

Schneider, E.; Farcas, R.; Haaf, T., 2010: DNA-Methylierung und Evolution. In: *BIOSpektrum* 5 (2010), S. 524–526

Swierstra, T.; Rip, A., 2007: Nano-ethics as NEST-ethics: Patterns of Moral Argumentation About New and Emerging Science and Technology. In: *Nano Ethics* 1/1 (2007), S. 3–20

Torgerson, H., 2013: TA als hermeneutische Unternehmung. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 22/2 (2013), S. 75–80

Vandeghechuchte, M.B.; Janssen, C.R., 2011: Epigenetics and its Implications for Ecotoxicology. In: *Ecotoxicology* 20 (2011), S. 607–624

Waddington, C.H., 2012: The Epigenotype. In: *International Journal of Epidemiology* 41/1 (2012), S. 10–13

Weinhold, B., 2006: Epigenetics: The Science of Change. In: *Environ Health Perspective* 114/3 (2006), S. A160–A167

van Montfoort, A.P.A.; Hanssen, L.L.P.; de Sutter, P. et al., 2012: Assisted Reproduction Treatment and Epigenetic Inheritance. In: *Human Reproduction Update* 18/2 (2012), S. 171–197

Youngson, N.A.; Whitelaw, E., 2008: Transgenerational Epigenetic Effects. In: *Annual Review of Genomics and Human Genetics* 9/1 (2008), S. 233–257

Kontakt

Dr. Stefanie Seitz
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
 Tel.: +49 721 608-26018
 E-Mail: stefanie.seitz@kit.edu



Nachhaltigere Technologien für eine nachhaltige Entwicklung

Ergebnisse der Dissertation „Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien“

von Annekatriin Lehmann, TU Berlin

Technologien können einerseits zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen und andererseits Nachhaltigkeitsprobleme verursachen (Fleischer/Grunwald 2002). Ein Beispiel sind Integrierte Wasserressourcenmanagementprojekte (IWRM) in Entwicklungsländern, in denen Technologien zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung entwickelt und implementiert werden. Ziele sind verbesserte Lebensbedingungen und nachhaltige Entwicklung in der Region. Gleichzeitig können mit diesen Technologien aber Nachhaltigkeitsprobleme einhergehen, durch Energie- und Ressourcenverbrauch bei ihrer Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Nachhaltigkeitsanalysen von Technologien in solchen Projekten müssen folglich zwei Aspekte betrachten: 1) welche Technologien sind geeignet, um identifizierte Nachhaltigkeitsdefizite (z. B. unzureichende Wasserversorgung) langfristig zu beheben und 2) welche der möglichen Technologiealternativen ist die „nachhaltigere“, d. h. welche weist die potenziell geringsten ökologischen, ökonomischen und sozialen Belastungen entlang ihres Lebenswegs auf? Letzteres ist Fokus der hier vorgestellten Dissertation (Lehmann 2013).

1 Einleitung

Ziel der Dissertation „Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien am Beispiel eines IWRM-Projekts“ war es, eine Antwort auf die Forschungsfrage zu geben, wie eine lebenszyklus-, produktbezogene und vergleichende Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien – basierend auf dem Life-Cycle-Sustainability-Assessment (LCSA) – umgesetzt werden kann, und zwar speziell im Kontext von IWRM- und Entwicklungsprojekten. Am Beispiel einer Fallstudie zur Analyse ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte alternativer Techno-

logien im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „Integriertes Wasserressourcenmanagement in Gunung Kidul, Java, Indonesien (2008–2014)“ werden die methodischen Überlegungen und abgeleiteten Empfehlungen praktisch angewandt. Zudem wird erörtert, wie LCSA im Rahmen des Integrierten Nachhaltigkeitskonzepts der Helmholtz-Gemeinschaft (Kopfmüller et al. 2001) für vergleichende Technologieanalysen genutzt werden kann. Dieser Artikel gibt einen Einblick in die Dissertation, beschränkt sich aber auf die methodischen Fragestellungen.¹

2 Hintergrund

2.1 Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA)

Das LCSA-Konzept beschreibt die Kombination der Methoden Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) und Social Life Cycle Assessment (SLCA) zur Nachhaltigkeitsanalyse von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen entlang ihres Lebensweges (UNEP/SETAC 2011; Finkbeiner et al. 2010). Die Lebenszyklusperspektive ist essentiell, um – entsprechend dem globalen Nachhaltigkeitsleitbild – eine Problemverlagerung in andere Bereiche des Lebenswegs, andere Regionen und auf zukünftige Generationen sichtbar zu machen und in der Folge ggf. zu vermeiden. LCA ist eine standardisierte und in der Praxis verbreitete und erprobte Methode zur ökologischen Bewertung (ISO 14044 2006). Für die Methoden LCC und SLCA existieren ein Code of Practice (Swarr et al. 2011) bzw. Guidelines (UNEP/SETAC 2009), jedoch bislang wenige Fallstudien. Die methodische Entwicklung und die praktische Anwendung der LCSA² erfolgten bislang ohne Bezug zum Helmholtz-Konzept.

2.2 Integratives Nachhaltigkeitskonzept der Helmholtz-Gemeinschaft

Das sog. „Integrative Nachhaltigkeitskonzept der Helmholtz-Gemeinschaft“ versteht sich als ein Konzept zur Operationalisierung des Nachhaltigkeitsleitbilds. Es basiert auf drei Nachhaltigkeitszielen, die durch substantielle Nachhaltigkeitsregeln konkretisiert sind (Kopfmüller et al. 2001). Bislang wurde dieses Konzept u. a.

zur Analyse und Beurteilung nationaler oder regionaler Nachhaltigkeitssituationen oder für die Entwicklung von Kriterienrastern zur Technologiebewertung angewendet (Kopfmüller 2006). Untersuchungsgegenstände dieses Helmholtz-Konzepts gehen über die des LCSA-Konzepts hinaus, da sie auch Regionen oder gesellschaftliche Entwicklungen umfassen. Zu den Analyseinstrumentarien zählen neben der Systemanalyse und Methoden der Technikfolgenabschätzung auch Lebenszyklusanalysen.

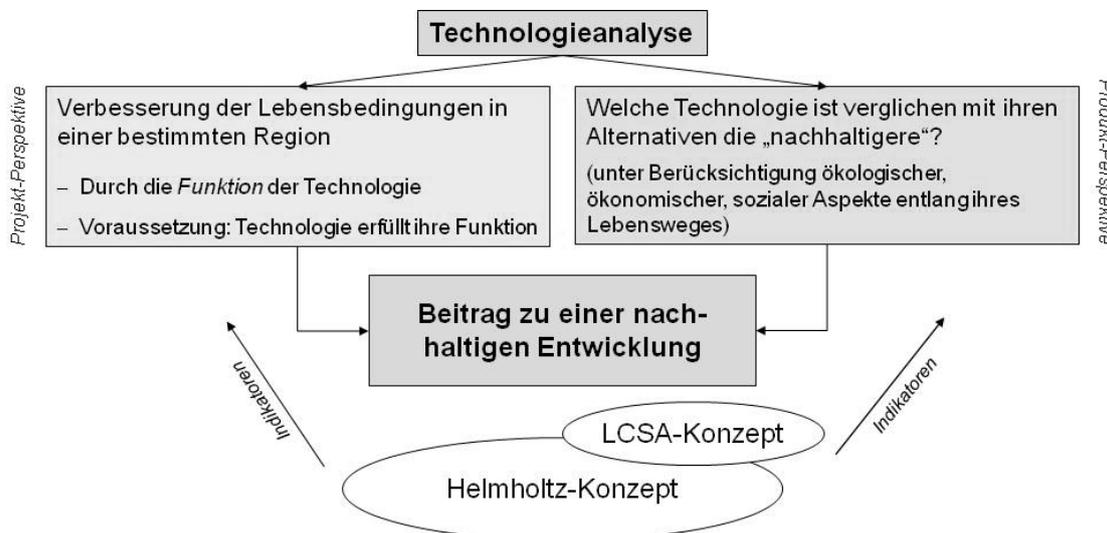
2.3 LCSA- und Helmholtz-Konzept im IWRM-Indonesien Projekt

Im Rahmen des IWRM-Indonesien Projekts wurden/werden angepasste Technologien der Wassergewinnung, -verteilung, -aufbereitung sowie Abwasserbehandlung entwickelt und implementiert (IWRM 2011). In einem vom ITAS koordinierten Teilprojekt erfolgte begleitend eine Nachhaltigkeitsanalyse basierend auf dem Helmholtz-Konzept. Bestandteil dieses Teilprojekts war u. a. diese Dissertation.

Weder das Helmholtz- noch das LCSA-Konzept wurden bislang zur Nachhaltigkeitsanalyse im Rahmen von IWRM-Projekten angewendet. Die oben adressierten komplementären Perspektiven bei der Analyse von Technologien hinsichtlich ihres Beitrags zu einer nachhaltigen Entwicklung sind in Abbildung 1 verdeutlicht. Die Implementierung und Nutzung von Technologien kann zu einer Überwindung von Nachhaltigkeitsdefiziten in einer Region führen – sofern die Rahmenbedingungen gegeben sind oder Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit diese Technologien auch tatsächlich funktionieren und möglichst wenig „unerwünschte Nebenwirkungen“ auftreten. Dieser Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung in einer Region (*Projektperspektive*) kann mit Indikatoren des Helmholtz-Konzepts beschrieben werden. Die Definition der funktionellen Einheit, dem „quantifizierten Nutzen“ (ISO 14044 2006), ist Ausgangspunkt der LCSA: Als Vergleichseinheit ermöglicht sie die Analyse alternativer (funktionsgleicher) Technologien.

Das aus der Funktion hervorgehende Nachhaltigkeitspotenzial ist damit für die betrachteten

Abb. 1: Beitrag von Technologien zu einer nachhaltigen Entwicklung aus *Projekt- und Produktperspektive* und mögliche Anwendung von Helmholtz- und LCSA-Konzept zur Technologieanalyse



Quelle: nach Lehmann 2013

Technologiealternativen gleich; die „Nebenwirkungen“ können aber unterschiedlich sein. Die Identifizierung der „nachhaltigeren“ Technologie mithilfe der LCSA-Methoden, d. h. der Technologie, die verglichen mit ihren Alternativen die beste ökologische, ökonomische und soziale Performance entlang ihres Lebensweges aufweist, leistet aus *Produktperspektive* einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung.

3 Forschungsansatz

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden sowohl das LCSA- und als auch das Helmholtz-Konzept bzgl. ihrer Anwendung für vergleichende Technologieanalysen untersucht. Hierbei wurde Forschungsbedarf auf verschiedenen Ebenen identifiziert und in folgenden Teilschritten bearbeitet: 1) Konkretisierung der Anwendung der LCSA-Methoden im Rahmen des Helmholtz-Konzepts, 2) Analyse der Anwendbarkeit des SLCA (der „jüngsten“ der LCSA-Methoden) und 3) Diskussion der Definition der funktionellen Einheit vor dem Hintergrund der Nutzung von Synergien im LCSA- und Helmholtz-Konzept. Die Bearbeitung dieser Teilschritte führte zur Entwicklung des sog. *Integrierten Ansatzes zur vergleichenden Technologieanalyse*.

4 Ergebnisse – Integrierter Ansatz zur vergleichenden Technologieanalyse

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse des Integrierten Ansatzes vorgestellt.

4.1 Konkretisierung der Anwendung der LCSA-Methoden im Helmholtz-Konzept

Die Methoden der LCSA werden im Helmholtz-Konzept als Analyseinstrumentarien verstanden. Die Bezüge zwischen den LCSA-Ergebnissen und Helmholtz-Nachhaltigkeitszielen und -Regeln wurden jedoch bislang noch nicht formuliert. Dies erfolgte erstmalig in der hier vorgestellten Dissertation und führte so zu einer Konkretisierung der Anwendung von LCSA-Methoden (und die Möglichkeit für eine integrative Betrachtung der LCSA-Ergebnisse) im Helmholtz-Konzept: So adressieren die LCA-Wirkungskategorien (z. B. Treibhauseffekt) vorrangig die Regeln des zweiten Nachhaltigkeitsziels (Erhaltung des gesellschaftlichen Produktionspotenzials), die LCC-Indikatoren (z. B. Anschaffungskosten einer Technologie für den Nutzer) z. T. das erste Nachhaltigkeitsziel (Sicherung der menschlichen Existenz) und die SLCA-Kategorien (z. B. Gesundheit) insbesondere die Regeln des ersten und dritten Nachhaltigkeitsziels (Bewahrung der

Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten). Durch die Darstellung der Bezüge zwischen den Elementen des LCSA- und des Helmholtz-Konzepts wurde gezeigt, dass die LCSA Indikatoren für eine vergleichende Technologieanalyse im Helmholtz-Konzept liefern kann – und damit den in Kopfmüller et al. (2001) exemplarisch vorgeschlagenen und nicht eigens für Technologien entwickelten Fundus an Indikatoren zur Beschreibung der Helmholtz-Regeln komplementiert. Gleichzeitig ermöglichen die dargestellten Bezüge die Interpretation von LCSA-Ergebnissen im Kontext des Helmholtz-Konzepts.

4.2 Anwendbarkeit der SLCA für vergleichende Technologieanalysen

Der SLCA-Ansatz der Guidelines (UNEP/SETAC 2009) adressiert zahlreiche soziale Aspekte, von denen die meisten abhängig vom Verhalten involvierter Unternehmen sind. Da die Unternehmen aber, v. a. im Rahmen von Projekten mit Entwicklungskontext, oft (noch) nicht bekannt sind, kann der Großteil der sozialen Aspekte vorerst nur mit Sektor- oder Länderdaten, z. B. aus der Social Hotspot Database (SHDB 2011), beschrieben werden. Für vergleichende Technologieanalysen sind sie jedoch nicht geeignet. Vielmehr sind hierfür solche Aspekte relevant, die auch unabhängig vom Verhalten der Unternehmen sind, d. h. einen direkten Technologiebezug zeigen, in den SLCA-Guidelines aber nur geringfügig adressiert werden (z. B. Arbeitsaufwand etc.).

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, basiert die Analyse alternativer Technologien mit dem LCSA-Konzept auf der Annahme ihrer theoretischen „Funktionsgleichheit“. Praktisch ist die Gewährleistung der Funktion (und damit die potenzielle Eignung der Technologie zur Überwindung von Nachhaltigkeitsdefiziten) jedoch wesentlich von Rahmenbedingungen bestimmt, weshalb gerade bei einer Anwendung von LCSA für Nachhaltigkeitsanalysen in Projekten mit Entwicklungskontext, zusätzliche – Implementierungsbedingungen adressierende – Aspekte betrachtet werden sollten. Tabelle 1 schlägt exemplarisch Indikatoren zur Erweiterung der SLCA-Methode vor.

Tab. 1: Beispiele für zusätzliche Indikatoren zur Beschreibung sozialer Aspekte in Zusammenhang mit der Implementierung von Technologien und Ausprägung im IWRM-Projekt

<i>Indikatoren</i>	<i>Ausprägung im IWRM-Untersuchungsgebiet</i>
Existieren Verantwortlichkeiten für die Technologie (z. B. Institutionen); sind diese klar definiert?	Wasserversorgung, -verteilung und -aufbereitung: z. T. überlappend und nicht eindeutig definiert
Vertrauen der Bevölkerung in Institutionen, die z. B. für die Technologien verantwortlich sind	Eher geringes Vertrauen der Bevölkerung in öffentliche Institutionen
Fluktuation des Personals (Ausmaß)	Hohe Fluktuation → möglicher Verlust an Wissen, wechselnde Verantwortlichkeiten

Quelle: Lehmann 2013

4.3 Funktionelle Einheit

Durch die funktionelle Einheit wird festgelegt, welche (obligatorischen) Eigenschaften Technologien haben müssen, um als relevante Alternativen für LCSA-Studien zu gelten.

Aus LCSA-Perspektive können theoretisch Aspekte (v. a. soziale, ökonomische), die die Eignung einer Technologie im Untersuchungsgebiet beschreiben (und damit auch die Implementierungswahrscheinlichkeit adressieren), als zusätzliche Eigenschaften – neben der *Kernfunktion* – in die funktionelle Einheit integriert werden. Die hierfür erforderlichen Informationen können z. B. unter Berücksichtigung von Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung – abgeleitet aus den Helmholtz-Regeln – und entsprechenden Analysen gewonnen werden (z. B. sozioökonomische Analysen im Untersuchungsgebiet). Die Integration solcher Eigenschaften in die funktionelle Einheit spezifiziert die möglichen Technologiealternativen (und verringert damit ihre Anzahl). Methodisch zeigt sie eine Möglichkeit auf, wie verschiedene Analysemethoden zur Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien komplementär genutzt werden können.

Operativ betrachtet sind Informationen zur Eignung einer Technologie jedoch vor LCSA-

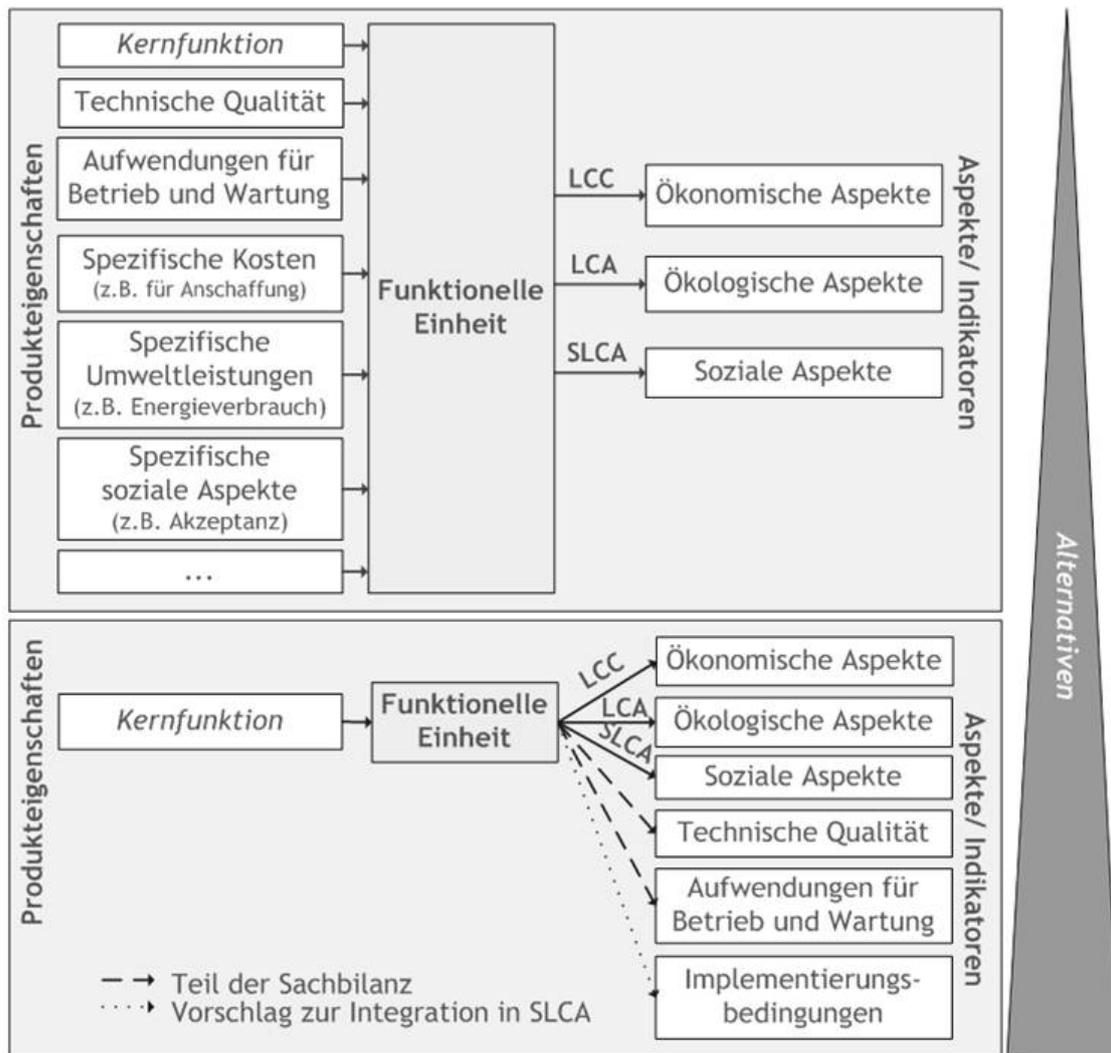
Studien nicht immer bekannt und sollten daher über geeignete Indikatoren erhoben werden: Die LCC liefert hierzu mit ökonomischen Indikatoren, wie z. B. Anschaffungs- und Betriebskosten relevante Informationen. Die in den SLCA-Guidelines betrachteten Aspekte und Indikatoren sind dagegen derzeit nur bedingt zur Beschreibung von Eigenschaften anwendbar, die die Eignung oder Implementierungsbedingungen einer Technologie adressieren, weshalb zusätzliche Indikatoren aufgenommen werden sollten (vgl.

Tab. 1). Beide Ansätze der Definition der funktionellen Einheit sind in Abbildung 2 dargestellt.

5 Zusammenfassung

Die Dissertation liefert Antworten zur Umsetzung einer lebenszyklusbasierten Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien. Basierend auf dem LCSA-Konzept wird unter Berücksichtigung des Helmholtz-Konzepts ein *Integrierter Ansatz zur vergleichenden Technologieanalyse*

Abb. 2: Möglichkeiten der Definition der funktionellen Einheit und Einfluss auf die Anzahl der Technologiealternativen zur Analyse mit LCSA-Methoden



Oben: Integration mehrerer (obligatorischer) Eigenschaften in die funktionelle Einheit.

Unten: Funktionelle Einheit enthält nur die Kernfunktion.

Quelle: Lehmann 2013

se vorgeschlagen. Dieser Ansatz wurde unter Berücksichtigung der IWRM-Fallstudie entwickelt und wird in dieser angewendet, ist jedoch prinzipiell für eine lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien auch über den Entwicklungskontext hinaus anwendbar. Der vorgestellte Ansatz ist relevant, weil er zum einen die Anwendbarkeit einzelner Methoden (z. B. SLCA) analysiert und Vorschläge zur Erweiterung dieser macht und zum anderen aufzeigt, wie Synergien zwischen dem LCSA- und Helmholtz-Konzept genutzt werden können. Die LCSA liefert z. B. konkrete Indikatoren zur vergleichenden, lebenszyklusbasierten Technologieanalyse. Die Helmholtz-Regeln dienen als Orientierungsrahmen, z. B. für die Auswahl der Technologiealternativen und für deren Analyse.

Neben Informationen, die im Rahmen der Entscheidungsunterstützung innerhalb des IWRM-Indonesien-Projekts sowie hinsichtlich eines potenziellen Technologietransfers genutzt werden können, liefert diese Arbeit ein Beispiel zur Anwendung zweier Konzepte zur Nachhaltigkeitsanalyse in einem neuen Kontext, nämlich der Technologieanalyse zur Entscheidungsunterstützung, z. B. in Projekten im Entwicklungskontext.

Anmerkungen

- 1) Für weiterführende Informationen sei auf Lehmann 2013 verwiesen.
- 2) Dies gilt für fast alle existierenden LCA- sowie für alle existierenden SLCA- und LCC-Studien (und folglich auch für LCSA-Studien).

Literatur

- Finkbeiner, M.; Schau, E.M.; Lehmann, A. et al.*, 2010: Towards Life Cycle Sustainability Assessment. In: *Sustainability* 2 (2010), S. 3309–3322
- Fleischer, T.; Grunwald, A.*, 2002: Technikgestaltung für mehr Nachhaltigkeit – Anforderungen an die Technikfolgenabschätzung. In: Grunwald, A. (Hg.): *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung*. Band 4. Berlin
- ISO 14044*, 2006: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. International Standard Organisation. Genf

IWRM – Integriertes Wasserressourcen-Management, 2011: BMBF-Verbundprojekt IWRM Indonesien; <http://www.iwrm-indonesien.de>

Kopfmüller, J.; Brandl, V.; Jörissen, J. et al., 2001: Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet – Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren. *Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland*. Band 1. Berlin

Kopfmüller, J., 2006: Das integrative Konzept nachhaltiger Entwicklung: Motivation, Architektur, Perspektiven. In: Kopfmüller, J. (Hg.): *Ein Konzept auf dem Prüfstand*. Band 12. Berlin

Lehmann, A., 2013: *Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse von Technologien: Am Beispiel eines Projekts zum Integrierten Wasserressourcenmanagement*. Dissertation. Technische Universität Berlin; <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/3759> (download 18.3.14)

SHDB – Social Hotspot Database, 2011: Social Hotspot Database; <http://socialhotspot.org/>

Swarr, T.; Hunkeler, D.; Kloepffer, W. et al., 2011: *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*. Pensacola, FL

UNEP – United Nations Environment Programme, SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2009: *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. UNEP/SETAC LCI

UNEP – United Nations Environment Programme, SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2011: *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment – Making Informed Choices on Products*. UNEP/SETAC LCI

Kontakt

Dr. Annekatriin Lehmann
 Institut für Technischen Umweltschutz
 Fachgebiet Sustainable Engineering
 Technische Universität Berlin
 Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin
 Tel.: +49 30 314-79501
 E-Mail: annekatrin.lehmann@tu-berlin.de

