

# Methoden und Indikatoren zur Messung von Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeit

Vanessa Bach, Laura Schneider, Markus Berger und Matthias Finkbeiner

1.	Einleitung .....	87
2.	Effizienter Einsatz von Ressourcen .....	88
3.	Überblick über bisherige Methoden und Indikatoren .....	89
3.1.	Ökologische Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit .....	91
3.2.	Ökonomische Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit .....	91
3.3.	Soziale Aspekte der Ressourcenverfügbarkeit .....	92
4.	Ansatz zur ganzheitlichen Bewertung der Ressourcennutzung und -verfügbarkeit .....	92
4.1.	Ansatz und Status von ESSENZ .....	95
4.2.	Ausblick .....	97
5.	Literatur .....	98

## 1. Einleitung

Eine nachhaltige Entwicklung hat das Ziel *die Bedürfnisse der heutigen Generation zu befriedigen ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen* [1]. Seit der Veröffentlichung des Brundtland-Berichts der Vereinten Nationen im Jahr 1987 gilt eine nachhaltige Entwicklung als Grundpfeiler nationaler und internationaler Umwelt- und Wirtschaftspolitik. Nachhaltige Entwicklung muss sowohl die Dauerhaftigkeit der Ziele und Maßnahmen berücksichtigen als auch die gleichberechtigte Beachtung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte gewährleisten [2, 3].

Natürliche Ressourcen sind die Grundlage für jegliche Wirtschaftsaktivität und neben dem Schutz ist auch der Zugang zu Ressourcen ein wesentlicher Aspekt für eine nachhaltige Entwicklung.

Wesentliche Ziele aktueller politischer Maßnahmen sind die nachhaltigere Gestaltung von Konsum und Produktion um natürliche Ressourcen so einzusetzen, dass derzeitige menschliche Bedürfnisse erfüllt werden können, die Verfügbarkeit der Ressourcen für heutige oder zukünftige Generation dabei aber nicht eingeschränkt wird [4].

Ein starkes Wachstum der Wirtschaft in den letzten Jahrzehnten hat zu einer intensiven Beanspruchung natürlicher Ressourcen geführt. Die steigende Nutzung von natürlichen Ressourcen wird langfristig zu noch mehr Schäden an der Umwelt und zunehmender Verknappung der Ressourcen führen [52]. Daher haben Fragen der Ressourceneffizienz und Ressourcensicherheit in den letzten Jahren in der Industrie als auch in der Politik immer mehr an Bedeutung gewonnen [5].

Der nachhaltige und effiziente Umgang mit Ressourcen ist ein wesentlicher Aspekt zur Sicherung der heutigen und zukünftigen Ressourcenverfügbarkeit. Aufgrund weltweit wachsender Bevölkerungszahlen, steigender Lebensstandards und der vermehrten Nachfrage nach Ressourcen in Schwellenländern ist die Verfügbarkeit von Ressourcen von wachsender Bedeutung. Insbesondere im Kontext von innovativen Technologien, dem Einsatz von erneuerbaren Energien und der Entwicklung von umweltfreundlicheren Produkten und Herstellungsverfahren spielt der uneingeschränkte Zugang zu Ressourcen eine wesentliche Rolle [6].

In diesem Beitrag wird die Bewertung der Ressourceneffizienz und -sicherheit im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung diskutiert. Dafür wird zunächst ein Überblick über die Bewertung von Ressourceneffizienz und bestehende Indikatoren gegeben. Anschließend werden neue Ansätze vorgestellt, die das Ziel haben, Ressourcenverfügbarkeit unter Berücksichtigung der verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit umfassend zu bewerten.

## 2. Effizienter Einsatz von Ressourcen

Ressourcen und deren Nutzung stellen eine wesentliche Verbindung zwischen der Umwelt und der Wirtschaft dar [7]. Der effiziente Einsatz von Ressourcen ist ein wesentliches Ziel zur Reduzierung der Umweltwirkungen und die Basis für eine nachhaltige Entwicklung [53].

Ressourceneffizienz wird im Allgemeinen als das Verhältnis aus einer erbrachten Leistung und dem dafür benötigten Ressourceneinsatz definiert (Gleichung 1).

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

Ziel ist die effiziente Nutzung von Ressourcen in Produktionsprozesse, um eine möglichst hohe Wertschöpfung mit möglichst geringem Ressourceneinsatz zu erreichen. Die Leistung wird dabei meist ökonomisch definiert und über das SIP bzw. den Preis eines Produktes ausgedrückt.

Das Verständnis des Ressourceneinsatzes hängt wesentlich von der Definition der *Ressource* an sich ab. Unter Ressourcen werden verschiedenste Mittel verstanden, die es ermöglichen eine bestimmte Handlung oder Vorgang auszuüben. Nach [8] ist eine Ressource ein Teil der Natur, dessen Gewinnung und Verarbeitung auch ökonomisch für den Menschen von Interesse ist. Darunter werden sowohl abiotische als auch biotische Ressourcen gefasst. Während als Ressource im klassischen Sinne also oft der Einsatz von Rohstoffen wie zum Beispiel Metallen oder Energieträgern verstanden wird [8],

wird in der *Thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen* der Europäischen Kommission ein erweitertes Verständnis verfolgt. Neben Rohstoffen werden auch Umweltmedien wie Luft, Wasser, Boden, physikalischer Raum ebenso wie strömende Ressourcen (Wind- oder Sonnenenergie) und Landnutzung berücksichtigt [9]. Aufgrund der Vielfältigkeit der Indikatorenwahl, variieren die Ergebnisse von Ressourceneffizienzberechnungen oft stark.

Um Ressourceneffizienz von Produkten und Prozessen sinnvoll darstellen zu können, werden robuste und anwendbare Indikatoren zur Bestimmung des Ressourceneinsatzes benötigt.

Es gibt bereits zahlreiche Methoden und Ansätze zur Berechnung von Ressourceneffizienz. Allerdings beziehen sich viele ausschließlich auf den Verbrauch von natürlichen Rohstoffen (z.B. Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS) oder Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) [10, 11] oder materialfluss-basierte Indikatoren wie inländische Materialverbrauch (engl. domestic material consumption, DMC) [12, 13, 14]). Diese mengenbezogenen Kennzahlen sind zwar praktisch anzuwenden, einfach zu berechnen und gut kommunizierbar, haben jedoch nur geringe Aussagekraft, da die Menge eines Materials weder über die Umweltwirkung noch über die Verfügbarkeit Auskunft gibt. Eine ausführlichere Beschreibung verschiedener Indikatoren zur Bewertung von Rohstoffverbräuchen findet sich in früheren Tagungsbänden dieser Konferenzreihe [15, 16].

Eine ganzheitliche Bewertung von Ressourceneffizienz muss über die reine Betrachtung von Mengen hinausgehen. Für einen nachhaltigen Einsatz von Ressourcen müssen die Umweltwirkungen in Zusammenhang mit Abbau und Nutzung der Ressourcen erfasst sowie ihre Verfügbarkeit unter Berücksichtigung von heutigem und zukünftigem Bedarf ermittelt werden. Bei der Bewertung von Ressourceneffizienz im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung sind sowohl ökologische als auch wirtschaftliche und soziale Faktoren relevant.

Die Betrachtung ökologischer Faktoren ist relevant, um die Umweltlasten, die durch den Abbau und die Nutzung von Ressourcen entstehen, zu ermitteln und um ökologische Grenzen im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Ressourcen zu bewerten. Auch wirtschaftliche Strukturen und Gegebenheiten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Ressourcen. Eine strukturelle Knappheit kann den effizienten und nachhaltigen Einsatz von Ressourcen gefährden. Soziale Faktoren bilden den dritten Bereich der Nachhaltigkeit ab und können indirekt den Zugang zu Rohstoffen für Produkte einschränken.

Eine umfassende Bewertung von Ressourcen erfordert die gleichberechtigte Berücksichtigung dieser drei Gesichtspunkte um eine Verlagerung von Umweltwirkungen und Versorgungsrisiken zu vermeiden.

### 3. Überblick über bisherige Methoden und Indikatoren

Sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene erfolgt die Betrachtung der Ressourceneffizienz häufig über die Bilanzierung der Massen an Rohstoffinputs in einem Land.

Dabei wird sich auf den inländischen Materialverbrauch (DMC) bezogen [17, 13]. Der inländische Materialverbrauch beschreibt die Gesamtentnahme an direkt verwertetem Material innerhalb einer Volkswirtschaft. Er ist definiert als die jährliche Menge an Rohmaterial, die aus dem inländischen Hoheitsgebiet entnommen wird, zuzüglich aller physischen Einfuhren abzüglich aller physischen Ausfuhren [18].

Dies ist ein einfacher, aber nicht besonders aussagekräftiger Weg, Rohstoffverbräuche zu bewerten. Diese Methode hat einen sehr begrenzten Horizont, da Risiken oder Umweltwirkungen außerhalb des *inländischen* Rahmens nicht berücksichtigt werden. Eine Methode zur Bewertung von Ressourcennutzung und Verfügbarkeit sollte aber den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen, um eine sinnvoll Grundlage für Entscheidungen auf Produkt-, Unternehmens- oder Länderebene zu schaffen [19].

Zudem ist materialeffizientes und nachhaltiges Wirtschaften auch auf die Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen angewiesen. Dies wird innerhalb existierender Ansätze zur Bewertung der Ressourceneffizienz wenig berücksichtigt.

Die Bewertung der Ressourceneffizienz kann generell auf drei verschiedenen Ebenen stattfinden:

- Macro-Level: Bewertung von Kritikalität (Verfügbarkeit und Vulnerabilität) und Umweltbeeinträchtigung auf Länderebene
- Meso-Level: Bewertung von Kritikalität und Umweltbeeinträchtigung auf Unternehmensebene
- Micro-Level: Bewertung von Verfügbarkeit und Umweltbeeinträchtigung auf Produktebene

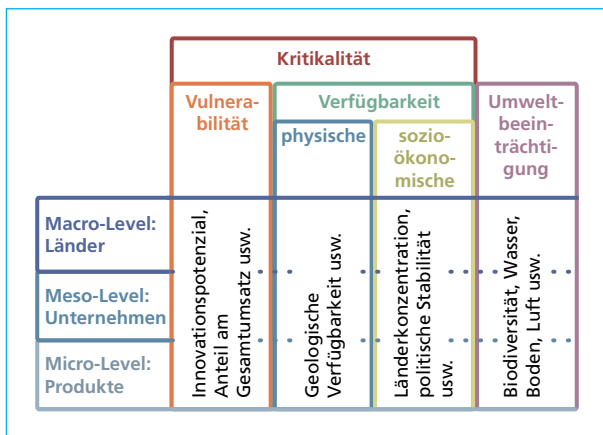


Bild 1:

Kritikalitäts- und Umweltbewertung auf den verschiedenen Ebenen

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Bewertung des Ressourceneinsatzes auf Produktebene. Der gesamte Lebenszyklus der Ressourcen muss betrachtet werden, um die Vernachlässigung und Verlagerung von Risiken und Umweltwirkungen ausschließen zu können und um sicher zu gehen, dass alle relevanten Materialflüsse berücksichtigt werden.

Bei der Bewertung von Ressourceneffizienz auf Produktebene müssen Umweltbeeinträchtigungen sowie Verfügbarkeit der eingesetzten Ressourcen betrachtet werden (Bild 1). Diese Aspekte stellen die ökonomische und ökologische Säule der Nachhaltigkeit dar. Die dritte Säule der Nachhaltigkeit umfasst soziale Aspekte, die bisher in noch keiner Methode zur Betrachtung von Ressourceneffizienz berücksichtigt werden.

### 3.1. Ökologische Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit

Die Verschmutzung der Umwelt nimmt sowohl global als auch regional immer weiter zu und führt zu bedeutsamen Auswirkungen wie Klimawandel oder Verlust von Biodiversität [20, 21]. Es besteht daher das Ziel die Ressource Umwelt zu schützen, indem ihre Verschmutzung verringert wird.

Ökobilanzen sind ein anerkanntes Werkzeug zur Analyse der entlang des Lebensweges auftretenden ökologischen Konsequenzen [16, 22, 23, 24]. Im Hinblick auf die Betrachtung und Bewertung von Ressourceneffizienz sind Ökobilanzindikatoren eine gute Grundlage um Ressourceneinsatz umfassend zu bewerten und die Vernachlässigung von potenziellen Risiken und Umweltwirkungen zu vermeiden.

Innerhalb von Ökobilanzen gibt es zahlreiche Indikatoren, die zum Beispiel die Nutzung und Verschmutzung natürlicher Ressourcen wie Luft oder Wasser bewerten [8] und die Verfügbarkeit von Ressourcen anhand der ökologischen oder geologischen Verfügbarkeit betrachten [15, 25, 16].

Allerdings gibt es auch Umweltauswirkungen, die bisher nicht abgebildet werden können. Das sind vor allem der Verlust von Biodiversität, Bodenqualität und andere Landnutzungsauswirkungen. Gerade in der Diskussion der Ressourcenverfügbarkeit sind diese Aspekte von großer Bedeutung [26, 27].

Da Rohstoffabbau und Weiterverarbeitung mit erheblichen Umweltlasten verbunden sind, wird die Nutzung von Ressourcen momentan hauptsächlich aus Umweltgesichtspunkten betrachtet.

Zu den wichtigsten Methoden zur Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit auf Produktebene zählen **Abiotic Depletion Potential (ADP)** [28, 29] und das **Anthropogenic Stock Extended Abiotic Depletion Potential (AADP)** [30]. Diese beiden Indikatoren bewerten allerdings nur die geologische und anthropogene Verfügbarkeit der Ressource, die nur zu einem kleinen Teil zur Ressourcenverfügbarkeit beitragen. Die Betrachtung der Ressourcenverfügbarkeit muss über die Betrachtung von ökologischen Aspekten hinausgehen.

### 3.2. Ökonomische Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit

Zur Bewertung der ökonomischen Ressourcenverfügbarkeit auf Produktebene gibt es bisher sehr wenige Ansätze und existierende Studien beziehen sich hauptsächlich auf die Länder- und Unternehmensebene.

Zu den wichtigsten in den letzten Jahren veröffentlichten Studien zur Bewertung von Rohstoffverfügbarkeit auf Länderebene gehören die Studien der Europäischen Kommission [31] und des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung [32].

Eine weitere Methode, entwickelt von Graedel et al. [33], kann sowohl auf Länder- als auch für Unternehmensebene angewendet werden. Die Anzahl der Verfügbarkeitsindikatoren innerhalb dieser Studien ist ähnlich, allerdings unterscheiden sich die gewählten Indikatoren deutlich voneinander, was zu unterschiedlichen Einschätzungen der Verfügbarkeit führen kann [34].

Methoden zur Bewertung auf Unternehmensebene werden überwiegend von den Unternehmen selber entwickelt und durchgeführt, daher unterscheiden sich Vorgehen und Indikatoren teils stark voneinander [35, 36, 37]. Auch hier wird meist nur die ökonomische Rohstoffverfügbarkeit betrachtet, selten Umweltauswirkungen und kaum sozialen Aspekten. Da es auf Produktebene auf eine detailliertere Unterscheidung einzelner Materialien und spezifischer Nutzungen ankommt, eignen sich die Indikatoren der Länder- und Unternehmensebene für die Bewertung der Ressourceneffizienz auf Produktebene nur bedingt.

Basierend auf der Ökobilanzmethodik gibt es bereits Ansätze um die ökonomische Ressourcenverfügbarkeit auf Produktebene zu bewerten: das **Economic Resource Scarcity Potential (ESP)** [34]. Der ESP-Indikator betrachtet ökonomische Aspekte, die zu einer Einschränkung der Verfügbarkeit führen können. Auch die sich in der Entwicklung befindende Richtlinie des VDIs zur Bewertung der ökonomischen Verfügbarkeit von Ressourcen betrachtet teilweise das Produktlevel [38].

### 3.3. Soziale Aspekte der Ressourcenverfügbarkeit

Soziale Aspekte werden bei den bisherigen Ansätzen zur Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit nicht adäquat berücksichtigt.

Zur Bewertung von sozialen Auswirkungen von Produkten und Produktionsprozessen gibt es bereits eine angewandte Methodik (**social LCA**) und eine Vielzahl von Indikatoren [39, 40, 41]. Diese Methode bezieht sich bisher jedoch ausschließlich auf die direkten Auswirkungen von Produktherstellung auf die Menschen und bewertet Produkte zum Beispiel in Hinblick auf den Einsatz von Kinderarbeit, Zwangsarbeit, Gesundheitsversorgung, usw.

Die indirekten Auswirkungen dieser Aspekte auf die Verfügbarkeit von Ressourcen, zum Beispiel die Einschränkung des Zugangs zu Ressourcen aufgrund geringer gesellschaftlicher Akzeptanz, werden bisher nicht berücksichtigt.

Trotz zahlreicher Ansätze zur Bewertung von Ressourcennutzung und -verbrauch gibt es noch kein ganzheitliches, lebenszyklusbezogenes Modell, das eine umfassende Bewertung der Ressourceneffizienz unter gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte ermöglicht.

## 4. Ansatz zur ganzheitlichen Bewertung der Ressourcennutzung und -verfügbarkeit

Im Rahmen des durch das BMBF geförderten r<sup>3</sup>-Projektes ESSENZ (Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung/Messung von Ressourceneffizienz) wird eine Methode zur Messung von Ressourceneffizienz auf Produktebene entwickelt.

# Berlin macht mehr daraus.

Mehr als Dünger und Kompost...

Seit Anfang 2013 bereiten wir in unserer Biogasanlage pro Jahr rund 60.000 t organische Abfälle zu Biogas auf und betanken damit 150 gasbetriebene Müllsammelfahrzeuge. So schließt sich der Kreis und die Umwelt freut sich.



# ÖSTERREICH IST EUROPAMEISTER



Österreich ist europaweit Spitzenreiter. Zwar nicht beim Fußball, aber beim Recycling: Mit 63% Verwertungsrate bei Siedlungsabfällen führt Österreich das EU Ranking an.

Wir von der ARA, Österreichs führendem Sammel- und Verwertungssystem für Verpackungen, tragen unseren Teil dazu bei: Mit jährlich 830.000 Tonnen Verpackungsabfällen liefern wir wertvolle Rohstoffe für die Wirtschaft und ersparen der Umwelt 640.000 Tonnen CO<sub>2</sub>.

ARA.recycling [www.ara.at](http://www.ara.at)

**SO MACHT RECYCLING SINN.**

**ARA** Altstoff Recycling Austria



Diese Methode wird durch ein Konsortium unter der Leitung der TU Berlin mit Industriepartnern wie Siemens, Evonik, Daimler, ThyssenKrupp, Deutsches Kupferinstitut und Knauer entwickelt und soll zur Verwendung innerhalb von Ökobilanzen geeignet sein.

#### 4.1. Ansatz und Status von ESSENZ

Die ESSENZ-Methode berücksichtigt alle drei Ebenen der Nachhaltigkeit, ist wissenschaftlich konsistent und praktisch anwendbar. Bei der Methodik wird auf die bereits erwähnte Ressourcendefinition der EU [9] zurückgegriffen und somit neben Verfügbarkeitsaspekten auch die Verschmutzung der natürlichen Ressourcen und Landnutzung betrachtet. Es erfolgt eine Erweiterung um die Dimension *soziale Auswirkungen*, die sowohl Aspekte wie Kinderarbeit und Gleichberechtigung berücksichtigt als auch gesundheitliche Folge durch Emissionen (Bild 2).

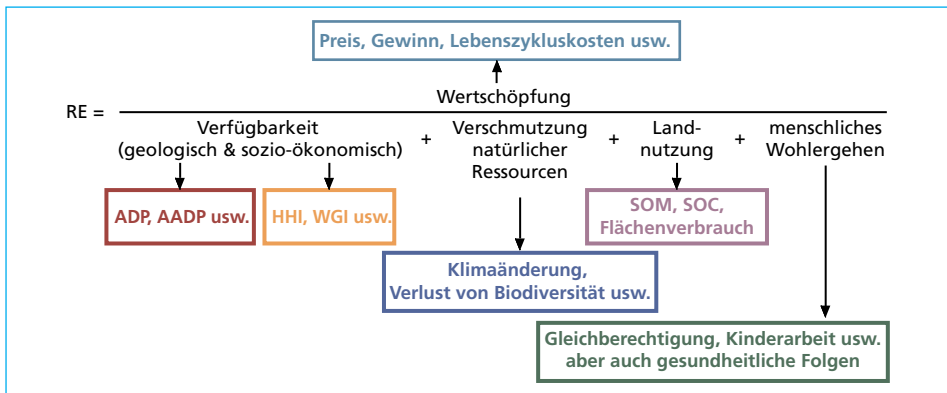


Bild 2: Dimensionen und mögliche Indikatoren von Ressourceneffizienz

Der Verbrauch von natürlichen Ressourcen wird mithilfe der geologischen und sozio-ökonomischen Verfügbarkeit bewertet.

Die geologische Verfügbarkeit bezieht sich auf die Verfügbarkeit von abiotischen Ressourcen in der Erdkruste. Dazu wird die Reichweite (der Verfügbarkeitshorizont) der geologischen Vorkommen betrachtet, indem den Vorkommen der Abbau dieser gegenübergestellt wird. Die geologische Verfügbarkeit kann mit Hilfe des ADP-Indikators bewertet werden [28, 29]. Ob die geologische Verknappung jedoch ökologische oder ökonomische Relevanz hat, ist viel diskutiert, z.B. [8, 55, 34].

Zur Ermittlung der gesamten *physischen* Verfügbarkeit von Ressourcen, über die rein geologische Verfügbarkeit in der Umwelt hinaus, müssen auch anthropogene Vorkommen berücksichtigt werden. Diese können mithilfe des AADP-Indikators [30] erfasst werden.

Zur Bewertung der ökonomischen Verfügbarkeit wird das Risiko möglicher Störungen, die zu einer Verknappung von Ressourcen führen können, entlang der Versorgungskette erfasst und bewertet. Die Versorgungssicherheit ist ein wichtiger Aspekt im Sinne der nachhaltigen Entwicklung [34, 1] und spiegelt die ökonomische Säule der Nachhaltigkeit wieder.

Über verschiedenen sozio-ökonomischen Indikatoren werden dabei unter Anderem strukturelle Gegebenheiten des Marktes und der Gesellschaft dargestellt, die zu einer Einschränkung der Ressourcenverfügbarkeit beitragen können. Unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit und Anwendbarkeit sind bisher 12 Aspekte mit entsprechenden Indikatoren zur Beschreibung der ökonomischen Verfügbarkeit identifiziert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Sozio-ökonomische Aspekte und Indikatoren

Aspekt	Indikator
Konzentration der Reserven	Herfindahl-Hirschmann Index (HHI) [Lippe 1993, Rhoades 1993]
Konzentration der Produktion (Abbau)	HHI [Lippe 1993, Rhoades 1993]
Statistische Reichweite der Reserven	Reserven/Produktion-Verhältnis
Unternehmenskonzentration	HHI [Lippe 1993, Rhoades 1993]
Realisierbarkeit von Rohstoffabbau	Policy Potential Index [Cervantes 2013]
Nachfragewachstum	Gekoppelter Indikator aus erwartetem und vergangenem Wachstum angelehnt an [Schneider et al. 2013]
Koppelproduktion	Prozentualer Anteil des Nebenprodukts angelehnt an [Schneider et al. 2013] und [Erdmann et al. 2011]
Einsatz von Sekundärmaterial	Sekundärmaterial angelehnt an [Schneider et al. 2013]
Handelshemmnisse	Prozentualer Anteil an der Weltproduktion, der Handels- hemmnisse unterliegt, angelehnt an [Schneider et al. 2013]
Politische Stabilität	Gleichgewichteter Indikator aus den sechs World Governance Indicators (WGI) [The World Bank Group 2013]
Preisvolatilität/-trend	Value-at-Risk-Indikator [Fricke 2006]
Extremnaturereignisse	Am Fachgebiet Sustainable Engineering (TU Berlin) entwickelter Indikator zur Bewertung des Verlustes von biotischen Ressourcen und Material aufgrund von Extremnaturereignissen

Über diese 12 ökonomischen Indikatoren hinaus, gibt es weitere Aspekte wie z.B. die Substituierbarkeit, die aufgrund von Datenmangel oder hohem Grad an Komplexität nicht abgebildet werden können. Zudem ist die Aussage eines jeden Indikators nur innerhalb seiner Tragweite möglich. Die WGI [45] bewerten beispielsweise die aktuelle Regierungsführung und können Entwicklungen und Tendenzen in der politischen Stabilität eines Landes aufzeigen, liefern aber keine gute Grundlage, um Umbrüche in zuvor stabilen Gesellschaften vorherzusagen.

Für die Bewertung der Auswirkungen von Ressourcenabbau und -nutzung auf die Umwelt wurden die fünf Aspekte Klimawandel [20], Eutrophierung, Versauerung [28], Abbau der Ozonschicht [47] und Smog bzw. Photochemische Oxidantienbildung [48] festgelegt. Trotz der Bedeutsamkeit von Landnutzung und Verlust von Biodiversität können diese beiden Kategorien aufgrund der aktuellen Datenlage nicht robust abgebildet werden. Methoden zur Bewertung der Landnutzung benötigen detaillierte Informationen entlang aller Stufen der Versorgungskette, die derzeit in keiner Datenbank zur Verfügung stehen und aus Kosten- und Zeitgründen auch nicht von den Unternehmen und Anwendern erhoben werden können [27]. Bei den Biodiversitätsmethoden besteht ebenfalls ein Mangel an Inventardaten, zudem bestehen auch methodische Grenzen [26].

Das *menschliche Wohlergehen* bzw. soziale Aspekte stelle die dritte Säule der Nachhaltigkeit dar. Für eine umfassende Bewertung müssen sowohl Aspekte wie Kinderarbeit und Gleichberechtigung, als auch gesundheitliche Folgen, die zu einer Verminderung der menschlichen Gesundheit beitragen, berücksichtigt werden [49]. Zur Verfügung stehende Methoden zur Bewertung der menschlichen Gesundheit erfordern einen sehr hohen Datenaufwand [50, 51], der nur in bestimmten Sektoren ermöglicht werden kann. Daher wird die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit in der ESSENZ-Methode nicht berücksichtigt. Die Bewertung von Arbeitsbedingungen, Gleichberechtigung und anderen sozialen Aspekten wird mit einem am Fachgebiet Sustainable Engineering entwickelten Ansatz abgebildet. Ein aggregierter Indikator für Ressourcenabbau wird basierend auf Daten aus der **Social Hotspot Database** [40, 39] und einer länderspezifischen Gewichtung der weltweiten Produktionsanteile gebildet. Dabei wird besonders auf Aspekte eingegangen, die gesellschaftlich nicht akzeptiert sind und somit den Zugang zu Ressourcen einschränken können. Der Indikator hat nicht den Anspruch eine umfassende Bemessung der sozialen Aspekte zu gewährleisten, sondern ist mehr als Wegweiser zu verstehen, der gewährleisten soll, dass die ESSENZ-Methode den Nachhaltigkeitsanspruch erfüllt. Eine komplette Bewertung der sozialen Aspekte entlang des Lebensweges ist auf Grund der geringen Verfügbarkeit von Daten derzeit nicht möglich.

Zur Bewertung der Leistung wird die funktionelle Einheit angelehnt an die ISO 14045 [54] gewählt. Es wird kein ökonomische Wert verwendet, da sich dieser je nach Perspektive als auch über die Zeit stark ändern kann: Für ein Unternehmen ist der erzielte Gewinn die entscheidende Größe, für den Kunden, der eine Kaufentscheidung treffen möchte, der Preis und für politische Entscheidungen spielen womöglich Steuerabgaben als auch Arbeitsplätze eine entscheidende Rolle. Somit ist es innerhalb des ESSENZ-Ansatzes dem Anwender selber überlassen, ob und welche ökonomische Größe er zusätzlich zur funktionellen Einheit verwenden möchte.

In der ESSENZ-Methode werden derzeit insgesamt 5 Umweltindikatoren, 2 geologische Indikatoren, 12 ökonomische Indikatoren und 1 sozialer Indikator verwendet.

## 4.2. Ausblick

Da eine Kommunikation dieser 20 Indikatoren schwierig erscheint, wird zurzeit versucht, über eine Stakeholder-Befragung ein Gewichtungsschema zu erarbeiten. Die Gewichtung könnte die Kommunikation stark erleichtern, da die Komplexität wesentlich reduziert wird. Andererseits ist ein gewichteter Indikator von Werthaltungen geprägt und damit wissenschaftlich nur bedingt aussagekräftig. Bei einem gewichteten Ergebnis ist es außerdem nicht möglich Veränderungen einzelner Indikatoren zu identifizieren und auszuwerten.

In einem nächsten Schritt wird die entwickelte Methode mit den Projektpartnern in Fallstudien auf Aussagekraft und Anwendbarkeit getestet. Auch wenn das Konsortium bezüglich verschiedener Branchen bereits eine gewisse Breite repräsentiert, sollen zukünftig auch weitere Anspruchsgruppen konsultiert werden.

Dazu wird ein öffentlicher Workshop durchgeführt, zu dem neben weiteren Industrieunternehmen und -verbänden und Dienstleistern, auch Vertreter von Wissenschaft, Politik und Umweltverbänden eingeladen werden. Das Projekt endet im Juli 2015 mit der Veröffentlichung eines Leitfadens und der Charakterisierungsfaktoren.

## 5. Literatur

- [1] WCED: Our Common Future. Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED = World Commission on Environment and Development), Vereinte Nationen, 1987
- [2] Di Giulio, A.: Die Idee der Nachhaltigkeit im Verständnis der Vereinten Nationen. LIT Verlag, Münster, 2004
- [3] Hauff, V.: Unsere gemeinsame Zukunft. In: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. 2. Auflage. Eggenkamp Verlag, Greven, 1999
- [4] DGVN: Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V.. In: [www.dgvn.de](http://www.dgvn.de), Zugriff 29.12.2013, 2011
- [5] Hennicke, P.; Kristof, K.; Dorner, U.: Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise. In: Policy Paper zu Arbeitspaket 7 de Projekts Materialeffizienz und Ressourcenschonung. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, 2009
- [6] Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwerde, M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. In: ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009
- [7] UNEP: Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. In: A report of the working group on decoupling to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Paris, 2011
- [8] Lindeijer, E.W.; Müller-Wenk, R.; Steen, B.: Impact assessment of resources and land use. In: H. Udo de Haes, Joliet O, Finnveden G et al. (eds) Life cycle impact assessment: striving towards best practice. SETAC Press, Pensacola, 2002, S. 11-64
- [9] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an den Rate, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. In: Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen (670), Brüssel, 2005
- [10] Ritthoff, M.; Rohn, H.; Liedtke, C.: Calculating MIPS – Resource productivity of products and services. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2002
- [11] VDI 4599: Kumulierter Rohstoffaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, Beispiele, in Bearbeitung, 2013
- [12] Bringezu, S.; Schütz, H.: Material Use Indicators for Measuring Resource Productivity and Environmental Impacts. In: Resource Efficiency Paper 6.2, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal, 2010
- [13] Europäische Kommission: Science for environment policy in-depth report: Resource efficiency indicators. Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol, 2013
- [14] van der Voet, E.; van Oers, L.; Moll, S.; Schütz, H.; Bringezu, S.; de Bruyn, S.; Sevenster, M.; Warringa, G.: Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries, CML report 166, Leiden: Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden University – Department of Industrial Ecology, 2005
- [15] Berger, M.; Finkbeiner, M.: Methoden zur Messung der Ressourceneffizienz. In: Thome-Kozminsky, K. J. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe. Neuruppin: TK Verlag, 2008

- [16] Berger, M.; Schneider, L.; Bach, V.; Finkbeiner, M.: Verfügbarkeitsbewertung von Rohstoffverbräuchen in Ökobilanzen, Berliner Rohstoff- und Recyclingkonferenz, March 4-5. In: Thome-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag, 2013, S. 141-150
- [17] Deutsche Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland – unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Berlin, 2010
- [18] Europäische Kommission: Economy-wide material flow accounts and derived indicators - A methodological guide, 2001
- [19] Giljum, S.; Burger, E.; Hinterberger, F.; Lutter, S.; Bruckner, M.: A comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level. In: Resour Conserv Recycl, vol. 55, 2011, S. 300-308
- [20] Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change. In: IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change. Online: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>, 2007
- [21] Schmitt, V.: Warum ist Biodiversität so wertvoll? Online: <http://umweltinstitut.org/fragen--antworten/biodiversitaet/verlust-der-biodiversitaet-813.html>, 2012
- [22] ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. In: ISO 14040: 2006, edited by International organisation for standardisation. Brussels, Belgium: European Committee for Standardisation, 2006
- [23] ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. In: ISO 14040: 2006, edited by International organisation for standardisation. Brussels, Belgium: European Committee for Standardisation, 2006
- [24] Finkbeiner, M.; Inaba, A.; Tan, R.B.H.; Christiansen, K.; Klüppel, H.-J.: The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044, International Journal of Life Cycle Assessment, 11 (2), 2006, S. 80-85
- [25] Berger, M.; Finkbeiner, M.: Correlation analysis of life cycle impact assessment indicators measuring resource use. In: International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 16, 2011, S. 75-81
- [26] Curran, M.; de Baan, L.; De Schryver, A.; M., Van Zelm, R.; Hellweg, S.; Koellner, T.; Sonnemann, G.; Huijbregts, M.: Toward meaningful end points of biodiversity in life cycle assessment. In: Environ. Sci. Technol., vol. 45, no. 1, 2011, S. 70–9
- [27] Mattila, T.; Helin, T.; Antikainen, R.: Land use indicators in life cycle assessment. In: Int. J. Life Cycle Assess., vol. 17, no. 3, 2011, S. 277–286
- [28] Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Sleswijk, A.W.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; de Bruijn, H.; van Duin, R.; Huijbregts, M.A.: Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background, 2001
- [29] van Oers, L.; de Konig, A.; Guinée, J.B.; Huppes, G.: Abiotic resource depletion in LCA Abiotic resource depletion in LCA Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook, Leiden, 2002
- [30] 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. In: Int. J. Life Cycle Assess., vol. 16, no. 9, 2011, S. 929–936
- [31] Europäische Kommission: Critical raw materials for the EU, 2010
- [32] 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. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, 2011

- [33] 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, 2012, S. 1063–70
- [34] Schneider, L.; Berger, M.; Schüler-Hainsch, E.; Knöfel, S.; Ruhland, K.; Mosig, J.; Bach, V.; Finkbeiner, M.: The economic resource scarcity potential (ESP) for evaluating resource use based on life cycle assessment. In: *Int. J. Life Cycle Assess*, 2013
- [35] Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation: Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes, 2010
- [36] Institut der deutschen Wirtschaft Köln: Projekt des IW Köln zur betrieblichen Ressourceneffizienz. Gefördert von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Online: [http://www.bdi.eu/images\\_content/KlimaUndUmwelt/IW-Studie\\_Homepage\\_BDI.pdf](http://www.bdi.eu/images_content/KlimaUndUmwelt/IW-Studie_Homepage_BDI.pdf), 2012
- [37] Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis e.V.: Sonderpreis Ressourceneffizienz. Online: <http://www.nachhaltigkeitspreis.de/1337-0-Sonderpreis-Ressourceneffizienz.html>, 2013
- [38] VDI: Fachbereich Ressourcenmanagement, Verein Deutscher Ingenieure e.V.. Online: <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/energie-und-umwelt/fachbereiche/ressourcenmanagement/themen/richtlinienwerk-zur-ressourceneffizienz-zre/>, 2012
- [39] Norris, G.; Benoit-Norris C.; Aulisio D.: Social Hotspots Database. Online: <http://socialhotspot.org/>, 2013
- [40] Benoit-Norris, C.; Cavan, D.A.; Norris, G.: Identifying Social Impacts in Product Supply Chains: Overview and Application of the Social Hotspot Database. In: *Sustainability*, vol. 4, no. 12, 2012, S. 1946–1965
- [41] UNEP: Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme, Paris, 2009
- [42] Klinglmair, M.; Sala, S.; Brandao, M.: Assessing resource depletion in LCA: a review of methods and methodological issues. In: *Int J Life Cycle Assess*, published online, 2013
- [43] Rhoades, S.: The Herfindahl-Hirschman index. *Fed. Reserv. Bull.*, 1993
- [44] Cervantes, M.; McMahon, F.; Wilson, A.: Survey of Mining Companies: 2012/2013 (<http://www.fraserinstitute.org/uploadedFiles/fraser-ca/Content/research-news/research/publications/mining-survey-2012-2013.pdf>), 2013
- [45] The World Bank Group: The Worldwide Governance Indicators. Online: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>, 2013
- [46] Fricke, J.: Value-at-Risk Ansätze zur Abschätzung von Marktrisiken. DUV Deutscher Universitäts-Verlag, 2006
- [47] World Meteorological Organization: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 52, 2010
- [48] Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; De Schryver, A.; Struijs, J.; van Zelm, R.: ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level Report I: Characterisation, 2009
- [49] Weidema, B.: The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. In: *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 11, 2006, S. 89–96
- [50] Rosenbaum, R.K.; Huijbregts, M.; Henderson, A.D.; Margni, M.; McKone, T.E.; Meent, D.; Hauschild, M.Z.; Shaked, S.; Li, D.S.; Gold, L.S.; Jolliet, O.: USEtox human exposure and toxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties. In: *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 16, no. 8, 2011, S. 710–727
- [51] Rosenbaum, R. K.; Bachmann, T.M.; Jolliet, O.; Juraske, R.; Koehler, A.; Hauschild, M.Z.: USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. In: *Int. J. LCA*, vol. 13, 2008, S. 532–546

- [52] BIO Intelligence Service: Assessment of resource efficiency indicators and targets. In: Final report prepared for the European Commission, DG Environment. Institute for Social Ecology (SEC) and Sustainable Europe Research Institute (SERI), 2012
- [53] Behrens A.; Giljum S.; Kovanda J.; Niza S.: The material basis of the global economy - Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. In: Ecol Econ vol. 64, 2007, S.444-453
- [54] ISO 14045: Environmental management – Eco-efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines. In: ISO 14045: 2012, edited by International organisation for standardisation. Brussels, Belgium: European Committee for Standardisation, 2012
- [55] von der Lippe, P.: Deskriptive Statistik. Gustav Fischer Verlag, 1993





Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Recycling und Rohstoffe** – Band 7

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-09-1

ISBN 978-3-944310-09-1 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Janin Burbott, Cordula Müller,

Katrin Krüger

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.