

ESSENZ – Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung von Ressourceneffizienz

Vanessa Bach, Markus Berger und Matthias Finkbeiner

1.	Messung von Ressourceneffizienz.....	243
2.	ESSENZ-Methode.....	244
2.1.	Bewertungsmethodik	245
2.2.	Ermittlung der Ressourceneffizienz.....	248
3.	Fazit und Ausblick	249
4.	Literatur.....	250

Das starke Wirtschaftswachstum auf Grund der stetig wachsenden Weltbevölkerung als auch die vorherrschenden Produktions- und Konsummuster der letzten Jahrzehnte haben zu einer intensiven Beanspruchung natürlicher Ressourcen geführt. [7] Neben der zunehmenden Menge an verwendeten Ressourcen, ist auch die Anzahl der verschiedenen Ressourcen in den letzten Jahrzehnten stark ansteigen. [29] Diese Ressourcen bilden die Grundlage für jegliche Wirtschaftsaktivitäten und somit für eine funktionierende Gesellschaft. Daneben wird die Verschmutzung der Umwelt ebenfalls zunehmend zum Problem, da natürliche Ressourcen wie Wasser, Luft und Boden nicht mehr ihren zahlreichen Funktionen nachkommen können. Der Schutz der Umwelt ist ebenso wie der Zugang zu Ressourcen ein wesentlicher Aspekt für eine nachhaltige Entwicklung. [1] Eine nachhaltige Entwicklung kennzeichnet, dass sowohl die Bedürfnisse der jetzigen Generation erfüllt sind, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen, ihre Bedürfnisse zu befriedigen, zu gefährden. [9] Deshalb sind Maßnahmen zur Reduzierung des Ressourceneinsatzes und der Umweltbelastungen wesentlicher Bestandteil nationaler und internationaler Politik – z.B. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm [8], Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie [9], EU roadmap on resource efficiency [13]. Um den Erfolg dieser Strategien messen und bewerten zu können, bedarf es ganzheitlichen Methoden.

1. Messung von Ressourceneffizienz

Das ein grundlegendes Konzept zur Steigerung von Ressourceneffizienz als auch eine Methode zur Messung und Bewertung von Maßnahmen erforderlich ist, wird von Unternehmen, öffentlichen Einrichtungen als auch der Politik gestützt. Allerdings ist bisher noch nicht vollständig geklärt, was man genau unter Ressourceneffizienz eigentlich versteht und wie sie konkret gemessen und bewertet werden kann.

Generell wird unter Ressourceneffizienz das Verhältnis aus Wertschöpfung und dem dafür benötigten Ressourceneinsatz verstanden (Gleichung 1).

$$\text{Ressourceneffizienz} = \frac{\text{Wertschöpfung}}{\text{Ressourceneinsatz}} \quad (1)$$

Ressourcen sind im Allgemeinen verschiedenste Mittel, die es ermöglichen eine bestimmte Handlung oder Vorgang auszuüben. Sie werden zumeist untergliedert in abiotische¹, anthropogene², geologische³ und natürliche⁴ Ressourcen. Die Ermittlung von Ressourceneffizienz von Ländern, Unternehmen und Produkten – für nähere Informationen kann die Veröffentlichung von Bach et al. (2014), *Methoden und Indikatoren zur Messung von Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeit*, in Recycling und Rohstoffe herangezogen werden [4] – findet bisher vor allem für abiotische Ressourcen wie Metalle und fossile Rohstoffe statt. Allerdings erfolgte in der *Thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen* der Europäischen Kommission erstmals eine Berücksichtigung von Umweltmedien wie Luft, Wasser, Boden sowie strömende Ressourcen – Wind- oder Sonnenenergie – und Landnutzung. [11]

Bei bestehenden Ansätzen zur Messung von Ressourceneffizienz – z.B. Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS) [27] – liegt der Fokus ausschließlich auf der Materialmenge. Diese mengenbezogene Kennzahlen sind einfach zu berechnen und können gut kommuniziert werden, haben allerdings nur eine sehr geringe Aussagekraft, da die Materialmenge nichts über die damit verbundenen Umweltauswirkungen oder die Verfügbarkeit der eingesetzten Materialien aussagen kann – für nähere Informationen siehe bisherige Veröffentlichungen [3, 4, 6, 30].

Um Ressourceneffizienz von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen umfassend zu messen, müssen ganzheitliche Methoden entwickelt werden, die über die Bewertung der Masse hinausgehen. Dazu bedarf es robuster und anwendbarer Indikatoren, die alle Dimensionen der Ressourceneffizienzbewertung im Kontext der Nachhaltigkeit – also unter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte – beurteilen können.

2. ESSENZ-Methode

Die vorgestellte ESSENZ-Methode ist in einer Kooperation zwischen der Technischen Universität Berlin sowie den Industriepartnern Daimler AG, Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e. V., Evonik Industries AG – ab 01.07.2015 vertreten durch die Evonik Creavis GmbH, – Siemens AG, ThyssenKrupp Steel Europe AG und Wissenschaftlicher Gerätebau Dr. Ing. Herbert Knauer GmbH entwickelt. Das Vorhaben (FKZ 033R094A-F)

¹ Unbelebte und nicht erneuerbare Elemente und Mineralien, die in der Erdkruste vorliegen sowie Bestandteile der natürlichen Ressourcen.

² Sich in der Technosphäre befindende Materialien.

³ Sich in der Erde/Erdkruste befindende Rohstoffe.

⁴ Bestandteil der Natur, inklusive biotische und abiotische Primärrohstoffe als auch Umweltmedien, physikalischer Raum, strömende Ressourcen wie Windenergie sowie Biodiversität.

wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, welchem an dieser Stelle daher ein großer Dank für die Finanzierung und Unterstützung der Arbeiten des Forschungsvorhabens gilt.

Das Ziel der ESSENZ-Methode ist die Bewertung der Ressourceneffizienz von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen. Dabei werden neben den eingesetzten Mengen, das potenzielle Risiko einer eingeschränkten Verfügbarkeit – physische oder sozio-ökonomische Gesichtspunkte – sowie die potenziellen Umweltauswirkungen betrachtet. Weiterhin wird die gesellschaftliche Akzeptanz der im Produkt verwendeten Materialien hinsichtlich der Einhaltung von Sozial- und Umweltstandards abgeschätzt. Die Methode ist für die interne Anwendung gedacht, daher sind die Zielgruppe sowohl kleine und mittelständische als auch große Unternehmen, die über die Anwendung der ESSENZ-Methode die Ressourceneffizienz ihres Produktportfolios ermitteln möchten. Es können sowohl ein als auch mehrere Produkte, Prozesse und Dienstleistungen analysiert werden.

Folgend wird auf die betrachteten Dimensionen und Kategorien der ESSENZ-Methode und die Ermittlung der Ressourceneffizienz eingegangen.

2.1. Bewertungsmethodik

Das Vorgehen der ESSENZ-Methode ist an die Ökobilanz-Methodik (ISO-Norm 14044 [21]) angelehnt, die eine systematischen Analyse der Umweltauswirkungen entlang des Lebensweges von der Produktgewinnung, über Herstellung und Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung ermöglicht. Insgesamt werden 21 Kategorien in 3 Dimensionen ausgewertet (Bild 1), die bei Bedarf ergänzt werden können. Die Analyse aller Kategorien ist erforderlich, um jede Dimension bestmöglich zu analysieren und Zielkonflikten innerhalb sowie zwischen den Dimensionen zu vermeiden.

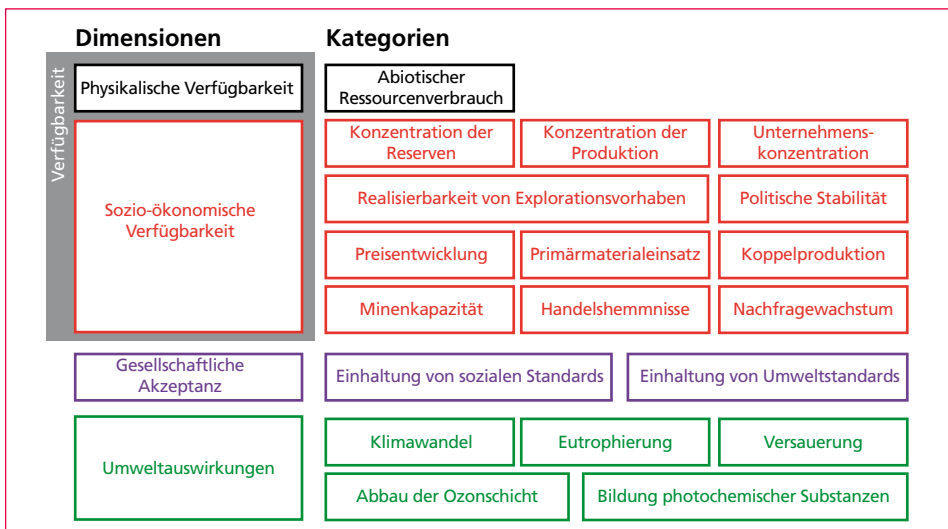


Bild 1: Dimensionen und Kategorien, die in der ESSENZ-Methode berücksichtigt werden

Die Dimension *Verfügbarkeit* setzt sich aus den Teildimensionen *Physische Verfügbarkeit* und *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* zusammen. Die Teildimension *Physische Verfügbarkeit* wird in der Kategorie *abiotischer Ressourcenverbrauch* bewertet und setzt sich aus der geologischen und anthropogenen Verfügbarkeit der Metalle und fossilen Rohstoffe zusammen. Beide Bestände haben Einfluss auf die Verfügbarkeit und bilden eine wichtige Grundlage für ein funktionierendes Wirtschaftssystem. Bei der geologischen Verfügbarkeit werden die in der Erde vorhandenen Vorräten betrachtet. Diese werden mit dem *Abiotic Depletion Potential* (ADP) [19] Indikator (Baseline [19]) bewertet, der die Aufzehrung sedimentärer und mineralischer Rohstoffe sowie fossiler Energieträger bewertet. Daneben ist auch die Einbeziehung anthropogener Vorkommen von Bedeutung, da diese ebenfalls dazu genutzt werden können, den Bedarf an Rohstoffen zu decken. Der *Anthropogenic Stock Extended Abiotic Depletion Potential* (AADP) Indikator [31, 32] wird verwendet, um sowohl geologische als auch anthropogene Vorkommen zu bewerten.

Tabelle 1: Übersicht über die Aspekte der Teildimension *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit*

Aspekte	Beschreibung	Indikator
Konzentration der Reserven	Konzentration von Reserven in bestimmten Ländern	Herfindahl-Hirschmann-Index (HHI) [Rhoades, S. A.]
Konzentration der Produktion	Konzentration von Produktionsstandorten (Minen) in bestimmten Ländern	HHI
Unternehmenskonzentration	Konzentration von Unternehmen, die Metalle und fossile Rohstoffe vertreiben	HHI
Minenkapazität	Erschließungszeitraum für neuen Minen	Verhältnis aus jährlicher globaler Produktion und vorhandenen Reserven
Realisierbarkeit von Explorationsvorhaben	Politische Gegebenheiten, die Auswirkungen auf die Erschließung von Minen haben	Policy Potential Index (PPI) [Cervantes, M. et al.]
Handelshemmnisse	Handelshemmnisse, die Metalle und fossile Rohstoffe betreffen	Enabling Trade Index (ETI) [Hanouz, M. D. et al.]
Koppelproduktion	Metalle und fossile Rohstoffe, die als Nebenmaterial auftreten	Durch Koppelproduktion gewonnenes Material [Erdmann, L. et al.]
Politische Stabilität	Stabilität der Regierung in Ländern die Metalle und fossile Rohstoffe abbauen	World Governance Indicators (WGI) [The World Bank Group]
Preisschwankungen	Starke Unsicherheiten der Preisschwankungen	Volatilität [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe]
Nachfragewachstum	Starke Erhöhung der Nachfrage	Prozentuales Wachstum
Primärmaterialinsatz	Primärmaterialanteil bei der Produktion	Primärmaterialanteil [Graedel, T. E.]

Quellen:

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Volatilitätsmonitor. 2014.

Cervantes, M.; McMahon, E.; Wilson, A.: Survey of Mining Companies: 2012/2013, 2013.

Erdmann, L.; Behrendt, S.; Feil, M.: Kritische Rohstoffe für Deutschland *Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte*, no. September, 2011.

Graedel, T. E.: UNEP Recycling rates of metals - A Status Report, a Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the international Resource Panel. 2011.

Hanouz, M. D.; Geiger, and T.; Doherty, S.: The Global Enabling Trade Report 2014, 2014.

Rhoades, S. A.: The Herfindahl-Hirschman index, Fed. Reserv. Bull., 1993.

The World Bank Group, The Worldwide Governance Indicators, 2013. [Online]. Available: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>.

Neben der physischen müssen zusätzlich sozio-ökonomische Faktoren als weitere Limitierung auf die Verfügbarkeit im Rahmen der Ressourceneffizienzbewertung berücksichtigt werden. Diese sind mögliche Störungen, die entlang der Versorgungskette auftreten und zu einer mangelnden Bereitstellung von Ressourcen führen können – z.B. strukturelle Gegebenheiten des Marktes und/oder vorherrschende Gesellschaftsstrukturen wie politisch instabile Regierungsformen. Insgesamt sind 11 Kategorien identifiziert, die bei der Bewertung der sozio-ökonomischen Verfügbarkeit berücksichtigt werden müssen (Tabelle 1). Sie sind unter anderem basierend auf den Arbeiten von Rosenau-Tornow et al. [28], der Europäischen Kommission [12], dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung [10], Thomas Gradel et al. [18] und dem Verein Deutscher Ingenieure [35] identifiziert. Die Ansätze dienen zur Bewertung der Verfügbarkeit von Ressourcen, betrachten allerdings nicht Produktsysteme im Zusammenhang mit dem Lebenszyklusansatz.

In der Dimension *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* werden angelehnt an die Methode der ökologischen Knappheit [17, 26] Grenzwerte verwendet, um den Anwender in der Interpretation der Ergebnisse zu unterstützen. Wenn der Quotient – Distance-to-Target Wert – aus dem Indikatorwert und dem Grenzwert (Gleichung 2) größer eins ist, bedeutet dies, dass ein potentielles Risiko einer eingeschränkten Verfügbarkeit vorliegt.

$$\text{Distance-to-Target-Wert} = \frac{\text{Indikatorwert}}{\text{Grenzwert}} \quad (2)$$

Bei der Kategorie *Minenkapazität* wird beispielsweise der Zeitraum bestimmt, indem das Metall unter den jetzigen Produktionsbedingungen noch zum Abbau zur Verfügung steht. Die Indikatoren nehmen dabei Werte von 10 Jahre bis 1.000 Jahre an. Eine Interpretation der beiden Reichweiten 10 Jahren und 1.000 Jahre erscheint einfach, da offensichtlich die Versorgungssicherheit potentiell risikobehafteter für 10 Jahre als für 1.000 Jahre ist. Liegen, die Reichweiten allerdings näher zusammen – z.B. 800 Jahre und 1.000 Jahre, – ist schwer zu sagen, ob der Unterschied in der Versorgungssicherheit relevant ist. Zudem stellt sich die Frage, ab wieviel Jahren generell von einem Risiko zu sprechen ist. Mit der Einführung von Grenzwerten kann dieses Problem angegangen werden. Da nur für die Konzentrationen Grenzwert vorliegen, sind die Grenzwerte für die anderen Kategorien über Experteneinschätzungen und einer Stakeholder-Befragungen im Rahmen des ESSENZ-Projekts ermittelt worden.

Die ESSENZ-Methode identifiziert die potentiellen Risiken der eingeschränkten Verfügbarkeit global, sodass jedes Unternehmen weltweit die Methode anwenden kann. Da Ressourceneffizienz im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung gemessen und bewertet werden soll, werden auch soziale Gesichtspunkte betrachtet. Diese werden zunehmend von Konsumenten als bedeutsam eingestuft – z.B. soziale Aspekte und Umweltauswirkungen beim Abbau von Erzen [34] – und beeinflussen daher die Kaufentscheidung. Somit sind sie auch für Unternehmen relevant und sollten bei der Bewertung von Ressourceneffizienz berücksichtigt werden. Wenn die gesellschaftliche Akzeptanz eines Materials gering ist, kann es trotz physischer und sozio-ökonomischer Verfügbarkeit nicht vom Unternehmen eingesetzt werden – z.B. Coltan in Smartphones [24].

Basierend auf bestehende Vorarbeiten [29] wird in der ESSENZ-Methode ein Screening-Indikator zur Bewertung der Einhaltung sozialer Standards und ein Screening-Indikatoren zur Bewertung der Einhaltung von Umweltstandards verwendet. Der Screening-Indikator deutet an, bei welchem Metall oder fossilem Rohstoff während des Abbaus soziale bzw. Umwelt-Standards verletzt werden. Für die Einhaltung sozialer Standards werden die drei Gesichtspunkte Kinderarbeit, Zwangsarbeit und Konfliktgebiete betrachtet, da sie von der Gesellschaft besonders kritisch angesehen werden. [21, 23, 33] Für die Einhaltung von Umweltstandards wird der Environmental Performance Index [36] herangezogen, der für jedes Land die jeweiligen Umweltpolitik abschätzt.

Des Weiteren wird auch die Verschmutzung der Umwelt in der Dimension *Umweltauswirkung* bewertet. Dabei wird der gesamte Lebensweg miteinbezogen. Insgesamt werden die fünf Aspekte Klimaänderung, Versauerung, Eutrophierung, Abbau der Ozonschicht und Bildung photochemischer Substanzen (Smog) betrachtet. Da diese Aspekte seit Jahren in Ökobilanzstudien angewendet werden, sind robuste und vielfach getestete Methoden vorhanden. [14, 16, 19]

2.2. Ermittlung der Ressourceneffizienz

Für ein spezifisches Produktsystem muss die Ressourceneffizienz für alle betrachteten Dimensionen und Kategorien berechnet werden. Dazu werden die Materialflüsse und die Elementarflüsse mit ihren entsprechenden Charakterisierungsfaktoren multipliziert. So wird der spezifische Beitrag für eine Kategorie ermittelt. Werden die spezifischen Beiträge aufsummiert, kann das Gesamtergebnis für das untersuchte Produktsystem bestimmt werden.

Da in der ESSENZ-Methode der Nutzen in Anlehnung an die ISO 14045 [22] dargestellt wird, stellt die funktionelle Einheit keine Größe für den Nutzen im klassischen Sinne dar. Monetäre Werte – z.B. Preis des untersuchten Produktes, Gewinn durch den Verkauf des untersuchten Produktes, usw. – können bei Bedarf ergänzt werden, werden aber von den Autoren kritisch gesehen. Es besteht die Gefahr, dass ein großer ökonomischer Nutzen – z.B. ein teureres Produkt – hohe Umweltauswirkungen ausgleicht und somit als ressourceneffizienter interpretiert wird – ein ausführliches Beispiel zu der Herausforderung ökonomischer Kennzahlen ist bei Bach et al. (2016) [2] zu finden.

Die Ressourceneffizienz eines Produktes wird ermitteln, indem wie in Gleichung 1 dargestellt der Nutzen den Teildimensionen *Physische Verfügbarkeit*, *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* und der Dimension *Umweltauswirkungen* gegenübergestellt wird (Gleichung 3). Es gilt: je größer der berechnete Wert, desto größer ist die Ressourceneffizienz des Produktes.

$$RE = \frac{\text{Nutzen des Produktsystems}}{\text{Physische Verfügbarkeit} + \text{Sozio-ökonomische Verfügbarkeit} + \text{Umweltauswirkungen} + \text{gesellschaftliche Akzeptanz}} \quad (3)$$

Dabei sollte bedacht werden, dass die Aggregation zu einem Gesamtwert (Single-Score) nicht möglich ist. Beim Vergleich zweier Produktalternativen kann eine prozentuale Gegenüberstellung vorgenommen werden, die jedoch als Ergänzung anzusehen ist. Es müssen weiterhin alle 21 Aspekte der ESSENZ-Methode zusammen betrachtet werden, um eine Aussage über die Ressourceneffizienz des Produktsystems zu erhalten.

Eine Aggregation ist aus folgenden Gründen nicht möglich: Die Teildimension *Physische Verfügbarkeit* wird mit drei verschiedenen Indikatoren messbar gemacht. Die drei Indikatoren können nicht zu einem Wert aggregiert werden, da sie auf unterschiedlichen methodischen Grundlagen beruhen. Innerhalb der Teildimension *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* kann eine Aggregation stattfinden, wenn der Anwender sich zutraut, die betrachteten Aspekte zu gewichten. Bisher gibt es dazu noch keine Erfahrungen, was eine Gewichtung zur Herausforderung macht. Für eine Aggregation innerhalb der ökologischen Dimension müssen die fünf Kategorien, die alle unterschiedliche Einheiten haben, normalisiert und gewichtet werden. Da mit diesem Ansatz große Herausforderungen in der Interpretation einhergehen [5, 15, 20], wird er in der ESSENZ-Methode nicht empfohlen. Den Unsicherheiten einer solchen Vorgehensweise würde der Mehrwert einer Aggregation entgehen.

Für die prozentuale Gegenüberstellung müssen zunächst für die ermittelten Ergebnisse die prozentualen Anteile bestimmt werden. Dazu wird eine Produktalternative auf 100 Prozent gesetzt und ermittelt wie sich die andere Produktalternative prozentual im Vergleich verhält. Basierend auf diesem prozentualen Vergleich können die Teildimensionen *Physische Verfügbarkeit*, *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* und *Umweltauswirkungen* aggregiert werden. Die Dimension *Gesellschaftliche Akzeptanz* wird nicht einbezogen, da sie nur über einen Screening-Indikator bewertet wird. Die Gegenüberstellung der Alternativen zeigt an, für welchen Aspekt die untersuchten Produkte besser bzw. schlechter abschneiden. Bei der Interpretation sollte bedacht werden, dass die Dimensionen mit weniger Aspekten z.B. *Physische Verfügbarkeit* nicht weniger bedeutsam sind als Dimensionen, die über mehr Aspekte abgebildet werden. Eine Aggregation der drei Dimensionen ist nicht vorgesehen, da dies zu einer zu hohen Aggregationsebene und somit intransparenten Ergebnisse führen kann.

3. Fazit und Ausblick

Die ESSENZ-Methode unterstützt die umfassenden Messung und Bewertung von Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeit, indem die Dimensionen *Umweltauswirkungen*, *Physische Verfügbarkeit* und *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* sowie *Gesellschaftliche Akzeptanz* betrachtet und mit anwendbare Indikatoren messbar gemacht werden. Zur angemessenen Bewertung von Ressourceneffizienz zählt auch die transparente Darstellung von Zielkonflikten, die mit Hilfe der Methode möglich ist. Für die Dimension *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* werden Charakterisierungsfaktoren für 36 Metalle und 4 fossile Rohstoffe bereitgestellt. Daher ist die Berechnung von Ergebnissen bei Produkten, die überwiegend diese Metalle und fossile Rohstoffe

enthalten, einfach umzusetzen. Zusätzlich zu einem umfassenden Leitfaden [2] wird ein Excel-Tool (<http://www.see.tu-berlin.de/menue/forschung/ergebnisse/>) zur Verfügung gestellt, welches bei der Berechnung der Ergebnisse unterstützt, indem der Anwender nur die in dem untersuchten Produktsystem verwendeten Mengen an Metallen und fossilen Rohstoffen eintragen muss und die Ergebnisse für die Teildimensionen *Physische Verfügbarkeit*, *Sozio-ökonomische Verfügbarkeit* sowie die Dimension *Gesellschaftliche Akzeptanz* berechnet und visualisiert werden. Die Ergebnisse der Dimension *Umweltauswirkungen* müssen hingegen mit einer Ökobilanzsoftware ermittelt werden.

Bei der Übertragung der ESSENZ-Methode auf andere Ressourcen – z.B. biotische Materialien – müssen ggf. weitere Kategorien wie z.B. logistische Beschränkungen betrachtet werden. Generell kann für die Betrachtung von weiteren Ressourcen das Vorgehen der Methode übertragen und angewendet werden.

Die ESSENZ-Methode dient der Bemessung von Produkten, demnach wird die Mikro-Ebene bewertet. Es ist jedoch auch möglich die Methode auf die Meso- und Makro-Ebene zu übertragen. Die Meso-Ebene spiegelt die Unternehmensebene wieder, die bereits teilweise betrachtet wird, da es bei den analysierten Produkte und Prozesse um Bestandteil von Unternehmen handelt. In einem nächsten Schritt könnte die Methode mit der kürzlich entwickelten Methode *Ökobilanz von Unternehmen* (Organizational LCA) [25] verknüpft werden. Auf Länder-Ebene (Makro-Ebene) wird derzeit zur Messung der Ressourceneffizienz der Leitindikator aus Bruttoinlandsprodukt (BIP) und dem inländischem Materialverbrauch (DMC) empfohlen [13]. In nachfolgenden Ebenen werden auch Umweltauswirkungen betrachtet. Einschränkungen durch sozio-ökonomische Gesichtspunkte werden bei dem Konzept nicht betrachtet, jedoch wurde die Kritikalität von Metallen für Europa in einem separaten Projekt bestimmt. [12] Die ESSENZ-Methode bietet die Möglichkeit, diese verschiedenen Aspekte zu vereinen und eine integrierte Ressourceneffizienzbewertung auf der Makro-Ebene zu ermöglichen, in der sowohl die physische und sozio-ökonomische Verfügbarkeit von Rohstoffen als auch die Umweltauswirkungen berücksichtigt werden.

4. Literatur

- [1] Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwerde, M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien Rohstoffe für Zukunftstechnologien. 2009
- [2] Bach, V.; Berger, M.; Henßler, M.; Kirchner, M.; Leiser, S.; Mohr, L.; Rother, E.; Ruhland, K.; Schneider, L.; Tikana, L.; Volkhausen, W.; Walachowicz, F.; Finkbeiner, M.: Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung/Messung von Ressourceneffizienz (ESSENZ-Methode), accepted. Springer/Spektrum, 2016
- [3] Bach, V.; Schneider, L.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: Bewertung von Ressourceneffizienz auf Produktebene. In: 3. Symposium Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovation, Fraunhofer Verlag, 2014, S. 463–474
- [4] Bach, V.; Schneider, L.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: Methoden und Indikatoren zur Messung von Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeit. In: Thome-Kozmiensky, K.J.; Goldmann, D. (Hrsg.) Recycling und Rohstoffe, 2014, S. 87–101
- [5] Benini, L.; Mancini, L.; Sala, S.; Schau, E.; Manfredi, S.; Pant, R.: Normalisation method and data for Environmental Footprints, 2014

- [6] Berger, M.; Finkbeiner, M.: Methoden zur Messung der Ressourceneffizienz. In: Thome-Kozminsky, K.J.; Goldmann, D. (Hrsg.) Recycling und Rohstoffe Band 1, 2008.
- [7] BIO Intelligence Service: Assessment of resource efficiency indicators and targets. Final report prepared for the European Commission, DG Environment, Institute for Social Ecology (SEC) and Sustainable Europe Research Institute (SERI), 2012
- [8] BMUB: Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), 2015. [Online]. Available: <http://www.bmub.bund.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen/ressourceneffizienz/progress-das-deutsche-ressourceneffizienzprogramm/>
- [9] Bundesregierung Deutschland: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie Fortschrittsbericht, 2012. [Online]. Available: http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Nachhaltigkeitsstrategie/1-die-nationale-nachhaltigkeitsstrategie/nachhaltigkeitsstrategie/_node.html;jsessionid=AB7764D74BA79942AF3B8D330034811D.s3t2
- [10] Erdmann, L.; Behrendt, S.; Feil, M.: Kritische Rohstoffe für Deutschland *Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte*, September, 2011
- [11] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen (670). 2005
- [12] European Commission: Critical raw materials for the EU, 2010
- [13] European Commission: Resource Efficiency. The Roadmap's approach to resource efficiency indicators, 2015. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/targets_indicators/roadmap/index_en.htm. [Accessed: 01-Aug-2015]
- [14] European Commission-Joint Research Centre: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2011
- [15] Finkbeiner, M.: Product environmental footprint—breakthrough or breakdown for policy implementation of life cycle assessment?, *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 2, pp. 266–271, Dec. 2014
- [16] Finkbeiner, M.; Ackermann, R.; Bach, V.; Berger, M.; Brankatschk, G.; Chang, Y.-J.; Grinberg, M.; Lehmann, A.; Martínez-Blanco, J.; Minkov, N.; Neugebauer, S.; Scheumann, R.; Schneider, L.; Wolf, K.: Challenges in Life Cycle Assessment: An Overview of Current Gaps and Research Needs. In: *Background and Future Prospects in Life cycle Assessment*, Springer Berlin/Heidelberg, 2014, pp. 207–258
- [17] Frischknecht, R.; Steiner, R.; Jungbluth, N.: *Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006 Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen*, 2006
- [18] Graedel, T. E.; Barr, R.; Chandler, C.; Chase, T.; Choi, J.; Christoffersen, L.; Friedlander, E.; Henly, C.; Jun, C.; Nassar, N. T.; Schechner, D.; Warren, S.; Yang, M.-Y.; Zhu, C.: Methodology of metal criticality determination., *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 2, pp. 1063–70, Jan. 2012
- [19] Guinée, J. B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Sleeswijk, A. W.; Suh, S.; de Haes, H. A. U.; de Bruijn, H.; van Duin, R.; Huijbregts, M. A. J.: *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background*, 2002
- [20] Heijungs, R.; Guinée, J.; Kleijn, R.; Rovers, V.: Bias in normalization: Causes, consequences, detection and remedies, *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 12, no. 4, pp. 211–216, Jul. 2006
- [21] International Organization for Standardization: ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz -Anforderungen und Anleitungen, 2006
- [22] International Organization for Standardization: ISO 14045: Environmental management — Eco-efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines, 2012

- [23] Internationale Arbeiterorganisation: ILO Kernarbeitsnormen, 2015. [Online]. Available: <http://www.ilo.org/berlin/arbeits-und-standards/kernarbeitsnormen/lang--en/index.htm>. [Accessed: 01-Aug-2015]
- [24] Manhart, A.; Riewe, T.; Brommer, E.; Gröger, J.: PROSA Smartphones, *Www.Oeko.De*, vol. 49, no. 0, pp. 30–40, 2012
- [25] Martínez-Blanco, J.; Inaba, A.; Quiros, A.; Valdivia, S.; Milà-i-Canals, L.; Finkbeiner, M.: Organizational LCA: the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative guidance document, *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 8, pp. 1045–1047, Aug. 2015
- [26] Müller-Wenk, R.; Ahbe, S.; Braunschweig, A.: *Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung*. BUWAL, Bern, Schriftenreihe Umwelt 133, 1990
- [27] Ritthoff, M.; Rohn, H.; Liedtke, C.: *Calculating MIPS – Resource productivity of products and services*. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2002
- [28] Rosenau-Tornow, D.; Buchholz, P.; Riemann, A.; Wagner, M.: Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials—a combined evaluation of past and future trends. In: *Resour. Policy*, vol. 34, no. 4, pp. 161–175, 2009
- [29] Schneider, L.: *A comprehensive approach to model abiotic resource provision capability in the context of sustainable development*, 2014
- [30] Schneider, L.; Bach, V.; Finkbeiner, M.: *LCA Perspectives for Resource Efficiency Assessment*. In: *Special types of LCA*, Springer Berlin/Heidelberg, accepted, 2015
- [31] Schneider, L.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: Abiotic resource depletion in LCA—background and update of the anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) model, *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2015
- [32] Schneider, L.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: The anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) as a new parameterisation to model the depletion of abiotic resources, *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 16, pp. 929–936, 2011
- [33] *Süddeutsche Zeitung*: Apple will auf Mineralien aus Konfliktregionen verzichten, 2014. [Online]. Available: <http://www.sueddeutsche.de/digital/zuliefererkette-apple-will-auf-mineralien-aus-konfliktregionen-verzichten-1.1887413>. [Accessed: 01-Aug-2015]
- [34] *The Guardian*: Sustainable mining: an inherent contradiction in terms?, 2015. [Online]. Available: <http://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/jan/05/sustainable-mining-business-poverty-environment-new-framework>. [Accessed: 01-Aug-2015]
- [35] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: *Fachbereich Ressourcenmanagement*, 2012. [Online]. Available: <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/energie-und-umwelt/fachbereiche/ressourcenmanagement/themen/richtlinienwerk-zur-ressourceneffizienz-zre/>
- [36] Yale Center for Environmental Law & Policy & Center for International Earth Science Information Network: *Environmental Performance Index, 2014 Environmental Performance Index*, 2014. [Online]. Available: <http://epi.yale.edu/>