informationen umgeformt, transportiert oder gespeichert werden.“³¹

Definition 2: „Ein Prozess ist die kausale Abfolge von Aktivitäten, die einen oder mehrere Inputs benötigt, um unter Verwendung betrieblicher Ressourcen und Informationen ein Ergebnis von Wert für eine Kundengruppe zu erzeugen.“³²

Grundsätzlich ist jeder Produktionsprozess im gesamten Wirtschaftszweig durch Input wie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe und Output durch Erzeugnisse und Emissionen gekennzeichnet. Daher wird in Anlehnung an diese beiden Definitionen zunächst ein Prozessmodell aufgestellt (wie bereits in Abbildung 3 beschrieben). An der Terminologie der drei Fokus­branchen ist zu erkennen, dass die Aufteilung nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige WZ 2008 meist produktspezifisch erfolgt. Bei der Betrachtung der Prozessebene ist festzustellen, dass sich einzelne Verfahren aus der Norm der Fertigungsverfahren DIN 8580 der jeweiligen Branche zuordnen lassen und sich in der Nomenklatur wiederfinden.

Die Abbildungen 21 bis 22 zeigen, dass mehrere Prozesse aus den drei Fokus­branchen branchenübergreifend angewendet werden. Dies gilt insbesondere für die Wertschöpfungsprozesse aus der Fokus­branche „Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.“. Diese prozessorientierte Branche ist zum größten Teil in die Wertschöpfungskette der beiden anderen produktorientierten Branchen integriert. Die Bezeichnung „Mechanik a. n. g.“ umfasst nicht nur die gängigen spanenden Fertigungsverfahren wie beispielsweise Bohren, Drehen und Fräsen. Auch das Schweißen und Stoßen oder das Schärfen metallischer Werkstücke fallen in diesen Bereich. Die Bezeichnung schließt außerdem das Schneiden und Beschriften von Metall durch Laserstrahlen ein. Aufgrund dieser umfangreichen Definition finden die Verfahren von „Mechanik a. n. g.“ fast überall Verwendung.³³ Ähnliches gilt für das Fertigungsverfahren Umformen, das in den beiden Fokus­branchen „Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen“ und in „Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen“ angewendet wird.

³¹ DIN IEC Norm der Leittechnik (2009), Teil 351.

³² Stark, R. (2012)

³³ Vgl. Statistisches Bundesamt (2007), S. 2.

Eine Ausnahme bildet die Herstellung pulvermetallurgischer Erzeugnisse, insbesondere das Sintern, das nur in einer der Fokusbranchen vorkommt. Somit bestehen keine Überschneidungen mit anderen Prozessketten beziehungsweise Branchen.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Bedingungen wurden branchenspezifische Fertigungsprozesse zu Prozessketten entlang der Wertschöpfungskette zusammengefasst. Anschließend erfolgt die Analyse einzelner Elemente der Prozessketten, bei denen Potenziale zur Steigerung der Ressourcenproduktivität vorliegen.

Energietreiber im Wirtschaftszweig - Herstellung von Metallerzeugnissen

Ein wichtiger Hilfs- und Betriebsstoff in der Metallbearbeitung durch Warmumformen dient der Wandlung in die benötigte thermische Energie zur Erwärmung der Metalle. Dazu müssen zum Beispiel beim Schmieden Temperaturen zwischen 1150 °C und 1300 °C erreicht werden. Dies bedeutet, dass zur Erwärmung einer Tonne Schmiedematerial circa 400 Kilowattstunden Energie benötigt werden. Bei einer Schmiedetonnage in Deutschland von circa 2,9 Millionen Tonnen pro Jahr macht allein dies einen Energieverbrauch von 4.176.000 Gigajoule aus. Dieser Prozess ist durch erhebliche Wärmeverluste gekennzeichnet. So geht etwa ein Drittel der Energie bei der Erwärmung verloren und wird zumeist ungenutzt durch das Kühlwasser abgeleitet. Für die Erwärmung des Rohmaterials kommen in der Warmmassivumformung hauptsächlich zwei Typen von Erwärmungsanlagen zum Einsatz: gasbetriebene und elektrisch betriebene Anlagen. 80 Prozent der Erwärmung in der Warmmassivumformung erfolgen durch Induktionsanlagen³⁴.

Weitere energieintensive Prozesse, sogenannte Energietreiber der Metall verarbeitenden Industrie, werden in der umfassenden Fraunhofer-Studie „Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion“ durch Befragung von Unternehmen identifiziert³⁵ und in Tabelle 14 den verschiedenen Prozessen zugeordnet.

Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigenschaft ändern
		Mechanik a.n.g.			
Druckguss	Tiefziehen	Fräsen	Schweißen	Lackieren	Brennen
Spritzgießen	Walzen	Drehen	Löten	Galvanisieren	Härten
...	Biegen	Schleifen	Schmieden
	...	Bohren			Vulkanisieren
	

Tabelle 14: Energietreiber in der Metall verarbeitenden Industrie

³⁴ Vgl. Widdermann, S. et al. (2012), S. 24 ff.

³⁵ Vgl. Neugebauer, R. (2008).

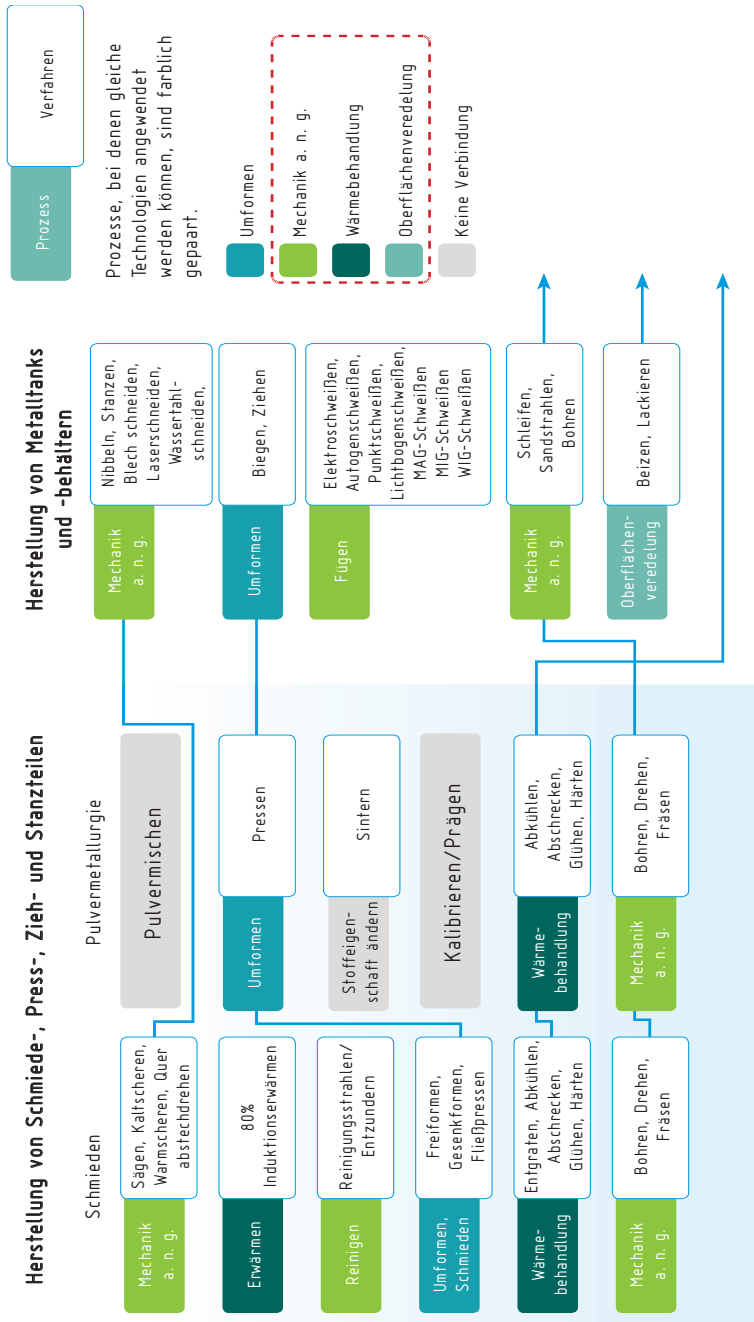


Abbildung 21: Darstellung der Branchen Schmiede und Metalltanks mit ihren Prozessketten, Prozessen und zugeordneten Verfahren sowie Überschneidungen der Branchen³⁶

³⁶ Eigene Darstellung, Orientierung der Begrifflichkeiten nach DIN 8580 ff., DIN 10052 und Eurostat 2012.

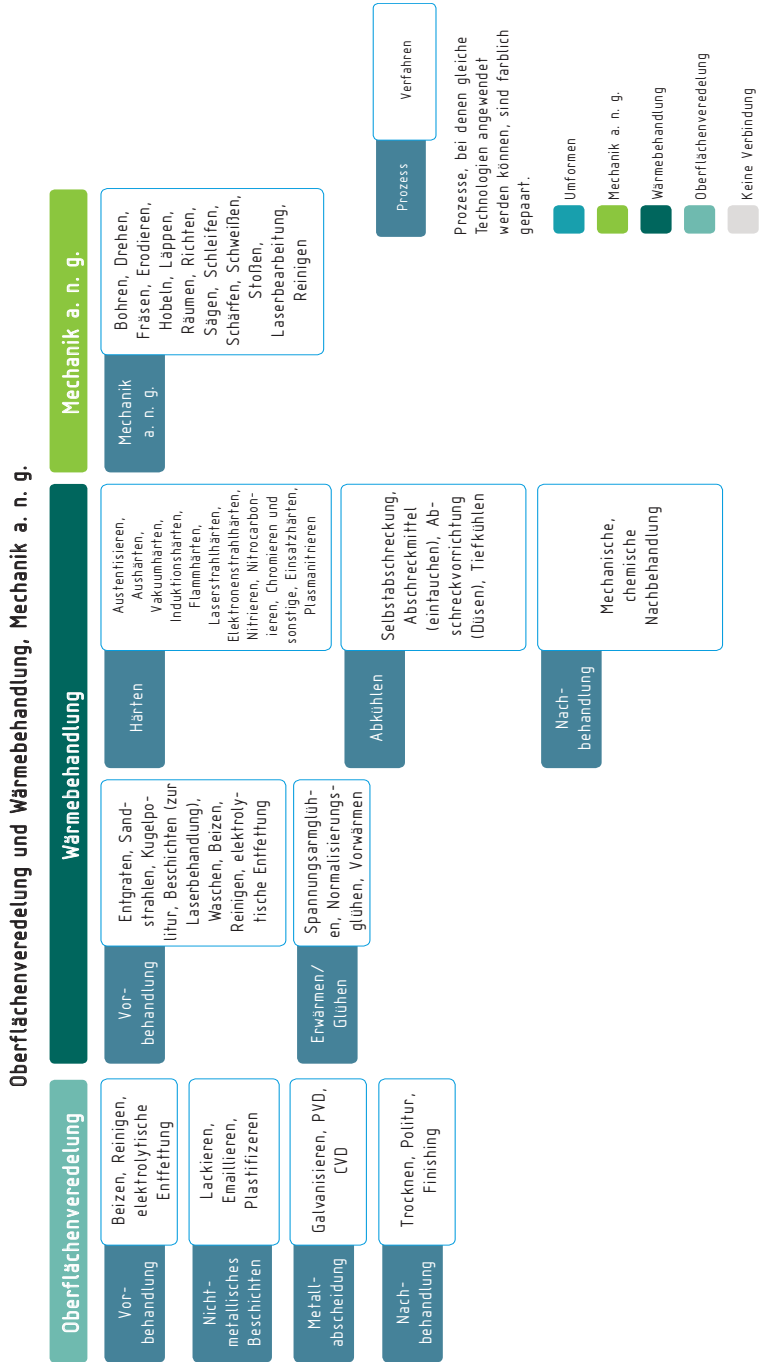


Abbildung 22: Darstellung der Branche Oberflächenveredelung mit ihren Prozessketten, Prozessen und zugeordneten Verfahren³⁷

³⁷ Eigene Darstellung in Anlehnung an Eurostat 2012.

4.2.2 Peripherie-, Methoden- und Technologiematrix

Aufbauend auf der Prozesskettenbetrachtung des vorhergehenden Abschnitts werden Maßnahmen hinsichtlich der Systemverbesserung und Technologien betrachtet, die mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllen.

Kriterium 1: Die Ermöglichung einer Steigerung des vertikalen Wirkungsgrades von Hilfs- und Betriebsstoffen zu Emissionen (siehe Abbildung 3).

Kriterium 2: Die Ermöglichung einer Steigerung des horizontalen Wirkungsgrades von Rohstoffen, Halbzeugen und Halbfertigprodukten zu Erzeugnissen, Halbzeugen, Fertigteilen und Produkten.

Kriterium 3: Die Ermöglichung, nicht nachwachsende Rohstoffe so lange wie möglich im Wertschöpfungskreislauf zu halten.*

Kriterium 4: Die Ermöglichung, nicht nachwachsende Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe zu substituieren.*

(*aus Gründen der Vollständigkeit mit aufgeführt)

Die Untersuchungsergebnisse werden in den folgenden drei Matrizen zusammengestellt:

- Peripherie: Analyse von Querschnittstechnologien (zum Beispiel Pumpen und Druckluftsysteme) zur Energieeinsparung
- Methoden: Analyse innerbetrieblicher Maßnahmen und Methoden zur Materialeinsparung
- Technologie: Analyse fertigungsspezifischer Technologien zu Energie- und Materialeinsparungen

Anschließend werden Potenziale zur Material- und Energieeinsparung aus den Matrizen abgeleitet. Nicht jede wissenschaftliche Veröffentlichung oder Studie weist konkrete Angaben zu den Einsparpotenzialen für die Ressourcen Energie und Material auf. Technologien mit quantitativen Angaben zu Einsparpotenzialen konnten in die Technologiematrix direkt übernommen werden. Bei den Technologien ohne quantitative Angaben wurde eine Methode zur konservativen Potenzialabschätzung entwickelt (siehe Abbildung 23). Beim Vorliegen rein qualitativer Angaben erfolgte eine durch Expertenrunden³⁸ bestätigte konservative Potenzialermittlung mit fünf oder zehn Prozent. Die Grenzen für die konservative Abschätzung bezüglich des Potenzials einer Technologie für die Materialeinsparung wurden wie folgt festgelegt:

Die untere Grenze von fünf Prozent liegt im Wertebereich des unteren Quantils des Boxplots, ermittelt aus der Methodenmatrix, und des unteren Quantils des Boxplots der quantifizierten Potenziale der Technologiematrix von sechs Prozent. Die obere Grenze von zehn Prozent wurde so abgeschätzt, dass sie

³⁸ Involvierte Fachexperten folgender Fachgebiete des Produktionstechnischen Zentrums der Technischen Universität Berlin und des Fraunhofer IPK: Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Montagetechnik und Fabrikbetrieb, Industrielle Automatisierungstechnik, Industrielle Informationstechnik, Qualitätswissenschaft, Füge- und Beschichtungstechnik

sich in etwa im Wertebereich des Medians des Boxplots der Potenziale aus der Methodenmatrix von zwölf Prozent und des Medians des Boxplots der quantifizierten Potenziale der Technologiematrix von acht Prozent befindet.

Die Grenzen für die konservative Abschätzung bezüglich des Potenzials einer Technologie für die Energieeinsparung wurden auf Grund der wesentlich größeren Streuung der Werte der quantifizierten Potenziale restriktiver definiert. Die untere und obere Grenze von fünf und zehn Prozent liegt hierbei stets unter dem unteren Quantil des Boxplots der quantitativen Potenziale der Peripheriematrix von 13 Prozent und dem unteren Quantil des Boxplots der quantifizierten Potenziale der Technologiematrix von 13 Prozent.

Aus den konservativ abgeschätzten und den bereits quantitativ angegebenen Einsparpotenzialen der Technologien wurde anschließend für die gesamte Technologiematrix ein LOW- und HIGH-Potenzial für Energie und Material abgeleitet. Abbildung 23 zeigt die Einflüsse der einzelnen Matrizen zur Ermittlung der Energie- und Materialeinsparungen auf Grundlage der LOW- und HIGH-Spanne, die sich aus dem jeweiligen Boxplot ergibt.

Peripheriematrix

Unter Peripherie werden in dieser Studie die nähere Umgebung von Prozessketten sowie periphere Anlagen und Systeme zur Unterstützung der Fertigung verstanden. In den Fokusbranchen gehören die in der Peripherie eingesetzten Anlagen zu den Hauptverbrauchern von Energie. Eine gezielte Effizienzsteigerung der Peripherie übt demzufolge einen erheblichen Einfluss auf die gesamte Energiebilanz aus.

Im Rahmen der Studie wurden zehn wissenschaftliche Veröffentlichungen³⁹ zu peripheren Anlagen und Systemen analysiert, die jeweils eine Vielzahl neuer Technologien und quantitative Angaben zur Energieeinsparung, beispielsweise bei der Nutzung von Prozesswärme, liefern. Die Peripheriematrix stellt eine Übersicht der Ergebnisse von Analysen zu Potenzialen der Energieeffizienz in der Peripherie sowie Best-Practice-Technologien dar. Die quantitativen Angaben zu Potenzialen in der Peripheriematrix beziehen sich auf Energieeinsparungen sowohl in der Peripherie von Werkzeugmaschinen als auch auf periphere Anlagen und Systeme zur Unterstützung der Fertigung, wie raumlufttechnische Anlagen und Druckluftsysteme. Die betrachteten Bereiche der Peripherie lassen sich demnach folgendermaßen unterteilen:⁴⁰

- Prozesswärme,
- Elektromotoren,
- Pumpen,
- Druckluft,
- Sonstige.

³⁹ Vgl. Peripheriematrix im Anhang

⁴⁰ Vgl. Widdermann, S. et al. (2012), S. 24 f.

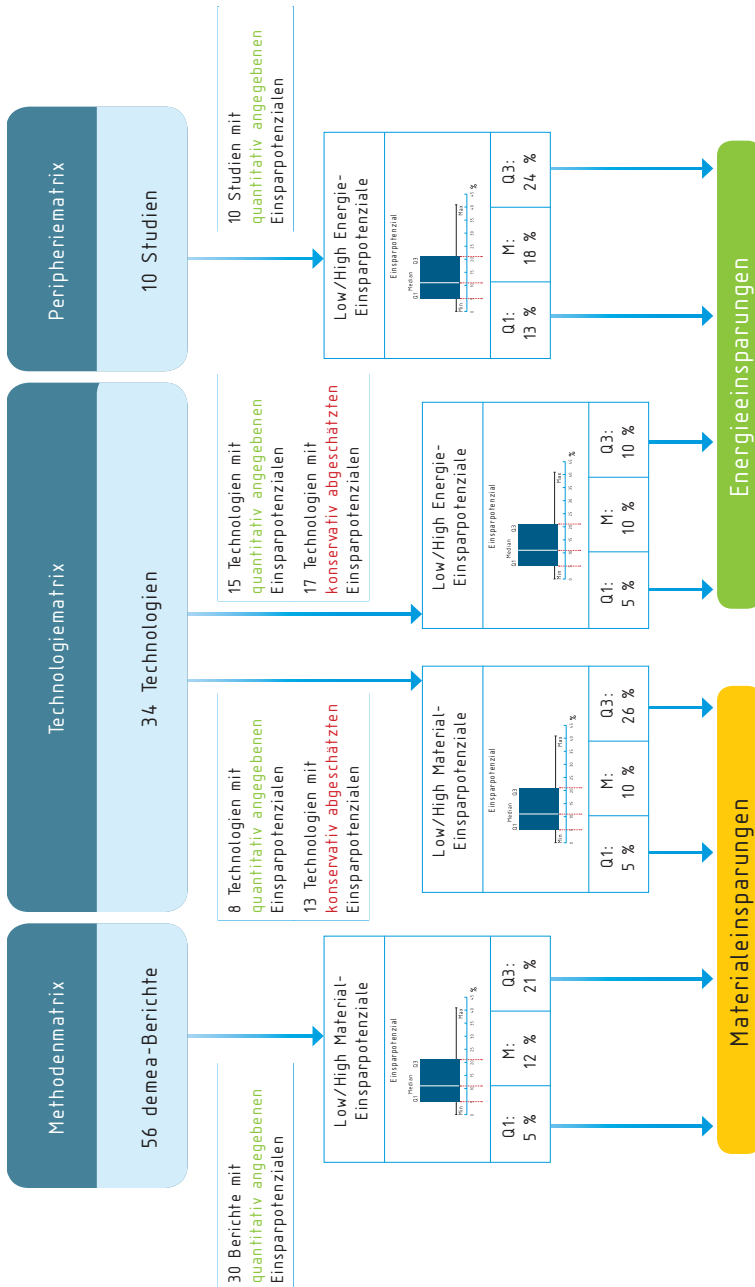


Abbildung 23: Übersicht: Matrizen und Methode zur konservativen Abschätzung der Potenziale

Bei der Strukturierung der Ergebnisse der eingeflossenen Untersuchungen wurde diese Einteilung übernommen (siehe Tabelle 12). Die Ergebnisse der zehn Untersuchungen wurden in der Peripheriematrix den entsprechenden Bereichen zugeordnet. Bei vorhandener Angabe von Potenzialspannen in Form von Min-/Max-Werten wurden diese in die Darstellung integriert und über Mittelwerte für die spätere Hochrechnung berücksichtigt (siehe Abbildung 23).

Bereich	Einsparpotenziale	min [%]	max [%]	Ø [%]
Prozess- wärme	„Optimised Process Heating - Forging Industry Energy Workshop“	10	30	20
	optimierte Wärmeversorgung - Initiative EnergieEffizienz	-	-	15
Elektro- motoren	„Electric Motor Systems“	5	10	8
	Systemoptimierung Elektromotoren und Antriebssysteme	20	30	25
	Einsatz hocheffizienter Motoren	-	-	3
	Einsatz drehzahlvariabler Antriebe	-	-	11
Pumpen	„Pumping System“	10	20	15
	Optimierung Gesamtsystem Pumpe	18	90	54
	Systemverbesserung bei Pumpensystemen	-	-	30
Druckluft	„Optimised Compressed Air System“	10	20	15
	bedarfsgerechtes Druckangebot	5	10	8
	Projekt Energieoptimierung Druckluftnutzung	-	-	20
	Optimierung des Druckluftsystems	-	-	49
	Druckluftsysteme	5	50	28
	Systemverbesserung der Druckluftsysteme	-	-	33
Sonstiges	Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	-	-	5
	Systemverbesserung bei Kältesystemen	-	-	18
	Systemverbesserung bei raumlufftechnischen Anlagen und Ventilatoren	-	-	25

Tabelle 15: Peripheriematrix: Potenziale der Energieeinsparung je Systemverbesserung in Prozent

Methodenmatrix

Einsparpotenziale ergeben sich nicht nur durch die oft investitionsintensive Verbesserung von Technologie und Peripheriegeräten, sondern auch durch die Umsetzung prozessualer und struktureller Maßnahmen im Fabrikbetrieb sowie Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen im Personalbereich. Zur Ableitung möglicher Potenziale derartiger Maßnahmen wurden insgesamt 100 Ergebnisberichte der Deutschen Materialeffizienzagentur „demea“ des

Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gesichtet und ausgewertet. Die relevanten Analyse- und Optimierungsmethoden sind in der Tabelle 16 zusammengefasst.

Der Inhalt der Berichte umfasst Projektbeschreibungen und -ergebnisse, die nach der „Beratung von kleinen und mittleren Unternehmen zur rentablen Verbesserung der Materialeffizienz (VerMat)“ von den verantwortlichen Materialeffizienzberatern erfasst wurden. Dabei wurden ausschließlich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) von den beauftragten Beratern und Instituten analysiert und ausgewertet. Die Berichte sind inhaltlich gleich strukturiert aufgebaut und in ihren Aussagen unterteilt in:

- Jahresumsatz,
- Anzahl der Mitarbeiter,
- Branchenzuordnung,
- Produktpalette,
- betroffener Bereich/Prozess,
- Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Emissionen,
- Ausschussreduktion,
- generelles Einsparpotenzial des Unternehmens,
- angewendete Maßnahmen und Analysemethoden.

Die analysierten Berichte beziehen sich ausschließlich auf Unternehmen der Branchen der Metall verarbeitenden Industrie. Von den gesichteten 100 Berichten wurden die Inhalte von 56 Berichten in die Methodenmatrix aufgenommen und den Fokusbranchen zugeordnet. Die Aussagen zu Effizienzpotenzialen aus den „VerMat“-Berichten beziehen sich ausschließlich auf Materialeinsparungen und liefern quantitative Zahlen auf der Fabrikebene (siehe Abbildung 23). Zusammenfassend gilt aus der Input-Output-Analyse der „VerMat“-Berichte für die betrachteten Branchen, dass ein beachtlicher Teil von circa 25 Prozent des eingesetzten Materials beim Gesenkschmieden entlang der Wertschöpfungskette verloren geht (siehe Sankey-Diagramm Abbildung 24). Ins Gewicht fallen vor allem der hohe Gratanteil sowie die Zunderentstehung bei der Erwärmung.

Nach der Sichtung der Berichte wurden die beschriebenen Methoden und dazugehörigen Beispiele aufgenommen und in einer Methodenmatrix (Anhang 2) strukturiert dargestellt. Die Zuordnung der Methoden erfolgt nach den Wertschöpfungsfaktoren Mensch, Maschine, Material, Prozess und Organisation.

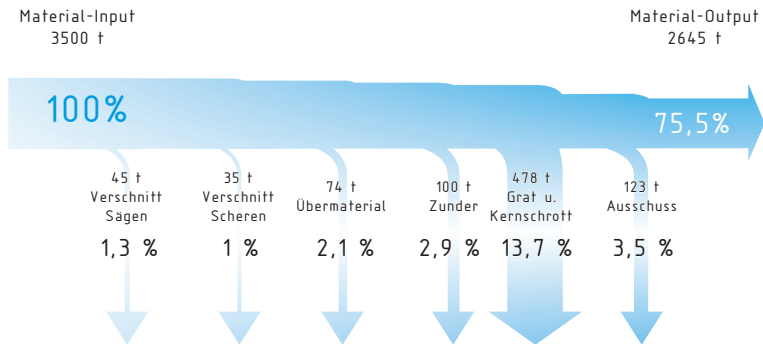


Abbildung 24: Sankey-Diagramm, Materialverlust für die betrachteten Firmen pro Jahr nach VerMat-2012

Technologiematrix

Die Metall verarbeitende Industrie zeichnet sich durch eine hohe Energie- und Materialintensität in ihren Produktionsprozessen aus. Die Fokusbranchen gehören, wie in Abschnitt 3 dargestellt, zu den Spitzenreitern beim Verbrauch von Energie und Material im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung. Durch die Optimierung der eingesetzten Prozesse kann sowohl die Energie- als auch die Materialbilanz signifikant beeinflusst werden.

Im Rahmen der Studie wurden zahlreiche Veröffentlichungen ausgewertet, die jeweils Aussagen zum Technologieeinsatz und zu den realisierten Ressourceneinsparungen in bereits abgeschlossenen Projekten treffen. Nach der Auswertung konnten insgesamt 34 Technologien als relevant für die Fokusbranchen bewertet werden. Grundlage der Auswahl bildete in einem ersten Schritt eine entsprechende Zuordnung zu den identifizierten Fertigungsprozessen.

Bei vorliegender Übereinstimmung mit einem Kriterium wurde die Technologie in die Technologiematrix (Tabelle 17, Anhang 3) aufgenommen und dort entsprechend über die Fertigungsprozesse den jeweiligen Fokusbranchen zugeordnet. Die Matrix spannt sich horizontal über die beschreibenden Elemente der Technologien auf (Tabelle 17):

Branche, Zuordnung zur Fokusbranche,

- Ziel, etwa Materialeffizienz, Energieeffizienz ...,
- Prozess, beispielsweise Trennen ...,
- Beschreibung, Technologiebeschreibung,
- Förderung/Partner, Projektträger,
- Jahr der Technologieentwicklung, nicht älter als fünf Jahre,
- Einsparfeld Hilfs- und Betriebsstoffe, Energie, Gas, Wasser, Chemikalien, Sonstige ...,
- Einsparfeld Rohstoff, Material ...

Bezogen auf...	Methode	Beschreibung
Analyse	Wertstromanalyse	Dient der Analyse des Ist-Zustandes und bildet im Modell Material- und Informationsflüsse einzelner Wertströme ab.
	Materialflussanalyse	Dient dem Erfassen aller Transportvorgänge, Lagerungen, mit dem Ziel, Schwachstellen zu identifizieren und die Ursachen zu erkennen.
	Stoffstromanalyse	Ermitteln von Stoff- und Energiebilanzen einzelner Prozessschritte oder Prozessketten.
	Prozessketten-darstellung	Dient der Modellierung und Visualisierung von Prozessen in ihrer geordneten Abfolge; dabei kann sowohl der Informations- als auch der Material- beziehungsweise Warenfluss dargestellt werden.
	Technologieanalyse	Dabei werden die derzeit im Unternehmen eingesetzten Technologien sowie ihr Anwendungsbereich untersucht, um, darauf aufbauend, alternative Technologien durch etwa eine Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten und zu empfehlen.
	Input-Output-Analyse	Eine auf Tabellen basierende Analyse, die Input und Output der Produktion nach Kategorien darstellt.
	Kennzahlenanalyse	Dient der Entscheidung einer Lösung hinsichtlich ihrer Auswirkung auf das Unternehmen. Dabei werden unternehmens- und bereichsbezogene Kennzahlen unterschieden.
	Begehung	Begehung, zum Beispiel der Werkstatt / des Montagebereichs, um sich einen Eindruck vor Ort zu verschaffen. ⁴¹
	Interviews	Befragung von Mitarbeitern, mit dem Ziel, Probleme zu identifizieren.
Optimierung	Design FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse in Bezug auf Fertigungs- und Montageeignung eines Produktes.
	Bauteil Wertanalyse	Erweiterung des Zielkostenansatzes, wobei Wertschöpfungsprozesse bis hin zu einzelnen Bauteilen eines Produktes untersucht und bewertet werden.
	FEM Simulation	Festkörpersimulation zum rechnerischen Nachweis und zur Optimierung von Konstruktionen
	KVP	Kontinuierliche Verbesserungsprozesse im Unternehmen etablieren / einführen.
	Six Sigma	Umfangreiche Methodik zur Prozessverbesserung auf Grundlage statistischer Untersuchungen.
	5S	Methodik, um den Arbeitsplatz sicher, sauber und übersichtlich zu gestalten (Sortieren / Anordnen / Säubern / Ordnung standardisieren / Ordnung bewahren)
	Austausch mit Best-Practise Unternehmen	Vergleich der eigenen Prozesse mit einem Best-Practise Beispiel. Ziel dabei ist es, das Verbesserungspotenzial im eigenen Prozess zu identifizieren und die Lösung zu adaptieren.
	QFD	Methode der Qualitätssicherung, mit deren Hilfe kundenseitige Anforderungen in spezifische Produktanforderungen übersetzt werden.

Tabelle 16: Auszug des Maßnahmenkatalogs, Bereich Analyse- und Optimierungsmethoden

⁴¹ Im Leanmanagement wird hierfür auch der japanische Begriff „Gemba“ gebraucht.

Zu allen 34 Technologien konnten somit Aussagen zu Einsparpotenzialen für die Ressourcen Energie und Material ermittelt werden, wobei hinter 40 Prozent der Technologien direkt quantitative Aussagen standen. Zusätzlich wurden insgesamt für 21 der 34 Technologien Materialeinsparpotenziale gesondert ausgewiesen (siehe Abbildung 23).

Projektbeispiele aus der Technologiematrix⁴²

Technologiebeispiele mit Anwendung in der Schmiedebranche

Das Reckwalzen stellt eines der wichtigsten Verfahren zur Massenvorverteilung bei der Herstellung von Gesenkschmiedeteilen dar und kommt sehr breitflächig zum Einsatz. Daher ist es bezüglich der Ressourceneinsparpotenziale äußerst interessant. Wesentlichen Einfluss auf das Reckwalzprodukt üben Umformtemperatur, Walzspalt und deren Wechselwirkung aus. Im Rahmen des ausgewerteten ENERMAS-Projekts wurde ein Leitfaden zur Reduzierung des Materialaufmaßes bei diesem Verfahren erstellt. Mittels einer speziell entwickelten Software wurden Geometrie und Masseabweichungen bestimmt und später die verantwortlichen Prozessparameter identifiziert. Hinsichtlich der Prozessstabilität wird empfohlen, am Erwärmerausgang die zulässige Temperaturschwankung auf ± 20 °C zu reduzieren sowie mindestens einmal pro Jahr eine vorbeugende Instandhaltungswartung durchzuführen, um das Walzlagerspiel und den Walzspalt zu überprüfen. Ein Walzlagerspiel von 0,5 Millimetern sollte nicht überschritten werden. Außerdem sollten zur Optimierung der Ausgangsgeometrie des Walzstücks automatische Maßkorrekturen in der Konstruktionssoftware abgeschaltet werden. Diese dienen der Schaffung eines Sicherheitsaufmaßes, erschweren jedoch maßgeblich die punktuelle Optimierung der Werkstückgeometrien.

Hinsichtlich der Erwärmeranlagen zeigen aktuelle Untersuchungen, dass die derzeit eingesetzten Induktionserwärmer einen Gesamtwirkungsgrad kleiner als 60 Prozent besitzen. Der elektrische Wirkungsgrad wird im Wesentlichen durch das Verhältnis von Wärmegutdurchmesser zu Spulendurchmesser bestimmt. Unternehmen wird empfohlen, diesen für das jeweilige Produktspektrum zu untersuchen und gegebenenfalls zu optimieren. Eine Abweichung von mehr als 30 Prozent von Induktor- zu Materialdurchmesser sollte unbedingt vermieden werden.

Ein weiterer derzeitiger Forschungsschwerpunkt liegt in der Magnetheiztechnik auf Basis von hochtemperatursupraleitenden (HTS) Magneten. Diese sind für die Aluminiumindustrie entwickelt worden und besitzen einen um 15 bis 20 Prozent höheren Wirkungsgrad als die zuvor erwähnten Induktionserwärmer. Aus einem Technologietransfer würde ein enormes Energieeinsparpotenzial für die Schmiedebranche resultieren. Erste Tests sind vielversprechend, es besteht allerdings weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf.

Großes Potenzial bieten außerdem ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische Stähle (AFP-Stähle) sowie hoch duktile bainitische Stähle (HDB-Stähle). Sie ermöglichen die gezielte Gefügeeinstellung direkt aus der Schmiedehitze,

⁴² Vgl. Widdermann, S. et al. (2012), S. 24 f.

zeigen jedoch vergleichbare Härten und Eigenschaften wie traditionell vergütete Stähle. „Neben dem Einsparen der Energien und Kosten für das Härten und Anlassen beim Vergüten sowie dem häufig notwendigen Richten und Spannungsarmglühen werden die Herstellkosten durch geringeren Härteausschuss, niedrigeren Prüf- und Handlingsaufwand und durch verbesserte Zerspanbarkeit entlastet.“⁴³ An dieser Stelle sei auf das von der Allianz Industrie Forschung (AIF) geförderte Projekt ECO-Forge verwiesen, das die Optimierung dieser Prozesskette zum Ziel hat.⁴⁴

Technologiebeispiele mit Anwendung in der Oberflächenveredelung

In einem vom Bundesumweltministerium geförderten Projekt⁴⁵ konnten in einem Unternehmen durch eine Verfahrensumstellung bei der Aufbringung funktionaler Schichten 50 Prozent Energie eingespart werden. Durch den Wegfall eines Reinigungsschrittes konnten außerdem die Emissionen in Luft und Wasser auf null gesenkt werden.

Ein weiteres Projekt im Bereich der Oberflächenbeschichtung beschäftigte sich mit der Aufbringung von Nano- und Mikrohartstoffschichten. Durch das neu entwickelte „Dreidimensionale Hybrid-Anodenunterstützte-Quadroimpuls-Chemical-Vapour-Dispositions-Verfahren“ kann bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen eine extrem abriebfeste und harte Oberfläche abgeschieden werden, die die Lebensdauer von beispielsweise Werkzeugen um das Zwei- bis 25-Fache erhöht.⁴⁶

Prozessrecherche mit Anwendung in der Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen

Die Recherche zum Prozess „Fügen“ ergab auf Grundlage des aktuellen Abschlussberichts des Verbundprojekts „ENERWELD – Effiziente thermische Fügeverfahren“, dass davon auszugehen ist, dass auch hier sehr wenig Energie- oder Materialeinsparpotenzial vorhanden ist: „Die Lichtbogenschweiß-Verfahren haben einen hohen technologischen Stand erreicht, was Anlagentechnik, Produktivität und Prozesssicherheit sowie die Vielfalt der einsetzbaren Zusatzwerkstoffe betrifft.“⁴⁷

⁴³ Tönshoff, H.K. (2010).

⁴⁴ Vgl. AIF (2012).

⁴⁵ Vgl. Gänz, K. et al. (2006).

⁴⁶ Vgl. Paterok, L. (2012).

⁴⁷ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2012), S. 15.

Technologiedescription										Einsparfeld				
Technologie/Projekt	Branche (1)	Ziel (Method) (2)	Prozess (3)	Beschreibung	Partner / Forderung	Jahr	Quellen	Energieeinsparung	Gas	Wasser	Chemikalien	Sonstiges	Material	
TruPunch 3000/5000	B2	Materialeffizienz (Reduktion von Material)	Trennen (Stanzan)	Mechanik anj	Das Stanzen ohne Restgitter wird ermöglicht durch die Verwendung von energieeffizienten Stanzköpfen. Dieses ermöglicht es Teile und Reststücke auf dem Bearbeitungsbehl neu auszurichten. Außerdem sind optimierte Schachthlalgorithmen bereits in der Maschinensoftware integriert, somit sind keine aufwendigen Programmierungen erforderlich.	Trumpf	2011	TÜVMPF (2011): Starkes TruPunch-Residualgitter. Pressemitteilung unter: http://www.pressebox.de/pressemitteilung/trumpf-gmbh-co-kg/Sarkes-TruPunch-Residualgitter/bwld/427982 (abgerufen am 19.02.2021)	30,00%	0,6				10,00%
Optimale Prozessführung Schneiden	B2	Materialeffizienz (Reduktion von Material)	Prozesskette (Schneiden)	Umformen	Es wurde auf Basis eines repräsentativen Reparatursatzes die optimalen Umformverfahren und Werkzeugtechnologien in einem Benchmark verglichen. Auf dieser Grundlage wurden optimale Prozesswege, Verfahren und Werkzeugtechnologien identifiziert und damit die Potenziale für eine Reduzierung des Materialsaatzes abgeschätzt. Es sind Materialerfizienzsteigerungen zwischen 16 und 30 % möglich und zwischen 13 und 30 % für Fassonbleche identifiziert worden. Verantwortlich hierfür ist vor allem die gewählten Vorformstufen bezuglich Anzahl, Verfahren und Werkzeugkonzept. Gewichtet ergab sich ein theoretisches Einsparpotential von 6,7 %.	DBU, Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung NRW	2011	Infostelle Industrieverband für Innovation, e. V. (2011): Schmelde-Journal, Ausgabe September 2011	6,70%					6,70%
Stoffsimulation FEM	B2	Materialeffizienz (Reduktion von Material)	Prozesskette (Schneiden)	Alle	Eine Stoffsimulation auf Basis von FEM ergab, dass Verfahren und Werkzeugkonzepte mit hohem Materialwirkungsgrad eine geringe Geometrie bezüglich der herstellbaren Geometrie aufweisen und umgekehrt. Die in der Massivumformung eingesetzten Sonderanfertigungen sind unter dem Aspekt der Stoffsimulation nicht die Idealform für das Vornaterial dar. Hier wurde ein Materialeinsparpotential von 2 % ermittelt, welches aber noch in keinem Verhältnis zu den zusätzlich anfallenden Kosten für das Vornaterial steht.	DBU, Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung NRW	2011	Infostelle Industrieverband für Innovation, e. V. (2012a): Schmelde-Journal, Ausgabe September 2012	5,00%					2,00%

Tabelle 17: Ausschnitt aus der Technologiematrix

4.2.3 Hochrechnung

Die Hochrechnungen der Ergebnisse für Peripherie, Methoden und Technologien erfolgten unter den folgenden Annahmen:

- Annahme 8:** Die Analyse- und Optimierungsmethoden sind nicht prozessspezifisch und lassen sich auf alle Branchen der Metall verarbeitenden Industrie anwenden.
- Annahme 9:** Technologien, die einem Fertigungsprozess zugeordnet wurden, können in weiteren Branchen Potenziale zur Energie- und Materialeinsparung aufweisen (Abbildungen 21 und 22).
- Annahme 10:** Technologien, die in ihrer Beschreibung als „gut“ eingestuft wurden, sind mit einem Einsparpotenzial von fünf Prozent, solche mit einer „sehr guten“ Bewertung mit einem Einsparpotenzial von zehn Prozent bewertet worden (Abbildung 23 – Methode zur konservativen Abschätzung).

Peripheriematrix - Hochrechnung

Die Ergebnisse der Berechnung der Quantile zur Bestimmung von LOW- und HIGH-Werten als Input für die Hochrechnung sind grafisch in Abbildung 22 dargestellt. Das untere Quantil liegt bei 13 Prozent, das obere bei 26 Prozent. Diese Werte gehen einerseits als Input LOW- und andererseits als Input HIGH-Potenzial zu jeweils 50 Prozent in die Hochrechnung der Energieeinsparung ein.

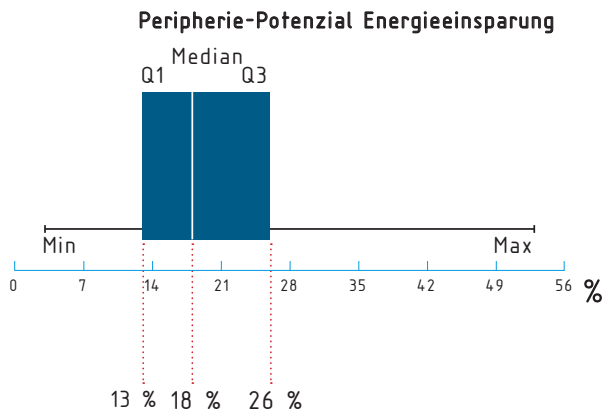


Abbildung 25: Boxplot-Darstellung der Potenziale zur Energieeinsparung in der Peripherie

Methodenmatrix - Hochrechnung

Für die Berechnung des Einsparpotenzials gilt die Annahme, dass die identifizierten Maßnahmen aufgrund der hohen Prozessähnlichkeit wenig branchenspezifisch sind und sich auf alle Branchen der Metall verarbeitenden Industrie anwenden lassen.

Zunächst wurden hierbei für jeden Bereich die Materialeinsparungen betrachtet und auf den Unternehmensinput bezogen, um die prozentualen Einsparungen im gesamten Unternehmen zu ermitteln. Aufgrund des Detaillierungsgrades der Aufschlüsselungen konnten die Einsparpotenziale aufgedgliedert werden in die Bereiche:

- Material,
- Hilfs- und Betriebsstoffe,
- Ausschussreduktion.

Im Anschluss wurde zur Ermittlung des HIGH- und LOW-Potenzials ebenfalls ein Boxplot der gesamten Mittelwerte erstellt (siehe Abbildung 23). Dabei ergeben sich ein LOW-Potenzial von fünf Prozent sowie ein HIGH-Potenzial von 21 Prozent. Im Mittel können durch die Anwendung verschiedener im Maßnahmenkatalog benannter Maßnahmen Einsparungen von circa fünf Prozent bis 21 Prozent realisiert werden. Die Ergebnisse der Berechnungen zur Materialeinsparung über die Methodenmatrix fließen zu 50 Prozent in die Hochrechnung der Materialeinsparung ein.

Methoden-Potenzial Materialentwicklung

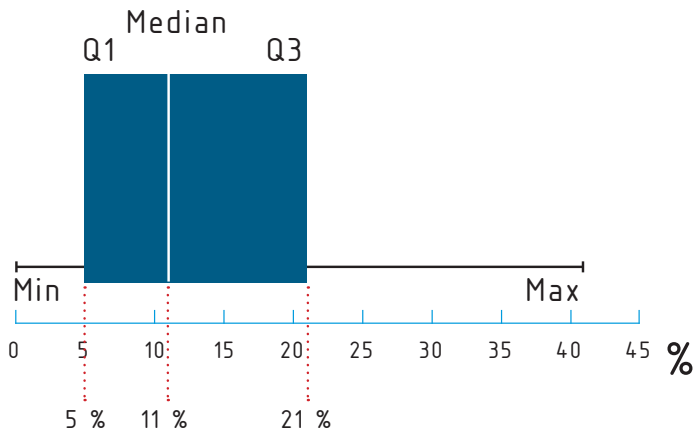


Abbildung 26: Boxplot-Darstellung Potenziale zur Materialeinsparung durch Analyse- und Optimierungsmethoden

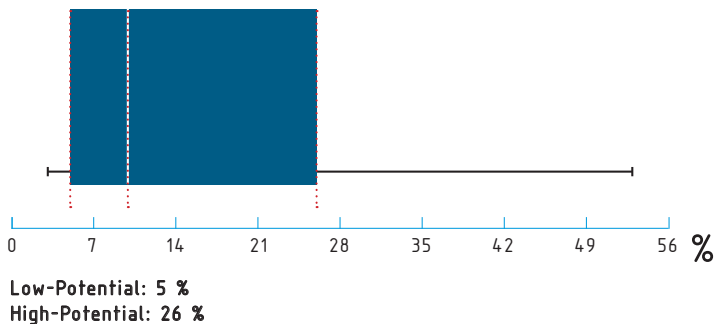
Technologiematrix - Hochrechnung

Die Datenlage im Bereich der betrachteten Technologie erwies sich als sehr inhomogen. Die Angaben zu den Einsparpotenzialen für Energie und Material je Technologie erfolgten sowohl qualitativ als auch quantitativ. Um die Eingangsgrößen für die Hochrechnung ermitteln zu können, wurde für die Technologien eine Methode zur konservativen Abschätzung der Potenziale entwickelt (siehe Abbildung 23).

Die konservativ abgeschätzten Potenziale für die Energie- und Materialeinsparung durch neue Technologien liegen jeweils unter den quantitativ bestimmbareren Potenzialen aus den drei Matrizen. Die Abschätzung und die Zuordnung der qualitativ beschriebenen Technologien erfolgte mit wissenschaftlichen Mitarbeitern aus den Fachgebieten Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Montagetechnik und Fabrikbetrieb, Industrielle Automatisierungstechnik, Industrielle Informationstechnik, Qualitätswissenschaft sowie Füge- und Beschichtungstechnik aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Technologien, bei denen keine fundierte Bewertung durchgeführt werden konnte, gehen nicht in die Berechnung ein.

Das Energieeinsparpotenzial der quantifizierten Technologien (LOW) ergibt eine Spanne von 13 bis 34 Prozent, das Materialeinsparpotenzial liegt zwischen sechs und elf Prozent. Aus den quantitativ und konservativ bewerteten Technologien (HIGH) ergeben sich ein Energieeinsparpotenzial von fünf bis 26 Prozent sowie ein Materialeinsparpotenzial von fünf bis zehn Prozent.

Technologie-Potenzial Energieeinsparung



Technologie-Potenzial Materialeinsparung

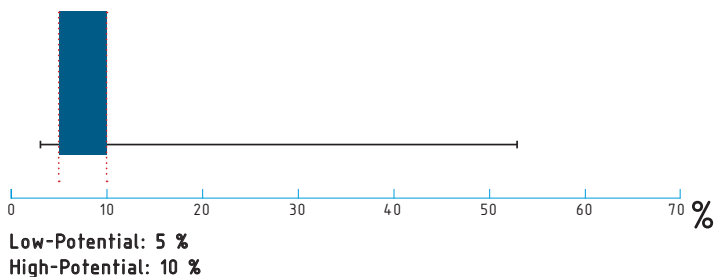


Abbildung 27: Boxplot-Darstellung: Potenziale zur Energie- und Materialeinsparung durch Technologien

Auswertung und Ergebnisse

Als Eingangsdaten für die Hochrechnung dienen die LOW- und HIGH-Werte, die im Rahmen der Boxplot-Darstellung aus Technologie, Peripherie und Maßnahmen ermittelt wurden. Auf dieser Grundlage sind zwei Berechnungen, jeweils für das LOW- und HIGH-Potenzial, durchgeführt worden. Als Basis der Hochrechnung werden der Materialverbrauch an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie der Energieverbrauch jeder Fokusbranche, die monetär bewertet aus dem Jahrbuch des Statistischen Bundesamtes entnommen worden sind, herangezogen.

Aufgrund der begrenzten Datengrundlage konnten die Einsparpotenziale nicht durchgehend branchenspezifisch bewertet werden, so dass von einem branchenübergreifenden Einsparpotenzial ausgegangen wurde. Daher beträgt beispielsweise die Materialeinsparung durch technologische Maßnahmen in allen drei Branchen fünf Prozent (siehe Tabelle 14). Das entwickelte Hochrechnungsmodell bietet die Möglichkeit, für jede einzelne Branche eine separate Hochrechnung vorzunehmen, sofern die erforderliche Datenbasis vorhanden ist.

Input Low										Output Low				
Bran- che	Technologie				Peri- pherie		Metho- den		Material- einsparung	Energieeinsparung				
	Material	R	Energie	R	Energie	R	Material	R	Material [Mio. €]	Energie [GJ]	Energie [kWh]	Energie [Mio. €]	CO ₂ [Mio t]	
B1	5 %	0,5	5 %	0,5	13 %	0,5	5 %	0,5	79	207.888	57.746.586	4	32	
B2	5 %	0,5	5 %	0,5	13 %	0,5	5 %	0,5	419	1.754.218	487.282.872	42	274	
B3	5 %	0,5	5 %	0,5	13 %	0,5	5 %	0,5	265	2.079.941	577.761.447	50	325	

Input High										Output High				
Bran- che	Technologie				Peri- pherie		Metho- den		Material- einsparung	Energieeinsparung				
	Material	R	Energie	R	Energie	R	Material	R	Material [Mio. €]	Energie [GJ]	Energie [kWh]	Energie [Mio. €]	CO ₂ [Mio t]	
B1	10 %	0,5	26 %	0,5	26 %	0,5	21 %	0,5	246	600.564	166.823.472	12	94	
B2	10 %	0,5	26 %	0,5	26 %	0,5	21 %	0,5	1.298	5.067.742	1.407.706.074	122	791	
B3	10 %	0,5	26 %	0,5	26 %	0,5	21 %	0,5	821	6.008.719	1.669.088.626	146	938	

Tabelle 18: Übersicht der Hochrechnungen für das HIGH- und LOW-Potenzial

Energieeinsparung

Die Potenziale für Energieeinsparung über alle betrachteten Branchen liegen zwischen 96 und 280 Millionen Euro. Dabei ist das größte Einsparpotenzial in der Branche „Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.“ mit minimal 50 Millionen und maximal 146 Millionen ausgewiesen worden.

Das ermittelte Energieeinsparpotenzial, bezogen auf die gesamte Branche „Herstellung von Metallerzeugnissen“, liegt zwischen vier und 11,7 Millionen Gigajoule. Dies entspricht einem Anteil zwischen fünf und 14 Prozent (siehe Abbildung 25). Auf der Grundlage des ermittelten Potenzials zur Energie-

einsparung können die Reduktionspotenziale für Kohlendioxidemissionen der einzelnen Branchen bestimmt werden.⁴⁸ Somit ergeben sich mögliche Reduktionen in Höhe von 631 bis 1.826 Millionen Tonnen CO₂.

Energieeinsparung [Mio.€]		
Branche	Low-Potential	High-Potential
B1: Metalltanks und -behälter; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen ...	4	12
B2: Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteile ...	42	122
B3: Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung ...	50	146

Tabelle 19: Energieeinsparpotenziale je Branche

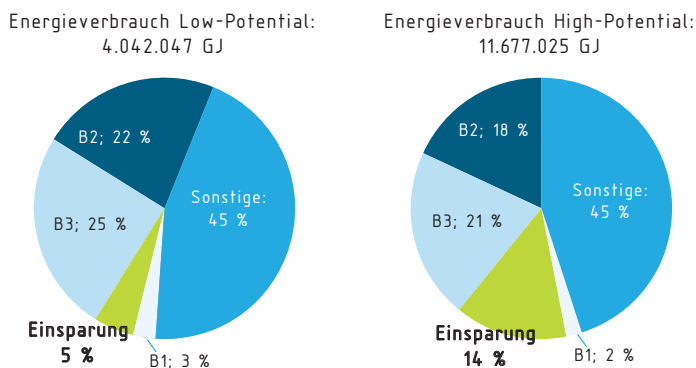


Abbildung 28: Darstellung der anteiligen Energieeinsparpotenziale⁴⁹

Materialeinsparung

Die Potenziale für die Materialeinsparung über alle Branchen betragen zwischen 763 und 2.364 Millionen Euro. Das größte Einsparpotenzial ist in der Branche „Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen“ mit minimal 419 und maximal 1.298 Millionen Euro ausgewiesen worden.

Bezogen auf den Materialverbrauch der gesamten Branche „Herstellung von Metallerzeugnissen“ wurden Einsparpotenziale zwischen zwei und sechs Prozent des Gesamtmaterialverbrauchs ermittelt (siehe Abbildung 26).

⁴⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2010).

⁴⁹ Eigene Darstellung nach Berechnung.

In der Tabelle 21 sind die Ergebnisse der Hochrechnung abschließend zusammengefasst. Dabei beträgt die Bezugsgröße ein Jahr bei Umsetzung aller Maßnahmen.

Materialeinsparung [Mio.€]		
Branche	Low-Potential	High-Potential
B1: Metalltanks und -behälter; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen ...	79	246
B2: Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteile ...	419	1298
B3: Oberflächenveredelung und Wärmebehandlung ...	265	821

Tabelle 20: Materialeinsparpotenziale je Branche

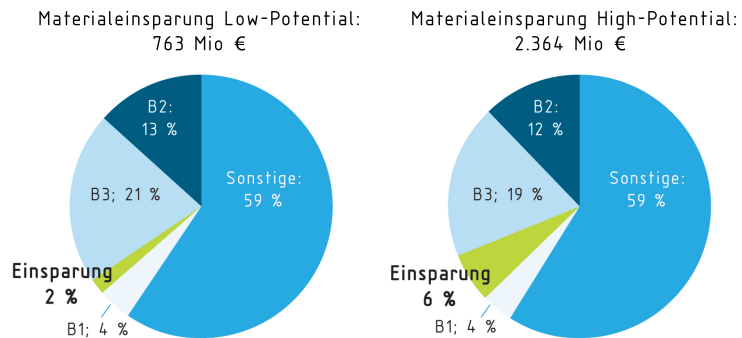


Abbildung 29: Darstellung der minimalen und maximalen Materialeinsparungen⁵⁰ bezogen auf WZ

		LOW	HIGH
Material	In Mio. €	763	2.364
	Anteil	2 %	6 %
Energie	In Mio. €	96	280
	In t CO ₂	631 Mio.	1.826 Mio.
	Anteil	5 %	14 %

Tabelle 21: Ermittelte Potenziale für CO₂-Reduktion, bezogen auf Material- und Energieeinsparung

⁵⁰ Eigene Darstellung nach Berechnung

4.3. Kritische Würdigung der Ergebnisse

Kritische Würdigung der Grobpotenzialanalyse

Die Untersuchung der Einsparpotenziale in der Metall verarbeitenden Industrie stützt sich hauptsächlich auf Sekundärdaten und darauf basierende eigene Berechnungen. Als Basis diente die Erhebung von Sekundärdaten zu den Verbräuchen von Energie, Material und Wasser sowie den Emissionen von Abwasser, CO₂ und Abfall in den Branchen der Metall verarbeitenden Industrie.

Bei der Erhebung der Daten wurden die Grenzen der Untersuchung deutlich sichtbar, was in der Methodik der Grobpotenzialanalyse berücksichtigt werden musste. Auf den benötigten Branchenebenen sind nur Daten zu den Material- und Energieverbräuchen verfügbar. Angaben zu den Verbräuchen von Wasser oder dem umweltrelevanten Output von Ressourcen stehen auf Branchenebene nicht zur Verfügung. Die Angaben zu Material- und Energieverbräuchen liegen zwar auf Branchenebene vor, jedoch nur als monetär bewertete, kumulierte Größen. Die Verteilung der Anteile von Rohstoffen, Hilfsstoffen und Betriebsstoffen auf den gesamten Materialverbrauch ist nicht ablesbar. Gleiches gilt für die Verteilung der Energieverbräuche auf die einzelnen Energieträger. Bei den verfügbaren Daten zum Abfallaufkommen stellt die Abfallart den Betrachtungsgegenstand dar. Hinsichtlich der Wirtschaftszweige und Branchen liegen keine detaillierten Angaben vor. Das Abfallaufkommen als umweltrelevanter Output konnte somit nicht in die Berechnungen mit einfließen. Angaben zu Abwasser und Wasser werden nur in größeren Zeitabständen veröffentlicht. Die aktuellsten Zahlen, die vom Statistischen Bundesamt im Rahmen der umweltökonomischen Gesamtrechnung veröffentlicht wurden, sind der amtlichen Umweltstatistik des Jahres 2007 entnommen. Die Angaben liegen bezogen auf die Wirtschaftszweigebene vor, eine Aufgliederung nach Branchen ist nicht verfügbar. Output-Daten zu umweltrelevanten Emissionen werden vom Statistischen Bundesamt auf Wirtschaftszweigebene berechnet und veröffentlicht. Eine höhere Granularität der Sekundärdaten bis auf Branchenebene könnte zu einer anderen Fokussierung in der vorliegenden Untersuchung führen.

Um trotzdem möglichst alle zugänglichen Daten mit in die Auswahlentscheidung der Branchen einfließen zu lassen, wurde der Auswahlprozess zweistufig gestaltet. Die gewichteten Verbrauchsintensitäten wurden auf Ebene der Wirtschaftszweige berechnet, um so mit einem Filterprozess die Anzahl der betrachteten Wirtschaftszweige von sechs auf drei zu reduzieren. Für den Wirtschaftszweig WZ 30 „Sonstiger Fahrzeugbau“ werden nur unvollständige Daten zu den betrachteten Verbräuchen veröffentlicht, da sich diese mehrheitlich auf Branchen mit militärischem Hintergrund beziehen. Das bedeutet, dass von den sechs Wirtschaftszweigen der Metall verarbeitenden Industrie vergleichbare Angaben nur für fünf der Wirtschaftszweige zur Verfügung standen. Bei der Vorauswahl der Wirtschaftszweige im ersten Schritt über gewichtete Verbrauchsintensitäten der Wirtschaftszweige wurde die Anzahl der darunter subsumierten Branchen nicht berücksichtigt.

Nach Auswahl der drei Wirtschaftszweige wurden auf Branchenebene die Verbrauchsintensitäten für Energie und Material berechnet und bewertet. Die

Bewertung erfolgte, anders als im ersten Filterprozess, ohne die Gewichtung des Anteils am Gesamtverbrauch. Eine Gewichtung hätte im Ergebnis zu einer geringfügigen Veränderung der Rangfolgen geführt. Die Branche „Herstellung von Metalltanks“ wäre bei Durchführung einer entsprechenden Gewichtung nicht berücksichtigt worden. Bei zukünftigen Untersuchungen mit der Anwendung einer analogen Methodik wird empfohlen, auch bei der Betrachtung auf Branchenebene eine Gewichtung entsprechend den anteiligen Branchenverbräuchen durchzuführen. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass die Auswahl der neun Branchen für das Scoring-Modell unter der Prämisse erfolgte, jeweils drei Branchen aus den drei Wirtschaftszweigen zu berücksichtigen.

Bezüglich des Scoring-Verfahrens sind folgende Anmerkungen vorzunehmen: Die Gewichtung der beiden Dimensionen in Abstimmung mit Experten im Scoring-Modell unterliegt einer gewissen Subjektivität. Zudem ist auf Grund der unterschiedlichen Anzahl der darunter liegenden Einzelindikatoren der beiden Dimensionen „Branchenentwicklung“ und „Technologisches Innovationspotenzial“ eine unterschiedliche Sensitivität der einzelnen Indikatoren auf das Gesamtergebnis gegeben.

Kritische Würdigung der Feinpotenzialanalyse

Die kritische Würdigung der Feinpotenzialanalyse wird entsprechend dem methodischen Vorgehen in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt werden die kritischen Einflussgrößen im Rahmen der Feinpotenzialanalyse herausgestellt. Der zweite Abschnitt führt kritische Bestandteile der Hochrechnung auf.

Für die drei Branchen wurde nach DIN 8580 und DIN 10052 jeweils ein vereinfachtes Prozesskettenmodell entwickelt. In der Prozesskettenanalyse wurden die in allen drei Branchen erforderlichen Wertschöpfungsprozesse wie Erwärmen, Umformen, Mechanik, etc. identifiziert. Für diese Querschnittsprozesse konnten die im Durchschnitt erforderlichen Hilfs- und Betriebsstoffe ermittelt werden.

Der Grund hierfür besteht in der grob aggregierten Form der Daten des Statistischen Bundesamtes sowie in der branchenspezifischen Sekundärliteratur. Zum Beispiel liegt die Erhebung von Energieverbräuchen in Form von Hilfs- und Betriebsstoffen des Statistischen Bundesamtes auf Wirtschaftszweigebene vor, jedoch nicht auf Branchenebene. Im Statistischen Jahrbuch finden sich Angaben zu monetären Energieverbräuchen, die jedoch nicht nach Energieträgern differenziert wurden. Dies erschwert die Zuordnung der Prozesse zu den Hauptenergieverbrauchern. In den betrachteten Branchen wird die thermische Energie hauptsächlich durch Verbrennungsprozesse gewonnen, die mechanische Energie durch die Umwandlung der elektrischen Energie in Elektromotoren.

Eine zusätzliche Schwierigkeit bildete die Gliederung der Branchen nach den Vorgaben des Statistischen Bundesamtes, die sowohl produkt- als auch prozessbezogen erfolgt. Somit konnte aus den vorhandenen Branchendaten

keine quantitative Input- und Output-Analyse von Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffen auf der Prozesskettenebene durchgeführt werden.

Die Auswirkungen einzelner Maßnahmen aus den demea-Berichten zur Steigerung der Rohstoffeffizienz sind nicht eindeutig auf die gesamte Branche übertragbar. Nur das Einsparpotenzial eines Bündels von Maßnahmen konnte in der Studie quantifiziert werden. Dadurch ergibt sich die Annahme, dass durch die Kombination verschiedener Maßnahmen die durchschnittlich ermittelten quantitativen Einsparungen erzielt werden können.

Die in der Peripheriematrix ermittelten Maßnahmen und Technologien hinsichtlich möglicher Energieeinsparpotenziale divergieren zwischen fünf und 55 Prozent, je nach Branche und Unternehmen. Für diese relativ große Spanne an möglichen Einsparungen wurden mittels der Analyse durch Boxplots ein unteres Quantil von 13 Prozent und ein oberes Quantil von 26 Prozent ermittelt. Der Median für das Energieeinsparpotenzial für ein KMU aus den drei Branchen, das in den letzten fünf Jahren keine Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung in der Infrastruktur durchgeführt hat, liegt bei 18 Prozent.

In der Technologiematrix wurden 33 Technologien untersucht. Davon gab es 18 Technologien mit quantitativen Angaben zu Material- und Energieeinsparpotenzialen. Diese Angaben wurden meist durch eine prototypische Implementierung in bestehende Prozesse ermittelt und sind nicht direkt auf die gesamte Branche übertragbar. Die restlichen fehlenden Angaben wurden auf Grundlage von Expertenbefragungen konservativ abgeschätzt.

Während der Feinpotenzialanalyse wurde deutlich, dass die Branche „Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen“ über kein sehr großes Potenzial zur Energie- und Materialeinsparung verfügt. Hierbei bildet die geringe Wertschöpfungstiefe in Deutschland nur einen Faktor neben dem geringen Energieverbrauch von drei Prozent, Beschäftigten von drei Prozent, Umsatz von vier Prozent und Anzahl der Unternehmen von einem Prozent, bezogen auf den gesamten Wirtschaftszweig „Herstellung von Metallerzeugnissen“. Ein überdurchschnittlich großer Teil der Erzeugnisse wird nicht selber hergestellt, sondern fremdbezogen. Die eigene Wertschöpfung in der Heizungsindustrie fällt mit einem Anteil von 20 Prozent am gesamten Produktionswert gering aus. Die Hersteller von Heizungen kaufen viele fertige Erzeugnisse bei anderen Produzenten ein und vertreiben sie lediglich weiter. Der Anteil der Handelswaren liegt daher bei 24 Prozent. In der übergeordneten Gruppe „Herstellung von Metallerzeugnissen“ machen fremd zugekaufte Waren nur fünf Prozent der Kostenstruktur aus.⁵¹

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde bereits beim Workshop am 8. November 2012 im Einvernehmen mit dem VDI Zentrum Ressourceneffizienz beschlossen, die Heizungsindustrie aus der weiteren Betrachtung auszuschließen.

⁵¹ IG-Metall Branchenreport Heizungsindustrie (2010), S. 5.

Kritische Würdigung der Hochrechnung

Zuerst erfolgt die Betrachtung der Datengrundlage und anschließend wird das Hochrechnungsmodell hinsichtlich möglicher kritischer Annahmen analysiert.

Aufgrund der oben genannten Ausführungen ergibt sich für die Hochrechnung eine Datengrundlage, die hinsichtlich der Anzahl der berücksichtigten Technologien, Maßnahmen und durch die konservativen Abschätzungen der Einsparpotenziale nur bedingt statistisch repräsentativ ist. Diesem Umstand wurde versucht mittels folgender Rand- und Übergangsbedingungen zu begegnen:

Die Hochrechnung erfolgt im Rahmen einer oberen und unteren Schranke, die einen Mindest- und Maximalwert für das Einsparpotenzial der Branchen liefert. Diese Schranken wurden für die drei betrachteten Bereiche Technologie, Peripherie und Maßnahmen zur Rohstoffeffizienz durch eine Datenanalyse mit Boxplots ermittelt. Diese Analyse glättet Daten, indem sie statistische Ausreißer nicht berücksichtigt.

Alle Abschätzungen basieren auf konservativen Annahmen. Das heißt, es wurde für fünfzehn betrachtete Technologien eine untere Grenze für das Material- oder Energieeinsparpotenzial von fünf Prozent ermittelt (siehe Abbildung 20) – Methode zur konservativen Abschätzung.

Die Annahmen, die für das Hochrechnungsmodell getroffen wurden, können wie folgt kritisch betrachtet werden:

- Die Annahme, dass Technologien auf die gesamte Branche und nicht auf einzelne Prozesse angewendet werden, birgt eine gewisse Ungenauigkeit hinsichtlich des Einsparpotenzials für die einzelnen Branchen. Diese Annahme stellt eine Folgerung aus der Hypothese dar, dass die aggregierten Einsparpotenziale der Technologien auf die durchschnittlichen Querschnittsprozesse einer Branche angewendet werden können.
- Die Annahme, dass das Einsparpotenzial durch Peripherie und Methoden in allen betrachteten Branchen gleich hoch liegt, ist nicht validiert. Es wurde von einem branchenübergreifenden Einsparpotenzial der Peripherie und Methoden ausgegangen.
- Die Basis für die Berechnung des Energieeinsparpotenzials ist eine durchschnittliche Verteilung des Energieverbrauchs nach Anwendungsbereichen in der Industrie. Die Prozesswärme und mechanische Energie ergeben hierbei mit einem prozentualen Anteil von 65 beziehungsweise 22 Prozent am Gesamtenergieverbrauch die relevanten Energieverbräuche für die Hochrechnung.⁵² Die Berechnung ist daher nicht branchenspezifisch aufgeschlüsselt.
- Als Grundlage für die monetär bewertete Materialeinsparung einer Branche dient der branchenspezifische Input an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen (in tausend Euro). Die Kostenstruktur verschiedener Materialien (zum Beispiel Metalle, Chemikalien) wurde daher nicht berücksichtigt.

⁵² Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die kritischen Bestandteile der Feinpotenzialanalyse und der Hochrechnung aus einer nicht hoch genug aufgelösten sowie unvollständigen Datengrundlage resultieren. Damit dennoch eine valide Branchenhochrechnung durchgeführt werden konnte, wurden Abschätzungen grundsätzlich konservativ vorgenommen. Weiterhin wurden die Daten durch die zugrunde liegende Analysemethode geglättet und zu einer unteren und oberen Schranke aggregiert. Die resultierende Spanne sollte daher eine geeignete Abbildung hinsichtlich der vorhandenen quantitativen Einsparpotenziale innerhalb der betrachteten Branchen gewährleisten.

5. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Es lassen sich drei Handlungsempfehlungen ableiten. Sie beziehen sich erstens auf die Datenbasis zur Bestimmung von Ressourceneffizienzpotenzialen, zweitens auf die Weiterbildung sowie die methodische Standardisierung und Zertifizierung im Bereich Rohstoff- und Energieeffizienz und drittens auf Ressourcenmanagementsysteme. Alle drei Handlungsempfehlungen sollten Unterstützung durch gezielte Informationsprogramme sowie Beratungs- und Weiterbildungsförderung finden.

5.1. Verbesserung der Datenbasis für die Bestimmung von Ressourceneffizienzpotenzialen

Die Erhebung von Materialdaten in Form von Rohstoffen, Halbzeugen und Erzeugnissen des Statistischen Bundesamtes erfolgt ausschließlich monetär. Deren Aufteilung in Materialbestandteile und Materialmengen in Kilogramm werden nicht erfasst. Angaben zum Materialmix und Materialverbrauch einer Branche sind nur vereinzelt in der Literatur zu finden und damit schwer vergleichbar. Auch die Auswertung der „VerMat“-Berichte der demea kommt zu demselben Ergebnis. Materialmengen werden oft abgeschätzt oder es wird ein Mengendurchschnitt gebildet. Dies erschwert die Bestimmung von Potenzialen für die Rohstoffeffizienz in der Metall verarbeitenden Industrie, vor allem wenn berücksichtigt wird, dass sich die Metallpreise in den letzten zehn Jahren teilweise verfünffacht haben.⁵³

Die Erhebung von Energieverbräuchen in Form von Hilfs- und Betriebsstoffen des Statistischen Bundesamtes liegt auf Wirtschaftszweigebene in Terajoule vor, jedoch nicht auf Branchenebene. Auf dieser Stufe finden sich im Statistischen Jahrbuch des Statistischen Bundesamts Angaben zu den monetären Energieverbräuchen. Jedoch wird nicht nach Energieträgern differenziert. Wird zusätzlich die Verdreifachung der Strompreise in Deutschland für den Industriebetrieb in den letzten zehn Jahren berücksichtigt⁵⁴, kann eine rein quantitative Bewertung von Energieeffizienzpotenzialen auf Branchen- und Subbranchenebene kaum und auf der Prozessebene gar nicht erfolgen. Eine mögliche Lösung für dieses Problem zeigt Vikhorev⁵⁵ durch eine standardisierte Infrastruktur und Messauflösung für eine Sensorüberwachung auf Fabrik- und Prozesskettenebene auf.

⁵³ Vgl. London Metal Exchange (1/2013).

⁵⁴ Vgl. Arepo Consult, *Frontier economics/ ewi* (4/2012).

⁵⁵ Vgl. Vikhorev, K. et al. (10/2012).

I. Handlungsempfehlung: Zur Schaffung einer besseren Datengrundlage wird empfohlen, sowohl Materialart und -menge als auch den Energieeinsatz pseudonymisiert auf der Fabrikebene zu erfassen. Die digitale Erhebung der eingesetzten Rohstoffe und der Energie entscheidet über Wettbewerbsfähigkeit, Qualität und Reichweite des Ressourcenmanagements.

Die weitgehend automatisierte Sensorüberwachung, die zum Beispiel relevante Verbrauchsdaten für Hilfs- und Betriebsstoffe, wie beispielsweise den Energieeinsatz in Echtzeit erfasst, spielt bei der sicheren Datenerhebung eine große Rolle. In Abhängigkeit der Fragestellung beziehungsweise zwecks der Datenerhebung sowie der zeitlichen Anforderungen der weiterverarbeitenden Systeme müssen die Kontinuität der Daten und die Relevanz der Echtzeiterfassung im Speziellen ermittelt werden.

Je nach Fragestellung sind oftmals Initialmessungen oder in größeren zeitlichen Abständen erfolgende Einzelmessungen ausreichend. Dies gilt beispielsweise für die Analyse von Einzelprozessen, Prozessketten, Betriebsbereichen mit dem Ziel der Entwicklung von betrieblichen Prozessverbesserungen oder der Datennutzung für Zeitreihen der Statistischen Ämter auf Bundes- oder Länderebene. Dennoch gibt es eine Reihe an Potenzialen zur Effizienzsteigerung, die insbesondere durch Datenerfassung und -verarbeitung in Echtzeit gehoben werden können, dies sind zum Beispiel:

- Zustandsorientierte Instandhaltung von Produktionssystemen: Senkung der Stillstandszeiten, Verringerung der Sekundärschäden, Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit, Lebensdauer von Bauteilen und Maschinen;
- Umpfanung der energieintensiven Produktionsprozesse auf Zeiten hoher Verfügbarkeit von regenerativen Energien: emissionsärmere und kostengünstigere Produktion;
- Dynamisches Benchmarking von Prozessen in Produktionseinrichtungen: Identifikation von besten Methoden, Technologien, Verfahren und gegebenenfalls Prozessparametern aus der gesamten Metall verarbeitenden Industrie.

5.2. Weiterbildung, methodische Standardisierung und Zertifizierung im Bereich Rohstoff-/Energieeffizienz

Aufgrund der überwiegend mittelständisch geprägten Unternehmensstruktur der Metall verarbeitenden Industrie sind die finanziellen und personellen Kapazitäten zur Feststellung und Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Rohstoff- und Energieeffizienz zumeist begrenzt.

Wie bereits im Kapitel zur Technologie-, Peripherie- und Methodenmatrix beschrieben, existiert eine Vielzahl an aktuellen Studien und wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Energieeffizienzpotenzialen in den Bereichen Pumpen-, Druckluftsysteme, Prozesswärme und Elektromotoren. Die in der

vorliegenden Studie ermittelten potenziellen Energieeinsparungen in den Peripherieprozessen liegen bei der Umwandlung von elektrischer Energie:

- in mechanische Energie durch Elektromotoren ~ 12 Prozent
- in kinetische und potenzielle Energie durch Pumpen- und Druckluftsysteme ~ 28 Prozent
- in thermische Energie durch Wärmepumpen ~ 18 Prozent.

Die Auswertung der im Rahmen der Studie durchgeführten Akteneinsicht bei der dema zur „Beratung von kleinen und mittleren Unternehmen zur rentablen Verbesserung der Materialeffizienz (VerMat)“ ergab, dass durch Analyse- und Optimierungsmethoden in einem Zeitfenster von einem Jahr in den Metall verarbeitenden Unternehmen Materialeinsparungen von fünf bis 21 Prozent erzielt wurden. Dabei wurden nur Akten berücksichtigt, die auf die drei betrachteten Branchen fokussieren. Die beiden vorstehenden Methoden gliedern sich in die folgenden Bestandteile auf:

- Analysemethoden: Wertstrom-, Materialfluss-, Stoffstrom-, Technologie-, Kennzahlenanalyse, Prozesskettendarstellung, Interviews, etc.
- Optimierungsmethoden: Six Sigma, 5S, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA), Bauteil-Wertanalyse, Finite-Elemente-Methode (FEM) Simulation, Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP), Quality Function Deployment (QFD), Austausch mit Best-Practice-Unternehmen, etc.

II. Handlungsempfehlung: Es wird eine Förderung der Standardisierung im Bereich Pumpen-, Druckluftsysteme, Prozesswärme und Elektromotoren in der Industrie als zielführend erachtet. Vor allem um eine Vergleichbarkeit der zum Einsatz kommenden Hilfs- und Betriebsstoffe in den unterschiedlichen Branchen erhalten zu können, wird empfohlen, standardisierte Messungen beispielsweise für die unterschiedlichen Energieträger wie Wasserdampf, elektrische Energie, Druckluft, Methan, etc. zu erarbeiten.

Des Weiteren wird eine Zertifizierung der Rohstoff- und Energieeffizienz befürwortet, die zu einer bewussten Auseinandersetzung mit dem Thema motiviert. Dabei sollten insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen neue Maßnahmen, Technologien und der aktuelle Stand der Forschung kommuniziert werden.

5.3. Ganzheitliche Ressourcenmanagementsysteme

In der Management- und Unternehmenspraxis werden zahlreiche Systeme für einen effizienten Umgang mit Ressourcen angewendet. Im Bereich des Energiemanagements werden durch die ISO 50001 der systematische Aufbau und die Implementierung eines Energiemanagementsystems thematisiert. Die ISO 14001 und die EMAS-Verordnung beschreiben Aufbau und Umsetzung eines Umweltmanagementsystems mit dem primären Ziel, die durch die Industrie induzierten Emissionen zu verringern. Festzustellen ist, dass ein integriertes

Ressourcenmanagementsystem zur Bewertung der Effizienzmaßnahmen nicht umfänglich beschrieben und umgesetzt ist.

III. Handlungsempfehlung: Entwicklung integrativer Ansätze und die Implementierung eines informationstechnischen Werkzeuges, das die dynamischen Wechselwirkungen zwischen den globalen Energie- und Rohstoffmärkten und der Metall verarbeitenden Industrie berücksichtigt, um die Effizienzmaßnahmen unter Nachhaltigkeitskriterien aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Perspektive bewerten zu können.

Hierbei sollte auf bestehende und im einzelnen Unternehmen bereits etablierte Managementsysteme (Energie-, Umwelt- und gegebenenfalls Qualitätsmanagementsysteme) aufgesetzt werden.

Voraussetzungen sind:

I. Handlungsempfehlung: Schaffung einer detaillierten und zuverlässigen Datenbasis für ein integriertes Ressourcenmanagementsystem.

II. Handlungsempfehlung: Wettbewerbssteigerung durch die Vermittlung von Maßnahmen und Standards zur Rohstoff- und Energieeffizienz.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (2012):** Leittechnologien für den Mittelstand „EcoForge“ Sensorik in der Schmiede, Projektsteckbrief, Hrsg. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- ALUNORF GmbH (2011):** Innovative energieeffiziente Glühöfen bei Alunorf, Faktenblatt.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2012):** ENERWELD Abschlussbericht Effiziente Thermische Fügeverfahren, Hrsg. Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012):** “Exportorientierte Industrie” unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Industrie/industrienation-deutschland,did=337108.html> (abgerufen am 26.06.2012).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012a):** Preisträger des Deutschen Rohstoffeffizienz-Preises 2012, Broschüre der Preisverleihung am 29.11.2012, unter: http://www.deutscherohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DREP_2012_Preistraeger.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 19.02.2013).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012b):** Zahlen und Fakten - Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung, Tabelle 7.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008):** Pressemitteilung vom 08.05.2008 „Stahldraht künftig energieeffizienter und chemikalienfrei hergestellt“, unter: www.bmu.de/N41384/ (abgerufen am 19.02.2013).
- Büscher, B. (2012):** Errichtung einer innovativen, ressourceneffizienten Zink/Nickel-Trommel-Galvanik-Anlage, Projektabschlussbericht, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2007):** Steigerung der Energieeffizienz durch konsequente Optimierung des Druckluftsystems - 2. Preis Energy Efficiency Award 2007. In: Preisträgerbroschüre.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2010):** Ratgeber: Pumpen und Pumpensysteme für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz (dena).
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2011):** Energetische Modernisierung industrieller Wärmeversorgungssysteme, Initiative EnergieEffizienz (dena).
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2012):** Druckluftsysteme in Industrie und Gewerbe. Ein Ratgeber zur systematischen energetischen Modernisierung, Initiative EnergieEffizienz (dena).
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2012a):** Energieeffizienz-Anforderungen an Elektromotoren, Initiative EnergieEffizienz (dena), unter: <http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/effiziente-technologien/motoren-und-antriebssysteme.html> (abgerufen am 09.12.2012).
- Dilba, D. (2012):** Harte Schale auf weichem Kern. In: New Scientist am 22.10.2012, Hrsg. New Scientist Deutschland GmbH, unter: <http://www.new-scientist.de/inhalt/materialwissenschaft-keramik-zum-aufspruehen-a-862633.html> (abgerufen am 19.02.2013).

- DIN IEC Norm der Leittechnik (2009):** DIN IEC 60050-351, Internationales Elektronisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik (IEC 60050-351:2006).
- Effizienz-Agentur NRW (2006):** Dirostahl Karl Diederichs KG Stahl-, Walz- und Hammerwerk in Remscheid: Optimierung der Betriebsabläufe senkt Kosten, PIUS-Check, Projektzusammenfassung.
- Emec, S., Chiotellis, S., Grismayjer, M. (2011):** D10.1 – DISSEMINATION ROADMAP, European Commission, Community Research and Development Information Service (CORDIS), Seventh Framework Programme (FP7), KAP.
- Emec, S., Chiotellis, S., Grismayjer, M. (2011a):** D1.1 – REPORT OF EXISTING RESEARCH AND BEST
- PRACTICE IN ENERGY AWARENESS, European Commission, Community Research and Development Information Service (CORDIS), Seventh Framework Programme (FP7), Knowledge-Awareness-Prediction KAP.**
- Eurostat (2012):** unter: http://epp.Eurostat.ec.europa.eu/portal/page/european_business/data/database (abgerufen am 06.12.2012).
- Fraunhofer Gesellschaft (2012):** Besser schmieren ohne Öl in FORSCHUNG KOMPAKT – SONDERAUSGABE 05/2012, S. 12 f., unter: <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/mai/besser-schmieren-ohne-oel.html> (abgerufen am 19.02.2013).
- Friedrich, D. (2004):** Statistik I, Hrsg. Institut für Wirtschaftsinformatik und Quantitative Methoden, Berlin.
- Garber, T. (2012):** Mastermind – Effiziente Steuerung von Werkzeugmaschinen, Effizienzfabrik, NCplus, Projektzusammenfassung, Hrsg. Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Gänz, K., Beyer, I., Küster, H., Gutsche, U. (2006):** Einführung eines Verfahrens zur umweltfreundlichen Beschichtung von Aluminiumbändern, Abschlussbericht, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltinnovationsprogramm im Programm zur Förderung von
- Demonstrationsvorhaben, unter:** http://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/Abschlussberichte/Abschlussbericht_ALANOD.pdf (abgerufen am 19.02.2013).
- Grote, F. (2007):** Bau einer neuartigen Schmiedepresse, Abschlussbericht, Februar 2007, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltinnovationsprogramm.
- Hensler, G., Hochhuber, J., Linckh, V. (2009):** Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe, Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Hommel, B. (2009):** Funktionsschichten durch Reibauftragglöten, ZIM Koop 013, Hrsg. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM).
- Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V. (2011):** Schmiede-Journal, Ausgabe September 2011.
- Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V. (2012):** Schmiede-Journal, Ausgabe März 2012.
- Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V. (2012a):** Schmiede-Journal, Ausgabe September 2012.

- Jank, R. (2010):** Fallstudie Energieeffiziente Stadt Ludwigsburg
Energieeffiziente, Hrsg. Stadt Ludwigsburg und zaft.net, S. 25 ff.
- Jost, M. C., Kunsleben, A. (2009):** Innovatives, energiesparendes
Reinigungsverfahren mit integrierter Vakuumtrocknung in einer Härtereier,
Projektzusammenfassung, Hrsg. Effizienz-Agentur NRW.
- KAP Research Project (2012):** Main Idea and Objectives of KAP Research
Project funded by the Seventh Framework Programme of European
Commission - Research, unter: <http://www.kap-project.eu/index.php?id=340> (abgerufen am 09.01.2013).
- Kellens, M., Dewulf, W., Overcash, M. (2012):** Methodology for systematic
analysis and improvement of manufacturing unit process life cycle
inventory (UPLCI) CO₂PE! initiative (cooperative effort on process
emissions in manufacturing). Part 2: case studies", CO₂PE!; 2012 , Hrsg.
Springer-Verlag.
- Krieger, W. (2013):** Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort:
Beschaffungslogistik, Hrsg. Gabler Verlag, unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82287/beschaffungslogistik-v4.html>, (abgerufen am 10.01.2013).
- Marx, G. (2012):** Energieeinsparpotentiale im Handwerk durch rationelle
Energienutzung, Hrsg.
- Energieagentur NRW, unter:** [http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de/präsentation/Präsentation Marx \(Energieeinsparpotentiale\).pdf](http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de/präsentation/Präsentation%20Marx%20(Energieeinsparpotentiale).pdf),
(abgerufen am 13.02.2012).
- Neugebauer, R. (2008):** Abschlussbericht: Untersuchung zur Energieeffizienz
in der Produktion, Bundesministerium für Bildung und Forschung,
Forschung für die Produktion von morgen, Hrsg. Fraunhofer Gesellschaft.
- Paterok, L. (2012): unter:** <http://www.technisches-fe-zentrum.de> (abgerufen am 10.12.2012).
- Pintzos, G., Emec, S., Vikhorev, K. (2011):** D 3.1 - Report of PPI Analysis
for Considered Domains and Optimisation Targets, European Commission,
Community Research and Development Information Service (CORDIS),
Seventh Framework Programme (FP7), Knowledge-Awareness-Prediction
(KAP), 2011.
- Porter, M. E. (1980):** Competitive Strategy: Techniques for Analyzing
Industries and Competitors. New York: Free Press, 1980 S. 17 ff.
- Ronde, U. (2012):** Die perfekte Welle - Effiziente Motorspindeln für
Werkzeugmaschinen, Initiative Effizienzfabrik, Energie MSP,
Projektzusammenfassung, Hrsg. Bundesministerium für Bildung und
Forschung.
- Schröter, M. (2011):** Bewertung der wirtschaftlichen Potenziale von
ressourceneffizienten Anlagen & Maschinen, Hrsg. Fraunhofer-Institut für
System- und Innovationsforschung, März 2011.
- Schröter, M., Lerch, M., Jäger, A. (2011):** Materialeffizienz in der
Produktion: Einsparpotenziale und Verbreitung von Konzepten zur
Materialeinsparung im Verarbeitenden Gewerbe, Endberichterstattung an
das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Hrsg. Fraunhofer
Gesellschaft ISI.
- Stark, R. (2012):** Technologien der virtuellen Produktentstehung I -
Produktentstehungsprozess und Methodisches Entwickeln, (IWF), Berlin.

- Statistisches Bundesamt (2007):** Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011):** Umweltnutzung und Wirtschaft, Bericht inkl. Tabellenband zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen; Teil 1: Gesamtwirtschaftliche Übersichtstabellen, Wirtschaftliche Bezugswerte, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011a):** Umweltnutzung und Wirtschaft, Bericht inkl. Tabellenband zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen; Teil 2: Energie und Rohstoffe, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2012a):** Ergebnisse einer Datenabfrage.
- Statistisches Bundesamt (2012b):** Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2010, Fachserie 4 Reihe 4.3, Wiesbaden, S. 176 - 234.
- Statistisches Bundesamt (2013):** Glossar: Bruttoproduktionswert. Unter: <https://www.destatis.de/DE/Service/Glossar/B/Bruttoproduktionswert.html>, (abgerufen am 24.01.2013).
- Statistisches Bundesamt (2013a):** Glossar: Bruttowertschöpfung. Unter: <https://www.destatis.de/DE/Service/Glossar/B/Bruttowertschoepfung.html>, (abgerufen am 24.01.2013).
- Statistisches Bundesamt (2013b):** Wirtschaftliche Bedeutung der kleinen und mittleren Unternehmen, unter: www.destatis.de, (abgerufen am 10.01.2013).
- Statistisches Bundesamt (2013c):** Preise, Daten zur Energiepreisentwicklung, unter: www.destatis.de, (abgerufen am 27.04.2013).
- Streibel, M. (2010):** Vordenker, Vorreiter, Vorbilder. Hervorragende Beispiele zur Steigerung der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, 3. Auflage 2010, Hrsg. Deutsche Energie-Agentur GmbH, Initiative EnergieEffizienz (dena).
- Thekdi A. C. (2010):** Energy Efficiency Improvement - Opportunities in Process Heating for the Forging Industry, Forging Industry Energy Workshop, USA Ohio 2010, unter: https://www.forging.org/system/files/field_document/Arvind_Thekdi.pdf, (abgerufen am 15.12.2012).
- Tönshoff, H.K. (2010):** Massivumformteile wirtschaftlich spanen, Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe, Hrsg. Industrieverband Massivumformung e.V., Hagen.
- Unger, K., Rieger, H., Müller, M. (1998):** Umweltmanagementsysteme zwischen Anspruch und Wirklichkeit: Eine interdisziplinäre Auseinandersetzung mit der EG-Öko-Audit-Verordnung und der DIN EN ISO 14001, Hrsg. Doktoranden-Netzwerk Öko-Audit e.V., Springer Verlag, 1998.
- Vikhorev, K., Emec, S., Grismajer, M., Greenough, R. (2012):** D1.3 - Specification of energy monitoring infrastructure“, European Commission, Community Research and Development Information Service (CORDIS), Seventh Framework Programme (FP7), KAP, 2011.
- Widdermann, S., Schwab, C. (2012):** In Deutschland Fortschritt produzieren, Erhöhung der Energieeffizienz in der Massivumformung, Verbundprojekt ENERMAS im Rahmen der Effizienzfabrik - einer Initiative vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, S. 24 f.

7. ANHANG

1. Bewertungsergebnisse Scoring-Modell

2. Methodenmatrix

3. Technologiematrix

Die Anhänge stehen Ihnen online unter

www.ressource-deutschland.de/metallstudie

zum Download zur Verfügung.

8. GLOSSAR

Branche

Branchen in der zweiten Gliederungsebene (Abteilungsebene) der Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes vom Jahr 2008.⁵⁶

Branchen-/Rohstoffgruppen-Matrix

Strukturierte Zuordnung von Sekundärdaten/Zahlenwerten zu ausgewählten Rohstoffen und Berechnung definierter Kennzahlen je Subbranche.

Bruttoproduktionswert⁵⁷

Umsatz (ohne Umsatzsteuer) plus beziehungsweise minus Bestandsveränderung an unfertigen und fertigen Erzeugnissen aus eigener Produktion zuzüglich selbst erstellter Anlagen.

Bruttowertschöpfung (VGR)⁵⁸

Die Bruttowertschöpfung wird in der Regel durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten für die einzelnen Wirtschaftsbereiche ermittelt: Sie umfasst also nur den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert. Die Bruttowertschöpfung ist zu Herstellungspreisen (basic prices) bewertet, das heißt ohne die auf die Güter zu zahlenden Steuern (Gütersteuern), aber einschließlich der empfangenen Gütersubventionen. Beim Übergang von der Bruttowertschöpfung (zu Herstellungspreisen) zum Bruttoinlandsprodukt (zu Marktpreisen) sind zum Ausgleich der Bewertungsdifferenzen zwischen Entstehungs- und Verwendungsseite die Nettogütersteuern (also der Saldo zwischen Gütersteuern und Gütersubventionen) global wieder hinzuzufügen.

Gewichtete Intensitätskennzahl

Bei der gewichteten Intensitätskennzahl wird die Intensitätskennzahl einer Ressource (siehe Glossar Ressourcenintensität) mit dem prozentualen Anteil am monetär bewerteten Gesamtverbrauch aller betrachteten Branchen bewertet.

Gewichtete Intensitätskennzahl = Intensitätskennzahl x Branchenanteil am Verbrauch
(je Ressource) (je Ressource) (der betrachteten Branchen)

Kleine und mittlere Unternehmen⁵⁹

Zu den kleinen und mittleren Unternehmen werden in den Auswertungen des Statistischen Bundesamtes Unternehmen zugeordnet, die weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen und deren Jahresumsatz höchstens 50 Millionen Euro beträgt.

⁵⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2007), S. 2.

⁵⁷ Vgl. Statistisches Bundesamt (2013).

⁵⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2013a).

⁵⁹ Vgl. Statistisches Bundesamt (2013b).

Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe⁶⁰

Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe bilden eine Gruppe der Vorräte eines Unternehmens, die als Bilanzposten gesondert auszuweisen ist. Rohstoffe gehen als Hauptbestandteil direkt in ein Fertigprodukt ein, Hilfsstoffe unmittelbar in ein Fertigprodukt, gehören jedoch nicht zu den Hauptbestandteilen. Zu den Betriebsstoffen gehören alle unmittelbar oder mittelbar bei der Produktion verbrauchten Güter, die keinen Bestandteil des fertigen Erzeugnisses darstellen.

Ressourcenintensität

Auf der Ebene der Produktions- und Wirtschaftsbereiche wird zur Berechnung der Effizienz der Faktornutzung die Bruttowertschöpfung (BWS) herangezogen. Steht die wirtschaftliche Leistung bei dem Bruch im Nenner, handelt es sich um eine "Intensität". Intensitäten werden in den UGR (siehe Glossar) berechnet, um den "Umweltverbrauch" verschiedener Branchen miteinander vergleichbar zu machen.⁶¹

$$\text{Intensitätskennzahl (je Ressource)} = \frac{\text{Verbrauch der Ressource}}{\text{Bruttowertschöpfung der Branche}}$$

Scoring-Modell

Ein Punktebewertungsmodell, das als Instrument zur mehrdimensionalen Bewertung von Handlungsalternativen (hier Branchen) eingesetzt werden kann. Das Modell eignet sich insbesondere, wenn die Faktoren, die die Entscheidung beeinflussen, nicht in monetären Größen abbildbar sind. Es ermöglicht bei der Entscheidung zwischen den Handlungsalternativen die Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Faktoren (siehe Glossar).

Scoring-Modell - quantitative Faktoren

Quantitative Faktoren lassen sich über konkrete Zahlen bewerten. Im vorliegenden Scoring-Modell wurden für die Bewertung Zeitreihen analysiert. Beispiel für einen quantitativen Faktor ist das Branchenwachstum in Deutschland.

Scoring-Modell - qualitative Faktoren

Qualitative Faktoren lassen sich im Gegensatz zu den quantitativen Faktoren nicht über Zeitreihenanalysen oder Datenmengen abbilden. Die Bewertung qualitativer Faktoren erfolgt über Literaturanalysen und Expertenbefragungen und ist immer einer hohen Subjektivität ausgesetzt.

Umweltökonomische Gesamtrechnungen

Die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) werden durch das Statistische Bundesamt und die Statistischen Ämter der Länder veröffentlicht, um die Wechselwirkung zwischen Wirtschaft und Natur aufzuzeigen. Mit Hilfe der UGR wird einerseits untersucht, welche Auswirkungen die wirtschaftlichen

⁶⁰ Vgl. Krieger, W. (2013).

⁶¹ Vgl. Statistisches Bundesamt (2011).

Aktivitäten auf die Umwelt zeigen, und andererseits, welche Rolle die Umwelt für die Ökonomie spielt.

Wirtschaftszweige

Wirtschaftszweige in der ersten Gliederungsebene (Abschnittsebene) der Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes vom Jahr 2008.⁶² Im Untersuchungsrahmen enthalten sind die Abteilungen 25 bis 30 aus Abschnitt C "Verarbeitendes Gewerbe".

⁶² Vgl. Statistisches Bundesamt (2011).

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
Tel. +49 (0) 30-27 59 506-0
Fax +49 (0) 30-27 59 506-30
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE