

Ressourceneffizienz in der produzierenden Industrie: Bewertung, Benchmarking, Praxisbeispiele

Liselotte Schebek

1.	Methodische Grundlagen für Bewertung und Benchmarking	54
2.	Praxisbeispiel: Betriebliches Benchmarking von Ressourceneffizienz am Beispiel der spanenden Metallbearbeitung	56
2.1.	Relevanz von Zerspanungsprozessen	56
2.2.	Das Modellprojekt TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion – Pilotprojekt Zerspanungsprozesse	57
2.2.1.	Ansatz des Projekts	57
2.2.2.	Bewertung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen	58
2.2.3.	Leitfaden und Schulungskonzept	59
3.	Praxisbeispiel: Indikatorsystem für das Umweltmanagement	60
3.1.	Ressourceneffizienz als Teil des Umweltmanagements	60
3.2.	Methode der ökologischen Knappheit und die SEBU-Methode der Volkswagen AG	61
3.3.	Ökofaktoren für Deutschland	62
4.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	63
5.	Quellen	63

Ressourceneffizienz ist ein heute viel gebrauchter Begriff, bringt er doch offensichtlich das unternehmerische Prinzip eines effizienten Wirtschaftens zusammen mit dem Grundprinzip einer dauerhaft nachhaltigen Entwicklung, die das *Naturkapital* – die natürlichen Ressourcen der Gesellschaft – erhält. Entsprechend ist die Ressourceneffizienz zu einem wesentlichen Thema der deutschen Nachhaltigkeitspolitik geworden, mit der deutschen Ressourcenpolitik und dem Ressourceneffizienzprogramm Progress I und Progress II [4] als wesentliche Elemente. Die Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion stellt hier ein wichtiges Handlungsfeld dar.

Ein näherer Blick auf die Interpretation des Begriffs Ressourcen zeigt allerdings, dass die Dinge nicht ganz so einfach liegen: aus der betrieblichen Sicht umfassen Ressourcen alle ökonomisch notwendigen Faktoren für die Produktion, also insbesondere Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal, Know-how und Zeit. Demgegenüber definiert die deutsche und europäische Politik den Begriff Ressource im Sinne von *natürliche Ressourcen* nach [20] wie folgt: *Ressource, die Bestandteil der Natur ist.*

Hierzu zählen *erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.*¹

Die Schnittmenge zwischen beiden Definitionen sind offensichtlich die materiellen Ressourcen, die bei der Produktion benötigt werden: Rohstoffe – in direkter Form oder verarbeitet als Materialien – und Energie bzw. die für deren Erzeugung notwendigen Primärenergieträger. In diesem Sinne wird der Begriff *Ressourcen* gelegentlich auch vereinfachend synonym mit dem Begriff Rohstoffe gesetzt (vgl. [20]). Im Hinblick auf die Motivationen der jeweiligen Akteure dürfen jedoch weder aus der einen noch aus der anderen Sicht die sonstigen Ressourcen vernachlässigt werden: Selbstverständlich sind auf der betrieblichen Seite die ökonomischen Faktoren und die sonstigen Produktionsfaktoren maßgeblich für das unternehmerische Handeln. Genauso spielt auf der Seite der Nachhaltigkeit die Tragfähigkeit der Natur eine zentrale Rolle: die sogenannte *Senkenfunktion*, also die Fähigkeit natürlicher Systeme, Emissionen bzw. Einwirkungen aus der menschlichen Gesellschaft ohne Verlust von Ökosystemfunktionen aufzunehmen. Sie ist häufig der begrenzende Faktor menschlicher Aktivität. So zeigt sich am Beispiel des Energiesystems, dass nicht die geologische Knappheit der fossilen Energieträger das eigentliche Problem ist, sondern vielmehr die Emission von Treibhausgasen mit der Folge des globalen Klimawandels.

Vor diesem Hintergrund lässt sich über den Kernbereich der Ressourcenschonung hinaus ein breites Spektrum von Nachhaltigkeitsindikatoren der deutschen Politik den *natürlichen Ressourcen* zuordnen. Im Hinblick auf das gesellschaftliche Ziel der Steigerung von Ressourceneffizienz stellen sich vor diesem Hintergrund einige Fragen: Wenn der Begriff Ressourcen unterschiedliche Arten von Ressourcen umfasst, gibt es dann Zielkonflikte – nicht nur zwischen *Ökologie* und *Ökonomie*, sondern beispielsweise auch zwischen rohstofflichen und energetischen Ressourcen? Wenn die Begrifflichkeiten von Ressourcen auf der betrieblichen und der umweltpolitischen Ebene verschieden sind, wie kann dann eine durchgängige Zielorientierung von betrieblichen Maßnahmen auf gesellschaftliche Ziele erfolgen? Und schließlich: Wie kann man den Erfolg einer Steigerung der Ressourceneffizienz feststellen, ist Ressourceneffizienz *messbar*?

1. Methodische Grundlagen für Bewertung und Benchmarking

Es ist offensichtlich, dass sich die vorgenannten Fragen nur auf der Grundlage eines klar definierten methodischen Ansatzes in transparenter und argumentativ begründeter Form beantworten lassen. Heute liegt mit der VDI 4800 Blatt 1 *Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien* [21] eine Richtlinie vor,

¹ Definition in Anlehnung an KOM (2005) 670: Thematische Strategie zur Nutzung natürlicher Ressourcen

die den Rahmen für ein methodisches Vorgehen zur Ermittlung von Ressourceneffizienz beschreibt und die durch weitere Teile zu spezifischen Aspekten (z.B. Versorgungsrisiken von Rohstoffen) ergänzt werden soll².

Die methodischen Grundlagen der Ressourceneffizienz stehen in einer Entwicklungslinie ausgehend vom Konzept der Ökoeffizienz, wie es in den 1990er Jahren vor allem durch den World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) geprägt wurde. In diesem Kontext wird Ökoeffizienz in der knappsten Form beschrieben als das Verhältnis von *Wertschöpfung zu Schadschöpfung* [19]. Für eine Operationalisierung stellt sich damit die Notwendigkeit, sowohl die *Wertschöpfung* als auch die *Schadschöpfung* durch Indikatoren zu konkretisieren und – im Sinne eines Benchmarkings der Nachhaltigkeit – letztlich zu quantifizieren. Hinsichtlich der *Schadschöpfung* war der Verbrauch von Energie und Rohstoffen von Anfang an ein wesentlicher Aspekt, der in Deutschland zur Gründung von (Energie-)Effizienzagenturen oder auch dem *Impulsprogramm Materialeffizienz* führte [18]. Im aktuellen Ressourceneffizienzprogramm *Progress II* wird der Fokus ebenfalls auf eine gemeinsame Betrachtung von Material- und Energieströmen gelegt. Hier wird aber bereits auf die Beachtung von Schnittstellen zu den weiteren natürlichen Ressourcen hingewiesen, deren zukünftige Einbeziehung in eine Fortschreibung des Programms in Aussicht gestellt wird. Die VDI 4800 bezieht sich demgegenüber auf die Interpretation des Begriffs der Ressourcen als *natürliche Ressourcen* im Sinne von [20]. Der Begriff der Ressourceneffizienz selbst wird definiert als *Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz, wobei ein Nutzen durch eine Funktion (z.B. eines Produktes, einer Dienstleistung) erfüllt wird*. Die VDI 4800 basiert darüber hinaus noch auf einem weiteren Prinzip, nämlich der Berücksichtigung von Effekten außerhalb eines Unternehmens, d.h. der indirekten Effekte im gesamten Lebensweg eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, der Herstellung, der Distribution über die Nutzung bis zur Verwertung und Beseitigung. Für solche Untersuchungen des Lebenswegs, der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA), verweist die VDI 4800 auf die Ökobilanz-Norm DIN EN ISO 14040 [7], mit der ein hierfür geeignetes methodisches Werkzeug zur Verfügung steht.

Sowohl die Berücksichtigung der vollständigen Breite der natürlichen Ressourcen als auch die Anwendung des Lebenszyklusansatzes folgen dem Bestreben der Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik, Problemverschiebungen sowohl über Umweltkompartimente als auch innerhalb der Wertschöpfungskette von Produkten zu vermeiden. Beide Ansätze sind daher in den letzten Jahrzehnten zu konstituierenden Elementen von Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik geworden. Dies spiegelt sich auch in den betrieblichen Umweltmanagementsystemen (UMS) nach ISO 14001 und EMAS: UMS orientieren sich an der Verbesserung der externen Umweltwirkungen als Erfolgskriterium. Hier besteht ganz offensichtlich eine begriffliche Nähe zu den natürlichen Ressourcen im Sinne von Rohstoffverbrauch und Tragfähigkeit der Umwelt, so dass UMS als ein geeigneter Rahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz betrachtet werden. [13]

² Zum Stand 12/2016 liegt als Gründruck vor: VDI 4800 Blatt 2 *Ressourceneffizienz: Bewertung des Rohstoffaufwands*.

Darüber hinaus umfasst die Normenfamilie 14000 auch die Normen zur Ökobilanzierung, womit diese konzeptionell als Instrument der organisationsorientierten Normen für UMS, Umweltauditing und -leistungsbewertung interpretiert werden.

Trotz des Vorliegens der genannten Rahmenwerke stellen sich auf der betrieblichen Ebene aber grundsätzliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Beurteilung der Ressourceneffizienz. Die große Breite des Begriffs der natürlichen Ressourcen in Verbindung mit dem Lebenszyklusansatz führen zur Notwendigkeit einer sehr umfassenden Betrachtung, die wegen ihrer Komplexität und ihres Aufwandes in den meisten Fällen weit über das hinaus geht, was ein Unternehmen im Alltagsbetrieb der Produktion selbst leisten könnte. Dazu kommt die Frage, an Hand welcher Informationen oder Maßstäbe die Relevanz unterschiedlicher Ressourcen aus der gesellschaftlichen Sicht zu beurteilen ist, um ggf. Zielkonflikte zu lösen. Für die Identifizierung von Potentialen der Ressourceneffizienz benötigen Unternehmen daher weitergehende Unterstützung und spezifische Instrumente, mit denen sie ihre Prozesse und Standorte analysieren und die Eignung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz erfassen können. Im Folgenden werden Beispiele aus der eigenen Forschung dargestellt, wie auf Basis einer in Projekten ausgearbeiteten methodischen Vorgehensweise solche Instrumente aussehen können.

2. Praxisbeispiel: Betriebliches Benchmarking von Ressourceneffizienz am Beispiel der spanenden Metallbearbeitung

2.1. Relevanz von Zerspanungsprozessen

Die spanende Bearbeitung (Bohren, Fräsen, Drehen) gehört zu den zentralen Prozessen der Metallbearbeitung, die in der Fertigung sowohl in Großunternehmen als auch in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) eingesetzt werden. Zerspanungsprozesse sind sowohl in Bezug auf den Verbrauch an Energie als auch wegen des Bedarfs an Kühlschmierstoffen (KSS) von Bedeutung; letztere verbrauchen (fossile) Rohstoffe und stellen in Form des Anfalls verbrauchter Kühlschmierstoffemulsionen ein Abfallproblem dar. KSS sind aber auch unter Kostenaspekten für Betriebe relevant: So wird der Anteil der klassischen Emulsionsüberflutungskühlung an den Fertigungskosten auf 15 % (vgl. [1]) bis zu 30 % [16] geschätzt.

Die Zerspanung steht daher schon seit langem im Fokus öffentlicher Beratungsangebote, z.B. von Effizienzagenturen, und ist Gegenstand von Studien und Forschungsprojekten. Zur Verringerung des Verbrauchs an KSS bieten sich eine Reihe von betrieblichen Maßnahmen an, um die Standzeit der KSS-Emulsionen zu erhöhen. Insbesondere steht mit der sogenannten Minimalmengenschmierung (MMS)³ eine alternative Technologie

³ MMS wird manchmal auch als Trockenbearbeitung eingeordnet. Im Unterschied zur Trockenbearbeitung im engeren Sinn werden bei der MMS aber kleine Mengen von Schmierölen verwendet, die bei der Bearbeitung verdampfen.

zur Verfügung, bei der der Einsatz von KSS-Emulsion vollständig entfällt. Obwohl die Minimalmengenschmierung schon seit längerem in der Praxis eingesetzt wird und als Stand der Technik bezeichnet werden kann, werden weiterhin jährlich über 80.000 Tonnen KSS in Deutschland verbraucht [15]. Hintergrund ist, dass in vielen Unternehmen eine große Unsicherheit über die im eigenen Betrieb vorhandenen Potentiale der Ressourceneffizienz und über Möglichkeiten und Risiken der betrieblichen Implementierung neuer Technologien besteht. Dies gilt vor allem für KMU, in denen häufig die Zeit und Expertise für eine vertiefte Auseinandersetzung mit Fragestellungen der Ressourceneffizienz fehlen.

2.2. Das Modellprojekt TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion – Pilotprojekt Zerspanungsprozesse

2.2.1. Ansatz des Projekts

Speziell zur Unterstützung von KMU wurde aus Mitteln des Landes Hessen und kofinanziert von der Europäischen Union das Modellprojekt *TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion – Pilotprojekt Zerspanungsprozesse (LernRess)* durchgeführt. Partner der TU Darmstadt waren das Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (SuR) für die Expertise der methodischen Erfassung von Ressourceneffizienz und das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) für die Expertise zur Technologie der Zerspanung. Das Projekt nutzte die Infrastruktur der sogenannten Prozesslernfabrik (Center für industrielle Produktivität/CiP) des Instituts PTW an der TU Darmstadt. Diese stellt ein reales Produktionsumfeld in Form von zwei Zerspanungslinien mit kommerziellen Werkzeugmaschinen bereit, die für Forschung und Lehre unter den praxisnahen Bedingungen der Herstellung realer Produkte bereitstehen. Am Projekt LernRess wirkten darüber hinaus Unternehmen aus dem Bereich der Zerspanung mit; außerdem wurde das Projekt durch einen Beirat begleitet, der mit Vertretern aus Unternehmensverbänden, Gewerkschaften, Berufsgenossenschaften, Wissenschaft und dem Umweltbundesamt besetzt war.

Zielsetzung des Modellprojekts war die Erarbeitung spezifischer Hilfen für KMU mit spanenden Fertigungsverfahren, um Potentiale der Ressourceneffizienz im eigenen Betrieb zu identifizieren und Verbesserungsmaßnahmen umzusetzen. Dazu wurden praxisnahe betriebliche Kenngrößen für Zerspanungsprozesse aus einem methodischen Konzept zur umfassenden Bewertung von Ressourceneffizienz abgeleitet. Zu diesen Kenngrößen wurden Werte für den Stand der Technik durch Messungen und Informationsgrundlagen aus der Prozesslernfabrik bereitgestellt. Diese Werte können KMU nutzen, um auf einfache und schnelle Weise ein Benchmarking des betrieblichen Ist-Zustands vorzunehmen und mögliche Verbesserungspotentiale einzuschätzen.

Der im Modellprojekt entwickelte Ansatz zur Untersuchung der Ressourceneffizienz umfasst sowohl die betriebliche Sicht als auch die Sicht der *natürlichen Ressourcen*. Für die betriebliche Sicht sind Kenngrößen für die Ressourceneffizienz in quantitativer Form als Verbrauchsdaten von Energie und Materialien sowie als monetäre Aufwendungen

beschrieben; in qualitativer Form, d.h. in Form einer einfachen ABC-Bewertung, werden Kenngrößen für sonstige *betriebliche Ressourcen* beschrieben, u.a. für den Aspekt der Arbeitssicherheit. Für die Abbildung der Sicht der *natürlichen Ressourcen* wurde das im nächsten Abschnitt ausführlich beschriebene Konzept entwickelt, mit dem ein Zusammenhang zu gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsindikatoren dargestellt werden kann.

2.2.2. Bewertung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen

Die Herausforderung der betrieblichen Bewertung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen besteht darin, mit einfachen, unter den Bedingungen der Praxis erfassbaren Kenngrößen die ganze Breite natürlicher Ressourcen zu erfassen und im Hinblick auf die gesellschaftlichen Zielstellungen einen Zusammenhang mit gesellschaftlichen Indikatoren der Nachhaltigkeit darzustellen. Dazu wurde im Modellprojekt ein Vorgehen auf der Grundlage der VDI 4800 entwickelt. Als Instrument zur vertieften Untersuchung von Zerspanungsprozessen wurde entsprechend die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) gemäß DIN EN ISO 14040 [7] verwendet. Untersucht wurden die gängigsten in der Praxis anzutreffenden Bearbeitungsprozesse, die durch eine Kombination der Fertigungsverfahren, Werkzeuge und Werkstoffe sowie Kühl- und Schmierstrategien in Form von 16 Referenzprozessen abgebildet wurden. Für diese Kombinationen wurde die funktionelle Einheit nach ISO 14040 als die technische Funktion eines Zerspanungsprozesses (Bohren bzw. Fräsen) quantifiziert. Damit kann gleichzeitig der *Nutzen* im Sinne der Definition der Ressourceneffizienz nach VDI 4800 dargestellt werden, auf den der Ressourcenverbrauch zur Ermittlung der Ressourceneffizienz bezogen werden kann.

Der untersuchte Systemrahmen bildet die Zerspanungsprozesse inklusive der vor- und nachgelagerten Prozesse (z.B. Herstellung und Entsorgung der KSS) ab. Das Werkstück selbst ist nicht einbezogen, d.h. ein Fertigungsschritt und nicht die Konzeption oder das Design eines Produktes wird untersucht.

Der Bezug zu den natürlichen Ressourcen erfolgt durch die für die Wirkungsabschätzung ausgewählten Wirkungskategorien, die sowohl den Verbrauch von Rohstoffen als auch die Tragfähigkeit der Umwelt als Bezug zu unterschiedlichen Kategorien der Umweltwirkung darstellen. Dazu wurden insgesamt 14 Wirkungskategorien⁴ ausgewählt, u.a. Klimawandel sowie Wirkungskategorien für Emissionen in Luft und Wasser. Als Ergebnis der Ökobilanz konnte gezeigt werden, dass für alle untersuchten Wirkungskategorien der überwiegende Anteil der Umweltwirkung aus den prozessbezogenen Kenngrößen Strom, Druckluft und KSS-Schmierstoffe resultiert. Diese Parameter wurden daher als die wesentlichen betrieblichen Kenngrößen identifiziert, die auf der betrieblichen Ebene zur Erfassung der Ressourceneffizienz gemessen werden müssen.

Die genannten Kenngrößen Strom, Druckluft sowie Schmierstoffe (KSS-Emulsionen beziehungsweise MMS-Öle) können zwei Kategorien von Ressourcen zugeordnet werden:

⁴ In der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/14044 werden wichtige Umweltthemen, wie zum Beispiel Klimawandel, Flächenverbrauch, Verbrauch abiotischer Ressourcen und weitere sogenannte Wirkungskategorien repräsentiert. Im Projekt LernRess wurde die Wirkungsabschätzungsmethode CML 2001 entsprechend der Ecoinvent Version 3.1 verwendet.

dem Verbrauch von Energie (Strom und Druckluft) sowie dem Verbrauch von Betriebsstoffen beziehungsweise Materialien (KSS oder MMS-Öl). Damit lassen sich aus den prozessbezogenen Kenngrößen zwei einfache betriebliche Indikatoren ableiten, nämlich der Endenergieverbrauch in Kilowattstunden und der Materialverbrauch in Kilogramm. Auf Basis dieser betrieblichen Indikatoren kann ein Zusammenhang mit gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsindikatoren dargestellt werden, wie sie in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie [12] enthalten sind. Dies ist im Falle der Energie der Indikator Primärenergieverbrauch, der unmittelbar die für die Erzeugung der Endenergie benötigten Rohstoffe, d.h. Primärenergieträger, darstellt. Etwas unterschiedlich gelagert ist der Bezug im Falle der Materialien. Hier besteht ein Bezug zum Indikator der Rohstoffproduktivität, der die Größe des abiotischen Primärmaterials im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt enthält. Allerdings fasst diese Größe inländische Rohstoffverbräuche mit Materialimporten zusammen. Im Modellprojekt wurde daher ein neuer, derzeit in der Diskussion befindlicher Indikator herangezogen, der sogenannte Rohmaterialeinsatz (RMI = Raw Material Input) [11]. Der RMI betrachtet abiotische Rohstoffe – Erze, Salze, fossile Energieträger, mineralische Rohstoffe – sowie auch biotische Rohstoffe [20] und weist den Verbrauch von Rohstoffen im Lebenszyklus als sogenannte Raw Material Equivalents (RME) aus. Er stellt insofern die Analogie zum Indikator des Primärenergieverbrauchs dar.

Für beide Indikatoren wurden im Modellprojekt Faktoren abgeleitet, aus denen mittels Multiplikation mit den betrieblichen Indikatoren der Beitrag zu gesellschaftlichen Indikatoren erfasst werden kann. Im Falle der Primärenergie wurde der Faktor nach DIN V 18599-1: 2011-12 für den allgemeinen Strommix verwendet, der für die energetische Bewertung von Gebäuden nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) entwickelt wurde.

Im Fall der Materialien (KSS bzw. MMS-Öl) wurden Faktoren für den RME ermittelt, indem die Herstellung von KSS bzw. MMS auf Grundlage der im Modellprojekt ermittelten Informationen, ergänzt mit Datensätzen anerkannter Ökobilanzdatenbanken, bilanziert wurde.

2.2.3. Leitfaden und Schulungskonzept

Die Umsetzung der Ergebnisse des Modellprojekts in Hilfestellung für die Praxis erfolgte in Form eines Leitfadens und einer Schulung. Der Praxisleitfaden *Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse* [14] ist strukturiert an Hand des allgemeinen Konzepts des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses von Managementprozessen mit den vier Arbeitsschritten Plan, Do, Check, Act. Damit ist die Vorgehensweise für die Verbesserung der Ressourceneffizienz kompatibel mit dem Vorgehen in anderen Normen und Richtlinien zum Umweltmanagement, so für Auditierungen nach EMAS und DIN ISO 14001, aber auch z.B. für Energiemanagementsysteme nach ISO 50001 und Energiekonzepte nach DIN ISO 16247 oder Aktivitäten des Produktintegrierten Umweltschutzes *PIUS* nach VDI 4075. Dadurch entstehen für Unternehmen Synergien bzw. Fragestellungen der Ressourceneffizienz können nahtlos in bestehende Managementsysteme integriert werden. Umgekehrt kann das aktuelle Thema Ressourceneffizienz für KMU auch für einen ersten Einstieg in Umweltmanagementsysteme genutzt werden.

Die vier Schritte des Verbesserungsprozesses sind im Praxisleitfaden speziell für zerspanende Prozesse konkretisiert. Ergänzend wird ein *Werkzeugkasten der betrieblichen Ressourceneffizienz* bereitgestellt, der praktische Anleitungen z.B. für die Erhebung von Energieverbräuchen und Kenngrößen im eigenen Betrieb enthält. Die ermittelten betrieblichen Kenngrößen und überbetrieblichen Indikatoren können in einer Matrix zusammengestellt werden und stellen in dieser Form sodann ein umfassendes Bild sowohl des Status Quo der betrieblichen Ressourceneffizienz als auch den möglichen Potentialen von Verbesserungsmaßnahmen dar, auf dessen Basis Betriebe eine fundierte Entscheidung über geeignete Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz treffen können.

Auf der für den Leitfaden entwickelten methodischen Grundlage wurde ein Schulungskonzept in der Prozesslernfabrik konzipiert. Dieses beinhaltet über die Beratung zum Stand der Technik der Zerspanung hinaus die Vermittlung des entwickelten methodischen Vorgehens zur Bewertung von Ressourceneffizienz und in einem Praxisteil die Durchführung von experimentellen Zerspanungsversuchen an einem Bearbeitungszentrum, mit denen Werte zum Benchmarking ermittelt werden und potentielle Maßnahmen der Verbesserung getestet werden können. Auf diese Weise werden Praktikern Möglichkeiten der Steigerung der Ressourceneffizienz im Betrieb in eigener Anschauung vermittelt.

3. Praxisbeispiel: Indikatorsystem für das Umweltmanagement

3.1. Ressourceneffizienz als Teil des Umweltmanagements

In der produzierenden Industrie sind Umweltmanagementsysteme (ISO 14001 und EMAS) die wesentlichen Instrumente, um die umwelt- und nachhaltigkeitsbezogene Leistung eines Standortes zu verbessern. Zielsetzungen werden in der Unternehmenspolitik vom Unternehmen selbst gesetzt, orientieren sich dabei aber am gesellschaftlichen, von der Politik gesetzten Rahmen.

Dies wird von den UMS EMAS und ISO 14001 durch die Orientierung auf Umweltaspekte gefördert. Die Unternehmen müssen feststellen, ob ein Umweltaspekt einer Organisation zu einer bedeutenden Auswirkung auf die Umwelt führt. Der Begriff der Umweltaspekte umfasst dabei alle Bestandteile von Tätigkeiten einer Organisation, die Auswirkungen auf die Umwelt haben können, indem sie beispielsweise Emissionen in Luft und Wasser verursachen oder zur Entstehung von Abfällen oder Verursachung von Verkehr beitragen. Auf Grundlage dieser Definition beziehen sich die Umweltaspekte also auf die Aktivitäten der Organisation, auf die diese Organisation Einfluss nehmen kann und für die das Wissen um Abläufe und Ausgestaltung bei der Organisation selbst liegt. Im Unterschied dazu bezieht sich der Begriff der Umweltauswirkungen auf die Effekte, die in der natürlichen Umwelt resultieren und deren Beurteilung daher auch Wissen über Vorgänge in der natürlichen Umwelt verlangt.

Die Beurteilung von Umweltauswirkungen ist Sache der Organisation. EMAS III führt dazu aus: *Die Organisation muss Kriterien festlegen, anhand deren die Bedeutung der Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten, Produkte und Dienstleistungen beurteilt wird, um zu*

bestimmen, welche davon bedeutende Umweltauswirkungen haben. (Anhang I, Umweltprüfung, Nr. 3) [22]. Weder EMAS noch ISO 14001 bieten für eine solche Beurteilung eine Methodik, die über allgemeine Hinweise zum Vorgehen hinausgeht [12, 17].

3.2. Methode der ökologischen Knappheit und die SEBU-Methode der Volkswagen AG

Die Novellierung der EMAS-Verordnung im Jahr 2001 beinhaltet erstmals die Anforderung an Unternehmen, ihre Ableitung von Umweltzielen an den bedeutenden Umweltauswirkungen auszurichten. Vor diesem Hintergrund wurde bei der Volkswagen AG im Rahmen eines Dissertationsvorhabens erstmals eine systematische Vorgehensweise zur Ableitung von Umweltzielen für das standortbezogene Umweltmanagement entwickelt. Diese beinhaltet die Arbeitsschritte der Erfassung und Bewertung von Umweltaspekten, auf deren Grundlage dann die Bewertung von Verbesserungspotentialen und letztlich die Festlegung von Umweltzielen erfolgt. Der Schritt der Bewertung von Umweltaspekten an Hand ihrer Wirkungen auf die Umwelt basierte auf der Methode der ökologischen Knappheit [10].

Die Methode der ökologischen Knappheit (MöK) wurde in den späten 1980er Jahren in der Schweiz entwickelt und erstmals publiziert in [2]. Mehrere Aktualisierungen wurden seitdem veröffentlicht [5, 8, 9]. Das Konzept der MöK basiert auf dem sogenannten *distance-to-target*-Prinzip, indem der derzeitige Zustand eines Umweltproblems mit einem gewünschten Zielzustand verglichen wird. Sowohl der derzeitige Zustand als auch der Zielzustand werden dabei als *Flüsse* beschrieben: Flüsse sind definiert als Menge pro Zeiteinheit (1 Jahr) entnommener Rohstoffe oder emittierter Schadstoffe. In den neueren Versionen der MöK werden jedoch auch andere Umweltwirkungen erfasst, sofern sie in einem Verbrauch pro Zeit abgebildet werden können, z.B. der Verbrauch an Land pro Zeit. Die Gegenüberstellung des Zielzustands, bezeichnet als kritischer Fluss, mit dem aktuellen Stand, gemessen als aktueller Fluss, beschreibt die *Knappheitssituation* für das jeweilige Umweltproblem. Aus diesem Prinzip werden mit der unten genannten Formel sogenannte Ökofaktoren abgeleitet, die die Umweltbelastung in der Einheit von Umweltbelastungspunkten *messen*.

$$\text{Ökofaktor} = \underbrace{K}_{\substack{\text{Charakterisierung} \\ \text{(optional)}}} \cdot \underbrace{\frac{1 \cdot \text{UBP}}{F_n}}_{\text{Normierung}} \cdot \underbrace{\left(\frac{F}{F_k}\right)^2}_{\text{Gewichtung}} \cdot \underbrace{c}_{\text{Konstante}} \quad (1)$$

Formel 1 nach BAFU [9]

K = Charakterisierungsfaktor eines Schadstoffs bzw. einer Ressource

F_n = Normierungsfluss: Aktueller jährlicher Fluss

F = Aktueller Fluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet

F_k = Kritischer Fluss: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet

c = Konstante ($10^{12}/a$): Dient dazu, einfach darstellbare Zahlengrößen zu erhalten

UBP = Umweltbelastungspunkt: Einheit der bewerteten Umweltwirkung

3.3. Ökofaktoren für Deutschland

Ökofaktoren spiegeln die nationalen Rahmenbedingungen in dem Sinn, dass sie sich an nationalen politischen oder gesetzlichen Zielen orientieren. Diese Ziele geben entweder selbst den kritischen Fluss vor, sofern sie als Massenfluss formuliert sind; dies ist beispielsweise in der Klimapolitik gegeben. In anderen Fällen müssen kritische Flüsse abgeleitet werden, wozu beispielsweise Immissionsgrenzwerte herangezogen werden können. In unterschiedlichen Staaten sind diese Ziele bzw. Grenzwerte unterschiedlich formuliert, ebenso wie in jedem Land die tatsächlichen aktuellen Flüsse anders sind. Dementsprechend ist zu erwarten, dass sich auch Ökofaktoren von Land zu Land unterscheiden. Dieser Unterschied ist gewollt, da hiermit sowohl der nationale gesellschaftliche Konsens in Form des politischen Willens als auch die nationale aktuelle Belastungssituation wiedergegeben wird.

Vor diesem Hintergrund ist die Verwendung Schweizer Ökofaktoren für Standorte in anderen Ländern unbefriedigend.

Aus diesem Grund initiierte VW 2013 ein Projekt zur Erarbeitung deutscher Ökofaktoren. Das Projekt wurde durchgeführt von SYRCON Dr. Ahbe, Dr. Popp & Partner, Darmstadt in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft der TU Darmstadt. Die Erarbeitung der Ökofaktoren erfolgte auf der methodischen Grundlage der Schweizer MÖK in der Fassung von 2009 [9].

Tabelle 1: Ausgewählte Ökofaktoren für Deutschland

	Ökofaktor	Umweltproblem
Emissionen in die Luft	CO ₂ eq (charakterisiert)	Klimawandel
	NMVOG	Luftverschmutzung
	NO _x als NO ₂	Luftverschmutzung
	SO _x als SO ₂	Luftverschmutzung
	PM2.5	Luftverschmutzung
	NH ₃	Luftverschmutzung
Emissionen in die Oberflächengewässer	Stickstoff	Wasserverschmutzung
	Phosphor	Wasserverschmutzung
	CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)	Wasserverschmutzung
	Nickel	Wasserverschmutzung
	Zink	Wasserverschmutzung
	Blei	Wasserverschmutzung
	Cadmium	Wasserverschmutzung
	Kupfer	Wasserverschmutzung
Ressourcenverbrauch	EPA-PAK16	Wasserverschmutzung
	Frischwasserverbrauch	Wasserknappheit
	Erneuerbare Endenergie	Knappheit energetischer Ressourcen
Abfall	Nicht-erneuerbare Primärenergie	Knappheit energetischer Ressourcen
	Gefährlicher Abfall	Knappheit von Abfallablagerungsflächen
	Nicht-gefährlicher Abfall	Knappheit von Abfallablagerungsflächen

Gegenüber der in dieser Fassung vorliegenden Liste an Ökofaktoren wurde eine Auswahl von 20 Ökofaktoren für die aus Sicht von deutschen VW-Standorten wichtigsten Umwelteinwirkungen getroffen (Tabelle 1). Wo nötig, wurden die Ökofaktoren an deutsche Rahmenbedingungen angepasst, z.B. im Bereich der Abfallwirtschaft.

Sowohl die Auswahl der Ökofaktoren als auch die Recherche bzw. Auswahl der umweltpolitischen Zielsetzungen zur Ermittlung kritischer Flüsse erfolgte in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt (UBA): Die entwickelten Ökofaktoren sind kein *standortspezifisches Instrument*, sondern sie stellen relative Bewertungen für Umweltprobleme für Deutschland generell dar, so dass eine Überprüfung ihrer Grundlagen durch die nationale Fachbehörde unerlässlich ist.

Die Herleitung und Werte der deutschen Ökofaktoren sind dokumentiert enthalten im Bericht *Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland* [3] und können frei verwendet werden.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Steigerung der Ressourceneffizienz bietet viele Chancen für Unternehmen, denn die Einsparung von Rohstoffen und Energie hat eine unmittelbare ökonomische Dimension und liegt daher im Kernbereich der Effizienz der Produktion. Im Sinne der Anforderungen der Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik, der gesellschaftlichen Verantwortung eines Unternehmens, aber auch der langfristigen strategischen Sicherung von Märkten müssen darüber hinaus auch die Auswirkungen der Produktion auf die natürlichen Ressourcen in Form der Tragfähigkeit der Umwelt erfasst und gesteuert werden. Hierzu liegen heute Rahmenwerke wie VDI 4800, ISO 14040 oder UMS nach EMAS und ISO 14001 vor. Um diese in der Praxis umzusetzen, benötigen Unternehmen weitergehende Instrumente und Hilfestellungen für eine effiziente, transparente und nachvollziehbare Anwendung.

Nötig sind insbesondere eine Beurteilung der Relevanz betrieblicher Einwirkungen auf unterschiedliche natürliche Ressourcen und die Bereitstellung einfacher aussagekräftiger Kenngrößen, mit denen die Ressourceneffizienz spezifischer Prozesse in der Praxis erfasst werden kann. Die wissenschaftlich fundierte Ausarbeitung von methodischen Vorgehensweisen für unterschiedliche Bereiche der Produktion und für die Identifizierung von Zusammenhängen betrieblicher Kenngrößen und gesellschaftlicher Indikatoren leistet hierzu einen wichtigen Beitrag.

5. Quellen

- [1] Abele, E. et al.: Trockene Zeiten stehen an. Trendbericht WB, Ausgabe 7-8/2012, S. 20-28
- [2] Ahbe, S.; Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R.: Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hrsg.): Schriftenreihe Umwelt Nr. 133. Bern, 1990
- [3] Ahbe, S.; Schebek, L.; Jansky, N.; Wellge, S.; Weihofen, S.: Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland – Eine Initiative der Volkswagen AG. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH, 2014

- [4] BMUB: Progress I, Progress II: <http://www.bmub.bund.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm/ueberblick/>; zuletzt abgerufen am 30.11.2016
- [5] Brand, G.; Scheidegger, A.; Schwank, O.; Braunschweig, A.: Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit. Ökofaktoren 1997. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hrsg.): Schriftenreihe Umwelt Nr. 297. Bern, 1998
- [6] Bundesregierung: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012
- [7] DIN EN ISO 14040/14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. 2009
- [8] Frischknecht, R. et al.: Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.): Umwelt-Wissen, 1330. Bern, 2013
- [9] Frischknecht, R.; Steiner, R.; Jungbluth, N.: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.): Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bern, 2009
- [10] Gernuks, M.; Schebek, L.: EMAS II – Erfassung und Bewertung betrieblicher Umweltaspekte bei der VOLKSWAGEN AG. In: UmweltWirtschaftsForum, 10 (2002), S. 52-59
- [11] Hirschnitz-Garbers, M. et al.: Further Development of Material and Raw Material Input Indicators – Methodological Discussion and Approaches for Consistent Data Sets. Input paper for expert workshop. 26. May 2014
- [12] Hofer, M.; Hofer, C.: Ökologische Bewertung in der betrieblichen Praxis. In: Tschandl, M.; Posch, A. (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling – Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012; ISBN: 978-3-8349-3031-6 (Print), 978-3-8349-6844-9 (Online)
- [13] http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_Nr_13_Ressourcenmanagement_web.pdf
- [14] https://www.hessen-umwelttech.de/mm/mm001/Brosch_Ressourceneffizienz_Zerspanungsprozesse_final_screen.pdf
- [15] Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz (IBU) Baden-Württemberg, <http://www.bubw.de/?lvl=531>; Zuletzt abgerufen am 30.11.2016
- [16] Klocke, F.; Lung, D.; Krämer, A.: Podiumsdiskussion: Kryoverfahren – Stand von Forschung und Technik. VSI Schmierstoffseminar, Frankfurt, 5.-6. September 2012
- [17] Lewandowska, A.: Environmental life cycle assessment as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS) part 1: methodology. Published in: The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 16, Issue 2, 2011, pp. 178–186. DOI 10.1007/s11367-011-0253-2
- [18] Liedtke, C.; Busch, T.: Materialeffizienz – Eine Einführung in das Thema. In: <https://www.oekom.de/nc/buecher/gesamtprogramm/buch/materialeffizienz.html>
- [19] Schaltegger, S.; Sturm, A.: Erfolgskriterien ökologieorientierten Managements. Interdependenzen zur staatlichen Umweltpolitik. In: Hauff, M.; Schmid, U. (Hrsg.): Ökonomie und Ökologie. Ansätze zu einer ökologisch verpflichtenden Marktwirtschaft. Stuttgart: Poeschel, 1992
- [20] Umweltbundesamt: Glossar zum Ressourcenschutz. Dessau, 2012
- [21] VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. (Entwurf). Juli 2014
- [22] Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung