



Flächennutzungsmonitoring XI Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün

IÖR Schriften Band 77 · 2019

ISBN: 978-3-944101-77-4

Wirkungsabschätzung von Flächenbelegungen in Ökobilanzen: Arbeitsstand einer Methoden- entwicklung

Daniel Reißmann, Horst Fehrenbach

Reißmann, D.; Fehrenbach, H. (2019): Wirkungsabschätzung von Flächenbelegungen in Ökobilanzen: Arbeitsstand einer Methodenentwicklung. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XI. Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 77, S. 287-296.

Wirkungsabschätzung von Flächenbelegungen in Ökobilanzen: Arbeitsstand einer Methodenentwicklung

Daniel Reißmann, Horst Fehrenbach

Zusammenfassung

Die Ökobilanz hat unter den in Anwendung befindlichen Umweltbewertungsmethoden einen besonderen Stellenwert und ist zwischenzeitlich bereits in einigen Gesetzen verankert. Für die Betrachtung der Flächennutzung in Ökobilanzen ist eine allgemein anerkannte methodische Lösung bislang allerdings noch nicht vorhanden. Zwar gibt es erste Ansätze, doch wird dabei auch der Bedarf an methodischer Erweiterung und insbesondere die Verbesserung der Datengrundlagen herausgestellt. Dieser Beitrag thematisiert eine Methodenentwicklung am Umweltbundesamt zur Berücksichtigung von temporärer Flächenbelegung und direkter sowie indirekter Flächennutzungsänderung von Produkten und Dienstleistungen im Rahmen der Ökobilanzierung. Zentraler Bestandteil ist die qualitative Bewertung der Flächennutzung und -änderung anhand von Charakterisierungsfaktoren auf Basis eines erweiterten Hemerobieansatzes. Die bisher erarbeitete Methode wurde u. a. für Biogas testweise angewendet, allerdings steht eine umfangreiche Erprobung noch aus. Dieser Beitrag stellt den bisherigen Arbeitsstand vor.

1 Hintergrund und Ziele

Die Ökobilanzierung bietet die Möglichkeit, systemübergreifende Analysen und Bewertungen unter Einbezug zahlreicher Umweltwirkungen zu erstellen. Mit dem Lebenswegprinzip können alle Arten von Produkten und Dienstleistungen umfassend bilanziert werden (Klöpffer, Grahl 2014). Dabei wird grundsätzlich das in Abbildung 1 skizzierte Prinzip zugrunde gelegt, d. h. auf Basis der Daten aus der sogenannten Sachbilanz wird anhand einer Wirkungskategorie und derer zugrundeliegenden Charakterisierungsfunktion ein Wirkungsindikator abgeleitet der die potenzielle Umweltwirkung eines Produkts oder einer Dienstleistung abbildet.

Abb. 1: Kernelemente der ökobilanziellen Bewertung (Quelle: eigene Darstellung)



Für die „klassischen“ Umweltwirkungen der Ökobilanz (z. B. Eutrophierung), die zu meist von Stoffströmen (Inputs, Outputs bez. Emissionen) beschrieben werden, sind im Wesentlichen weitläufig anerkannte Methoden und Ansätze in Anwendung (Klöpffer, Grahl 2014).

Für die Bewertung der Flächennutzung existiert abseits der reinen Sachbilanzierung (z. B. Hektar in Anspruch genommener Fläche) bislang in Ökobilanzen allerdings keine anerkannte allgemeine methodische Lösung (Curran et al. 2016; Winter et al. 2017). Dennoch ist zu erkennen, dass dem Thema in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit in der internationalen Fachszene gewidmet wurde und wird. Die UNEP/SETAC-Life Cycle Initiative hat es zu einem wesentlichen Schwerpunkt erhoben und hat mit der im Januar 2017 veröffentlichten „Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators“ auch für die Bewertung der Flächennutzung die Methode und Charakterisierungsfaktoren zugänglich gemacht. Daneben existieren zahlreiche weitere Ansätze (z. B. Schmitz, Paulini 1999; Chaudary, Brooks 2018; Lindner et al. 2019; de Baan et al. 2013; Brandão, Mila y Canals 2012; Koellner et al. 2013; Beck et al. 2010).

Auch im Umweltbundesamt haben Arbeiten zur sogenannten vereinfachten Umweltbewertung (VERUM) versucht, das Thema aufzugreifen und geeignete Wirkungskategorien und Indikatoren für temporäre Flächeninanspruchnahme und direkte und indirekte Flächennutzungsänderungen bei Produkten und Dienstleistungen zu erarbeiten (Berger, Finkbeiner 2017). Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten knüpfen daran an. Das übergreifende Ziel ist, eine für die Ökobilanz geeignete Methode zur Abbildung der Umweltwirkungen von Flächennutzung und Flächennutzungsänderungen zu erarbeiten, die über die bisherige sachbilanzielle Erfassung hinaus geht und die alle Schritte gemäß Abbildung 1 abdeckt. Darüber hinaus sollen geeignete Datenquellen ermittelt und Daten erhoben, die Methode anhand von Fallbeispielen erprobt und die Anschlussfähigkeit der Basis- und Metadaten an geeignete Datenbanken (z. B. ProBas) sichergestellt werden. Eine künftige regelmäßige Datenpflege wird zudem angestrebt. Da das Vorhaben noch nicht abgeschlossen ist, stellt der hiesige Beitrag die wichtigsten Punkte des aktuellen Bearbeitungsstandes dar.

2 Bisherige methodische Arbeiten

Die aktuellen methodischen Arbeiten haben sich vor allem auf die Erarbeitung einer Methodik zur Erfassung der temporären Flächenbelegung und deren Charakterisierung im Rahmen der Wirkungsabschätzung und erste Erprobungen anhand von Fallbeispielen konzentriert, weshalb die folgenden Kapitel darauf fokussieren werden. Im Weiteren sollen methodische Arbeiten zur Darstellung von direkten und indirekten Flächennutzungsänderungen stärker in den Blick genommen werden. Dieser Beitrag wird diesen Bereich aufgrund des derzeitigen Arbeitsstandes im Vorhaben allerdings nicht näher betrachten.

2.1 Methodische Anforderungen und Bestandteile

Die in Erarbeitung befindliche Methodik soll folgende Anforderungen (Tab. 1) erfüllen, um die Umweltwirkungen der Flächenbelegungen sowie Flächennutzungsänderungen durch Produkte und Dienstleistungen (Lebenszyklusbasiert) möglichst ganzheitlich abzubilden:

Tab. 1: Methodische Anforderungen (Quelle: eigene Erarbeitung)

Methodische Anforderungen	Kurzerläuterungen
Berücksichtigung temporärer Flächenbelegungen im Lebenszyklus	Einem Produkt oder einer Dienstleistung ist nur die Fläche als Belegung anzurechnen, die nicht für eine andere Nutzung (d. h. für die Bereitstellung anderer Produkte oder Dienstleistungen) zur Verfügung steht.
Berücksichtigung indirekter und direkter Flächennutzungsänderungen im Lebenszyklus	Betrachtet wird der der Nutzung vorausgehende Zustand der Fläche in Gegenüberstellung mit dem Zustand bei der Nutzung. Der Bereitstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung wird außerdem die mit seiner Bereitstellung verursachte Veränderung der Kategorie (Hemerobiestufe) auf der betroffenen Fläche (direkt) und an anderer Stelle (indirekt) zugerechnet.
Charakterisierung der erhobenen Daten zur Flächenbelegung und zu Flächennutzungsänderungen anhand des Hemerobiekonzepts	In der Landschaftsökologie drückt Hemerobie „Naturferne“ aus. Für die Ökobilanzierung wurde das Konzept unter anderem in der UBA-Bewertungsmethode (Schmitz, Paulini 1999) als Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“ weiterentwickelt und soll daher auch in der hier zu entwickelten Methode Anwendung finden, allerdings auch entsprechend weiterentwickelt werden.

Wie bereits erwähnt, wird dieser Beitrag ausschließlich auf die temporäre Flächenbelegung und deren Charakterisierung fokussieren. Die folgenden Unterkapitel werden daher auf diese Aspekte näher eingehen.

2.2 Sachbilanz: Ermittlung der temporären Flächenbelegung

In der vorliegenden Studie wird die Flächenbelegung im Kontext der Methodik „Ökobilanz“ nach ISO 14040/14044 diskutiert. Das bedeutet, es sind ausgehend vom zu untersuchenden Wirtschaftsgut eine dem Ziel der Ökobilanz angemessene funktionelle Einheit sowie ein Referenzfluss zu definieren, auf die sich alle Sachbilanzdaten beziehen. Die belegte Fläche ist ein Sachbilanzdatum. Die Systemgrenzen (technisch, geographisch und zeitlich) müssen dabei klar definiert sein. Die Ökobilanz untersucht keine Naturräume an sich, sondern ist eine Methodik, umweltbezogene Lasten und deren potenzielle Wirkungen, die mit der Produktion von Wirtschaftsgütern verbunden sind, zu untersuchen. Werden Flächen beispielsweise zur Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzt, wird die Fläche mit dem entsprechenden Aufwuchs immer vom unbeeinflussten Zustand entfernt sein.

2.2.1 Funktionelle Einheit, Referenzfluss und zeitliche Systemgrenze

Die funktionelle Einheit ist eine Bezugsgröße für den Nutzen des Produktionssystems mit Bezugnahme auf die In- und Outputflüsse aus der Sachbilanz (Peyrl 2014). Die Definition der funktionellen Einheit bei materiellen Produkten und Dienstleistungen unterscheidet sich allerdings grundsätzlich. Eine Dienstleistung ist als ein immaterielles Gut anzusehen, in dessen Mittelpunkt eine Leistung steht, welche zur Bedarfsdeckung erbracht wird. Es wird eine Fläche gebraucht, auf der die Dienstleistung erbracht werden kann sowie materielle Güter, ohne die die Dienstleistung nicht erbracht werden kann. In diesem Fall ist die klare Definition des Bedarfs zentral zur Ableitung einer funktionellen Einheit. Anhand des folgenden Beispiels (Tab. 2) für die Produktion von Buchenparkett und damit aus dem Kontext der Nutzung von Wald wird verdeutlicht, wie schrittweise Sachbilanzdaten zur temporären Belegung für ein Produkt generiert werden können:

Tab. 2: Beispiel für das schrittweise Vorgehen zur Generierung der Sachbilanzdaten (Quelle: eigene Erarbeitung)

Nr.	Schritt bei der Generierung der Sachbilanzdaten
1	Zunächst interessierte nur die Produktion von Holz auf einer Waldfläche. Die Qualität dieser Fläche wird in einem weiteren Schritt eingeordnet.
2	Beschreibung der funktionellen Einheit: Belegung einer definierten Fußbodenfläche in einem Gebäude mit einem Bodenbelag definierter Haltbarkeit für einen definierten Zeitraum.
3	Referenzfluss: Es wird errechnet, wie viel Buchenparkett zur Erfüllung der Funktion erforderlich ist.
4	Ausgehend davon wird errechnet, wie viel Holz unter den definierten Produktionsbedingungen des Parketts erforderlich ist (z. B. Verschnitte, Qualität des erforderlichen Holzes).
5	Ausgehend davon wird errechnet, welche Fläche in einem Wald für den Aufwuchs dieser Holzmenge erforderlich ist. Hier ist bereits eine Spezifikation des Waldtyps und der Erntemethode erforderlich. Welche Fläche soll beispielsweise bei Einzelstammentnahme zugrunde gelegt werden? Insofern ist die Quantifizierung der Sachbilanzgröße „Fläche“ nicht trivial. Es müssen vermutlich Konventionen festgelegt werden.
6	Entsprechend der geographischen Systemgrenze wird die geographische Lage der Holzerntefläche definiert.
7	Entsprechend der Gliederung des gewählten Charakterisierungsmodells wird die Flächenqualität definiert.

Anhand dieses Beispiels wird im Folgenden die Vorgehensweise zur Zuordnung der Flächengröße zur Masse Holz im Produkt beschrieben. Als Basisdatum kann die Grundfläche eines Baumes verwendet werden. Unter Grundfläche ist diejenige Fläche zu verstehen, die der Stamm belegt. Beispiel Buche: Die spezifische Grundfläche von Buchen in einem natürlich gewachsenen Buchenwaldsystem beträgt 35,5 m²/ha. Bei einer solchen Dichte von Bäumen ist davon auszugehen, dass sich die Bäume untereinander nicht stören. In dieser Zahl sind dicke (alte) und dünne (junge) Bäume enthalten. Zur weiteren Berechnung werden folgende Schritte durchgeführt:

1. Ausgehend vom Produktdatum „Ein Quadratmeter Buchenparkett“ kann berechnet werden, wie viele Festmeter Buchenholz (m^3) zur Produktion benötigt werden.
2. Ausgehend von der spezifischen Grundfläche kann berechnet werden, welche tatsächliche Grundfläche für die benötigten Festmeter erforderlich ist.
3. Ausgehend von der tatsächlichen Grundfläche kann berechnet werden, wie viele Hektar als Sachbilanzdatum eingehen.

Um die Systemgrenzen klar zu definieren, ist allerdings auch der zeitliche Erfassungsbereich wesentlich. Im hiesigen Beispiel, muss das aus dem Wald/Forst für die Produktion entnommene Holz je nach Produkt, welches daraus hergestellt werden soll, unterschiedliche Qualitätsanforderungen erfüllen (z. B. Holzart, Dicke des Stamms, Wuchsform des Stamms). Die Umtriebszeit, die durchschnittliche Dauer der Entwicklung eines Waldes bis hin zu seiner Ernte, ist eine Orientierungsgröße für die Mindestdauer der Belegung einer Fläche. Die Umtriebszeiten unterscheiden sich von Art zu Art jedoch erheblich, was es zu beachten gilt. Unabhängig vom Produktionssystem Forstwirtschaft gilt allgemein, dass das hier zugrundeliegende Charakterisierungsmodell „Naturfernepotenzial“ (Kapitel 2.3), je nach Charakteristik der abiotischen Umweltfaktoren, der derzeitigen Nutzungsart und der Lebensgemeinschaft auf der Fläche (Biotop und Biozönose) angepasste zeitliche Erfassungsbereiche zur Abschätzung der Naturferne benötigt.

2.3 Wirkungsabschätzung: Hemerobie und Naturfernepotenzial

Schmitz & Paulini (1999) haben als Schutzgut die Struktur und Funktion von Ökosystemen determiniert, die es mit der Maßeinheit Naturnähe von Flächen zu quantifizieren gilt. Zur Messung dient dabei die negative Größe Naturferne (Hemerobie). Auch in dieser Arbeit wird auf dieses Grundverständnis zurückgegriffen, wobei die Methodik weiterentwickelt wird. Wesentlich ist, dass es sich bei der Betrachtung von Flächen in Ökobilanzen immer um produktive Flächen handeln muss, da Produkte oder Dienstleistungen bilanziert werden. Eine völlig unberührte Fläche, welche am naturnächsten ist, kann in diesem Kontext nicht als Grundlage dienen. Daher bezieht sich das Begriffsverständnis auf ein grundsätzliches „Sich selbst überlassen“ von natürlichen Abläufen im entsprechenden Produktionssystem als naturnächste Form im Kontext der Bewertung. Dieses Verständnis schließt eine Nutzung nicht aus, sondern erlaubt eine stufenweise Bewertung eines mehr oder weniger ausgeprägten „sich selbst Überlassens“ und dient im Rahmen des Hemerobie-Konzepts als Leitbild für die Naturnähe.

Die Eigenschaften der Naturnähe sind zu vielschichtig, um sie mit einem einzigen messbaren Parameter ausdrücken zu können. Für das Konzept der Hemerobie hat sich folglich die Anwendung ordinaler Klassen durchgesetzt. Die Reduktion der Komplexität auf einen einzigen messbaren Parameter, wie auf einer kardinalen Skala, wird bewusst vermieden. Jedes numerisch präzise angegebene Indikatorergebnis würde eine scheinobjektivierte Genauigkeit suggerieren, die die Wissenschaft hier nicht liefern kann.

Die Zuordnung von Flächen zu Hemerobieklassen erfolgt anhand einer Systematik von Kriterien und Messgrößen. Um der Vielfältigkeit der Flächenzustände gerecht zu werden, muss das Kriterien-System flächenbezogene Informationen möglichst breit abfragen, allerdings in der Datenerhebung praktikabel bleiben. In Ökobilanzen wird i. d. R. nicht eine einzige konkrete Fläche untersucht, sondern ein generisches Datum für z. B. das Produkt ein Kilogramm Weizenmehl benötigt. Entscheidend sind die Flächen auf denen produziert wird (z. B. forstlich genutzter Wald, Agrarland, Bergbau) oder die anderweitig innerhalb der Systemgrenze genutzt werden (z. B. Deponie, Siedlungen). Diese Flächen werden je nach Ergebnis des Punktwertverfahrens (Abb. 2) in die Hemerobieklassen II bis VII einsortiert. Abbildung 2 zeigt die Systematik zur Einordnung der Flächen in Hemerobieklassen.

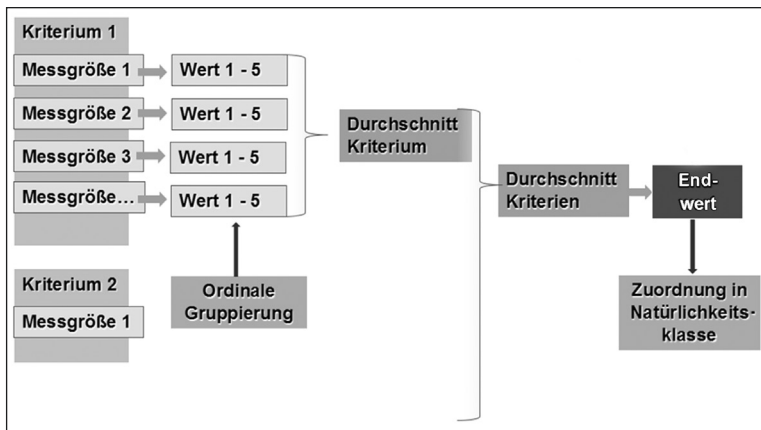


Abb. 2: Struktur des messgrößenbasierten Punktwertverfahrens (Quelle: eigene Darstellung nach Fehrenbach et al. 2015)

Der hier vorgestellte Ansatz fokussiert auf einer Beurteilung der Flächenqualität wie sie vorliegt und verwendet wird als Einheit der Flächennutzung: Fläche x Nutzungszeit [$m^2 \cdot a$]. Die Daten werden auf ein Jahr bezogen. Bei Bedarf müssen Zurechnungsregeln (Allokationsregeln) definiert werden.

Auf Basis der Sachbilanzdaten und der Zuordnung der Flächen in die jeweilige Hemerobiekategorie, wird nun der eigentliche Wirkungsindikator, das Naturfernepotenzial (NFP), abgeleitet. Die Ableitung des NFP erfolgt in zwei Schritten und ist bei Fehrenbach et al. (2015) sowie Detzel et al. (2016) ausführlich beschrieben: (i) Bestimmung der maximalen Spanne zwischen den Charakterisierungsfaktoren der Flächenkategorien und (ii) Bestimmung der Abstände zwischen den Klassen. Zur Ableitung des NFP dient schließlich folgende Charakterisierungsfunktion, welche allerdings unter Änderungsvorbehalt steht und Bestandteil aktueller Diskussionen im Vorhaben ist.

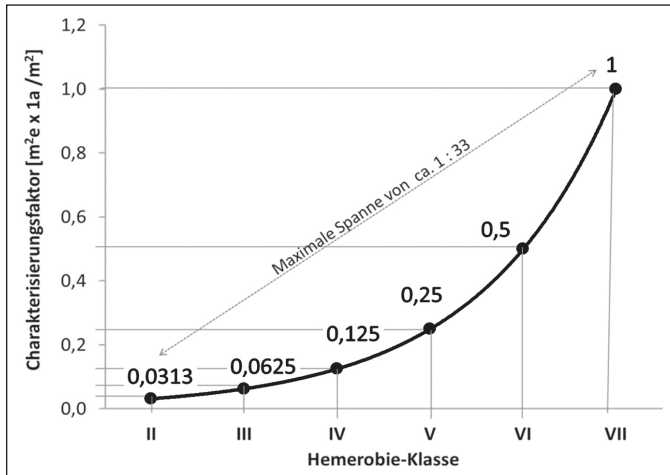


Abb. 3: Zuordnung von Charakterisierungsfaktoren zu den einzelnen Hemerobieklassen (Quelle: eigene Darstellung nach Fehrenbach et al. 2015)

3 Ergebnisse einer Probeanwendung

Das folgende Beispiel aus dem Bereich der Biogaserzeugung dient zur Veranschaulichung des Nutzeffektes der NFP-Charakterisierungsmethodik. Verglichen werden hierzu zwei verschiedene Produktionssysteme: (i) Basis Maissilage (aus intensivem Maisanbau) und (ii) Basis Grassilage (von extensivem Grünland).

In der reinen Sachbilanz (in Quadratmeter) wird auf Basis Mais für ein Megajoule Gas weniger Fläche beansprucht. Wird ergänzend die Flächenqualität berücksichtigt, führt die höhere Flächeninanspruchnahme durch das Extensivgrünland zu einem insgesamt geringeren Naturfernepotenzial (Abb. 4). Tabelle 3 gibt einen Überblick über die zugrundeliegenden Daten.

Tab. 3: Beispielhafte Daten für die Bestimmung von Flächenbedarf und Naturfernepotenzial (NFP) für Biogas aus Mais und Grasschnitt (Quelle: eigene Zusammenstellung)

Kategorie	Mais (Ganzpflanzensilage)	Grassilage (Extensivgrünland)	Einheit
Ernteertrag	41 000	20 000	kg / (ha · a)
Siliverluste	10 %	10 %	
Biogasertrag	4,23	3,6	MJ / kg Silage
Flächenbedarf (Sachbilanz)	0,064	0,154	m² · 1a / MJ Biogas
Hemerobie der Anbauflächen (Schätzung)	10 % Klasse V 90 % Klasse VI	80 % Klasse IV 20 % Klasse V	
Naturfernepotenzial (NFP)	0,0304	0,0232	m²e · 1a/MJ

Abbildung 4 veranschaulicht die Wirkung der NFP-Charakterisierung grafisch.

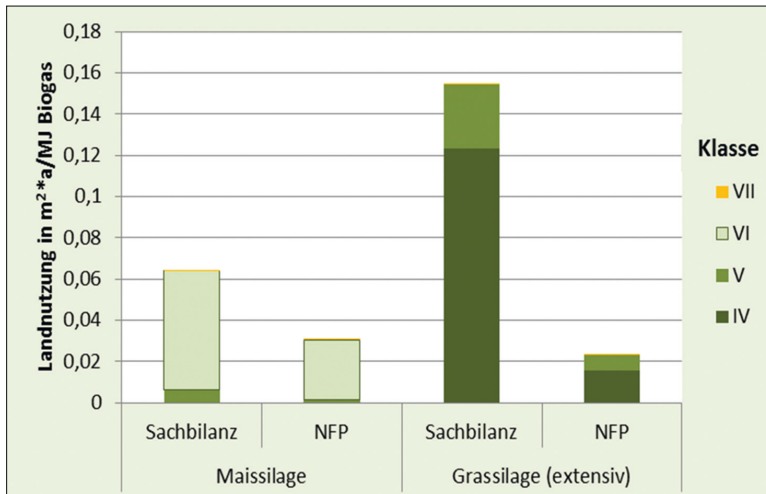


Abb. 4: Vergleich der reinen Sachbilanz mit der Charakterisierung gemäß NFP für Biogas aus Mais und Grasschnitt (Quelle: eigene Darstellung)

4 Fazit

Vielmehr als bei anderen Umweltwirkungen stellt sich bei Fläche und Naturraum bereits zu Beginn die Frage, was genau geschützt werden soll. Geht es um die Erhaltung der Biodiversität, um die Bewahrung von Ökosystemdienstleistungen, fruchtbaren Böden oder Naturnähe? Jede dieser Antworten ist möglich und zulässig und erfordert unterschiedliche Methoden.

Dem hier vorgestellten Ansatz liegt das Schutzgut „Natürlichkeit“ zugrunde. Hemerobie wird als geeignete Basis eines Charakterisierungsmodells erachtet. Sie drückt das Maß menschlicher Beeinflussung auf einen Naturraum bzw. eine Fläche aus und ihren Abstand zu einem unbeeinflussten Zustand.

Die Bestimmung der Hemerobie erfolgt über multikriterielle Messvorschriften und führt zu einer Zuordnung der bewerteten Flächen in ein System ordinaler Klassen (I bis VII). Dies steht im vollen Einklang mit der Vorgehensweise der relevanten Fachwissenschaft im Umgang mit Hemerobie.

Das dargestellte Konzept ist anwendungsbereit für nahezu jede Art von Flächennutzung im mittel- bis nordeuropäischen Raum. Bedarf zur Erweiterung besteht für weitere Regionen der Welt, in erster Linie für solche, in denen biogene Rohstoffe für die globale Stoffstromwirtschaft erzeugt werden. Ziel ist ein über Europa hinausgehender Ausbau des Ansatzes zur Berücksichtigung der Naturraumbeanspruchung und der differenzier-

ten Beurteilung der Umweltlasten nachwachsender Rohstoffe in globalen Lieferketten innerhalb von Ökobilanzen. Zudem werden methodische Weiterentwicklungen, etwa beim Charakterisierungsmodell und der Bewertung von anthropogen sehr stark geprägten Flächen (z. B. Deponien), angestrebt. In einem zweiten Bewertungsablauf, der allerdings getrennt von der Betrachtung der temporären Flächenbelegung erfolgt, wird zudem eine Methode für die Bewertung direkter und indirekter Flächennutzungsänderungen erarbeitet werden.

5 Literatur

- AdV – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2003): ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK). Teil D1, Version 3.2, Stand 01.07.2003. Teilkatalog Basis-DLM.
http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/ok_d1.pdf (Zugriff: 13.07.2010).
- de Baan, L.; Alkemade, R.; Koellner, T. (2013): Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. *Int J Life Cycle Assess* (2013) 18: 1216-1230.
- Beck, T.; Bos, U.; Wittstock, B.; Baitz, M.; Fischer, M.; Sedlbauer, K. (2010): LANCA – land use indicator value calculation in life cycle assessment. Fraunhofer, Stuttgart.
- Berger, M.; Finkbeiner, M. (2017): Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0). UBA – Projektnummer 48059. TEXTE 28/2017.
- Brandão, M.; Milà i Canals, L. (2013): Global characterisation factors to assess land use impacts on biotic production. *Int J Life Cycle Assess* (2013) 18: 1243-1252.
- Bräuer, A. (2008): Bestimmung der Bodenversiegelung auf Basis des ATKIS Basis-DLM der Ausbaustufe 3. TU Dresden, Institut für Kartographie (Diplomarbeit, unveröffentlicht).
- Chaudhary, A.; Brook, T. (2018): Land Use Intensity-Specific Global Characterization Factors to Assess Product Biodiversity Footprints; *Environ. Sci. Technol.* 2018, 52: 5094-5104.
- Curran, M.; Maia de Souza, D.; Antón, A.; Teixeira, R. F. M.; Michelsen, O.; Vidal-Legaz, B.; Sala, S.; Milà i Canals, L. (2016): How Well Does LCA Model Land Use Impacts on Biodiversity? – A Comparison with Approaches from Ecology and Conservation; *Environ. Sci. Technol.* 20165062782-2795.
- Detzel, A.; Kauertz, B.; Grahl, B.; Heinisch, J. (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. Im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 3711 92 315. Texte | 19/2016.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-aktualisierung-der-oekobilanzen-fuer>
- EEA – European Environment Agency (2010): The European Environment – State and Outlook 2010: Land Use. European Environment Agency, Copenhagen.
- Fehrenbach, H.; Grahl, B.; Giegrich, J.; Busch, M. (2015): Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. DOI 10.1007/s11367-015-0955-y.

- Klöpffer, W.; Grahl, B. (2014): Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Wiley-VCH. ISBN: 978-3-527-32986-1, 440 Pages.
- Koellner, T.; de Baan, L.; Beck, B.; Brandão, M.; Civit, B.; Margni, M.; Milà i Canals, L.; Saad, R.; Maia de Souza, D.; Müller-Wenk, R. (2013): UNEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and eco-system services in LCA. *Int J Life Cycle Assess* (2013) 18: 1188-1202.
- Lindner, J. P.; Eberle, U.; Schmincke, E.; Luick, R.; Niblick, B.; Brethauer, L.; Knüpffer, E.; Beck, Schwendt, P.; Schestak I.; Arana, D. (2019): Biodiversität in Ökobilanzen. BfN-Skripten 528.
- Meinel, G.; Förster, J.; Witschas, S. (2009): Geobasisdaten – Grundlage für die Berechnung von Indikatoren zur Siedlungs- und Freiraumentwicklung. In: *Kartographische Nachrichten* 59 (2009) 5: 243-250.
- Peyrl, R. (2014): Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen – Möglichkeiten und Grenzen. Bericht. Land Oberösterreich, Linz.
- Schmitz, S.; Paulini, I. (1999): Bewertung in Ökobilanzen – Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 (Version '99). Texte 92/99. ISSN 1862-4804.
- Siedentop, S.; Heiland, S.; Lehmann, I.; Schauerte-Lüke, N. (2007): Nachhaltigkeitsbarometer Fläche. Regionale Schlüsselindikatoren nachhaltiger Flächennutzung für die Fortschrittsberichte der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – Flächenziele. Forschungen, Heft 130. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- Winter, L.; Lehmann, A.; Finogenova, N.; Finkbeiner, M. (2017): Including biodiversity in life cycle assessment – State of the art, gaps and research needs; *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 67, November 2017, Pages 88-100.