



## Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs

IÖR Schriften Band 78 · 2020

ISBN: 978-3-944101-78-1

### Flächenbelegungen und Flächennutzungs- änderungen in der Ökobilanzierung: Eine Methode zur Wirkungsabschätzung

*Horst Fehrenbach, Daniel Reißmann*

Fehrenbach, H.; Reißmann, D. (2020): Flächenbelegungen und Flächennutzungsänderungen in der Ökobilanzierung: Eine Methode zur Wirkungsabschätzung. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 78, S. 117-127.

# Flächenbelegungen und Flächennutzungsänderungen in der Ökobilanzierung: Eine Methode zur Wirkungsabschätzung

*Horst Fehrenbach, Daniel Reißmann*

## Zusammenfassung

Die Ökobilanz hat unter den in Anwendung befindlichen Umweltbewertungsmethoden einen besonderen Stellenwert und ist zwischenzeitlich bereits in einigen Gesetzen in Deutschland verankert. Für die Bewertung der Flächennutzung in Ökobilanzen ist eine allgemein anerkannte methodische Lösung bislang allerdings noch nicht vorhanden. Zwar gibt es erste Ansätze, doch wird dabei der Bedarf an methodischer Erweiterung und insbesondere die Verbesserung der Datengrundlagen herausgestellt. Dieser Beitrag thematisiert eine Methodenentwicklung am Umweltbundesamt zur Bewertung von temporärer Flächenbelegung und direkter sowie indirekter Flächennutzungsänderung von Produkten und Dienstleistungen im Rahmen der Ökobilanzierung<sup>1</sup>. Zentraler Bestandteil ist die qualitative Bewertung der Flächennutzung und ihrer Änderung anhand von Charakterisierungsfaktoren auf Basis eines erweiterten Hemerobieansatzes. Die bisher erarbeitete Methode wurde u. a. zur Bewertung des Energiesystems in Deutschland angewendet. Weitere Erprobungen erfolgen. Dieser Beitrag stellt den bisherigen Arbeitsstand vor.

**Schlagnworte:** Ökobilanz, Landnutzung, Hemerobie, Stromproduktion

## 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 bewertet werden (Klöpffer, Grahl 2014). Auf Basis der Daten aus der sogenannten Sachbilanz wird anhand einer Wirkungskategorie und der zugrundeliegenden Charakterisierungsfunktion ein Wirkungsindikator abgeleitet, der die potenzielle Umweltwirkung eines Produkts oder einer Dienstleistung abbildet. Wie bereits von Reißmann und Fehrenbach (2019) ausgeführt soll das genannte Vorhaben zur Schließung einer wesentlichen Lücke in der Berücksichtigung von Flächen in Ökobilanzen schließen helfen.

<sup>1</sup> Ressort-Forschungs-Vorhaben: Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen; FKZ 3717 31 105 0 (unveröffentlicht).

## 2 Methodischer Ansatz

Die methodischen Arbeiten umfassen einen Ansatz zur temporären Flächenbelegung sowie zur Flächennutzungsänderung. Beide Ansätze liefern sowohl Ergebnisse in den Sachbilanzgrößen  $m^2 \cdot a$  (Belegung, EN: occupation) und  $m^2$  (Änderung, engl.: transformation) als auch für die Wirkungsabschätzung, in welcher die Flächen charakterisiert werden. Die Charakterisierung erfolgt nach dem Hemerobieansatz (siehe Abschnitt 3.1.3) und wird analog zur Einheit  $kg\ CO_2\text{-Äquivalent}$  für die Wirkungskategorie Klimawandel mit dem Indikator „Global Warming Potential“ (GWP100) in der Einheit  $artifizielle\ Fläche\text{-Äquivalent}$ , d. h. als  $m^2\ aF\text{-Äq}\cdot a$  (Belegung) bzw.  $m^2\ aF\text{-Äq}$ . (Änderung) ausgedrückt.

### 2.1 Methodische Anforderungen und Bestandteile

#### 2.1.1 Anspruch der Methode

Um die Umweltwirkungen der Flächenbelegungen sowie Flächennutzungsänderungen durch Produkte und Dienstleistungen (Lebenszyklusbasiert) möglichst ganzheitlich abzubilden, muss die erarbeitete Methodik eine Reihe von Anforderungen erfüllen (Tab. 1).

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

Methodische Anforderung	Kurzerläuterung
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	Es wird analysiert, welcher Flächenanteil einer Nutzung mit einer Flächennutzungsänderung verbunden ist. Als geographischer Bezugsraum gilt das jeweilige Land, als Zeitbezug gilt die Änderung über ein Jahr, gemittelt über die vergangenen zehn Jahre. Betrachtet wird der der Nutzung vorausgehende (ebenfalls gemittelte) Zustand der Fläche in Gegenüberstellung mit dem Zustand bei der Nutzung.
Charakterisierung der erhobenen Daten zur Flächenbelegung und zu Flächennutzungsänderungen anhand des Hemerobiekonzepts	In der Landschaftsökologie drückt Hemerobie Naturferne als Maß für den menschlichen Kultureinfluss auf Ökosysteme aus. Für die Ökobilanzierung wurde das Konzept unter anderem in der UBA-Bewertungsmethode (Schmitz, Paulini 1999) als Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“ definiert und wird auch in diesem Forschungsvorhaben weiterentwickelt.

#### 2.1.2 Anforderungen aus der Ökobilanz

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 Daten der **Sachbilanz**

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 zur Analyse umweltbezogener Lasten und deren potenzieller Wirkungen, die mit der Produktion von Wirtschaftsgütern verbunden sind. Zur Produktion nachwachsender Rohstoffe wird beispielsweise die Fläche mit dem entsprechenden Aufwuchs immer vom unbeeinflussten Zustand entfernt sein.

Schmitz & Paulini (1999) haben als Schutzgut im Kontext Flächennutzung die *Struktur und Funktion von Ökosystemen* definiert. Sie bezeichnen **Wirkungskategorie** als „Naturraumbeanspruchung“ und ziehen das Ausmaß anthropogener Aktivitäten zur Klassifizierung von Flächen heran, gemessen an der negativen Größe *Hemerobie*. Es ist ein Grundprinzip der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen, negative Wirkungen (Emissionen von Treibhausgasen, toxischen Stoffen, Versauerung, Eutrophierung von Ökosystemen etc.) auf Schutzgüter zu quantifizieren.

### 2.1.3 Der Ansatz der Hemerobie

Die **Begriffe** Naturnähe, Natürlichkeit und Hemerobie als Bewertungskriterien für Landschaften werden in vielen Publikationen sowohl im deutschsprachigen als auch im englischsprachigen Raum synonym und oft ohne genaue Definition verwendet (Winter et al. 2017). Kowarik (2006) beschreibt Naturnähe und Hemerobie als zwei parallele Konzepte zur Bewertung der Natürlichkeit von Landschaften. Erstere weist einen historischen Bezug auf (potenzielle natürliche Vegetation, pNV). Naturnähe kann somit als Maß für die Ähnlichkeit zur ursprünglichen, vom Menschen unbeeinflussten Situation, definiert werden (Stein, Walz 2012). Das Konzept der Hemerobie hat eine aktualistische Perspektive, bei der es nicht das Ziel ist, einen historischen Zustand zurück zu erlangen. Vielmehr gilt als Bezugspunkt der durch weitgehende Selbstregulation geprägte Zustand auf Basis des heutigen Standortpotenzials. Die Betonung liegt auf aktuellen anthropogenen Einflüssen. In der Vergangenheit erfolgte irreversible anthropogene Standortveränderungen gelten als gegeben. *„Der Hemerobiegrad drückt damit die Wirkung reversibler anthropogener Einflüsse aus, die einer Selbstregulation des betrachteten Ökosystemausschnittes auf der Grundlage des aktuellen Standortpotenzials entgegenstehen“* (Kowarik 2006).

Dieses Grundverständnis ist für die Bewertung von Flächen in Ökobilanzen insofern besonders geeignet, als bei der Erstellung von Produkten oder Dienstleistungen vom Prinzip her genutzte Flächen betrachtet werden. Eine vom Menschen unbeeinflusste, d. h. ahemerobe Fläche ist nicht Gegenstand eines ökobilanziell zu untersuchenden Produktionssystems – zumindest nicht, was die Flächenbelegung betrifft. Bei Flächennutzungsänderungen können sehr wohl natürliche Ökosysteme betroffen sein (z. B. Palmölproduktion).

Die Eigenschaften von Natürlichkeit sind so vielschichtig wie die anthropogenen Einflüsse auf die Selbstregulation von Ökosystemen. Sie lassen sich daher nicht mit einem einzigen messbaren Parameter ausdrücken. 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. Jeder numerisch präzise angegebene Indikatorwert würde eine schein-objektivierte Genauigkeit suggerieren, die die Wissenschaft hier nicht liefern kann.

Der 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 praktikabel bleiben. Entscheidend sind die Flächen, auf denen produziert wird (z. B. forstlich genutzter Wald, Agrarland, Bergbau), oder die anderweitig innerhalb des Systems genutzt werden (z. B. Deponie, Siedlung). Einzelwerte der Messgrößen und Kriterien werden durch Mittelwertbildung zu einem Gesamtwert aggregiert, der die Zuordnung von sechs der sieben Hemerobieklassen ermöglicht.

Auf Basis der Sachbilanzdaten und der Zuordnung der Flächen in die jeweiligen Hemerobieklassen wird nun der eigentliche Wirkungsindikator, das Naturfernepotenzial (NFP), abgeleitet. Dies erfolgt in zwei Schritten und ist bei Fehrenbach et al. (2015) sowie Detzel et al. (2016) ausführlich beschrieben:

- Bestimmung der maximalen Spanne zwischen den Charakterisierungsfaktoren der Flächenkategorien und
- 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.

Anknüpfungspunkte bestehen zum Hemerobieindex des IÖR-Monitors, der gleichfalls Flächennutzungen bzw. Bodenbedeckungen in eine siebenstufige Hemerobieklassifikation unterteilt. Dabei ist von einer weitgehend gleichlaufenden Ergebnisrichtung auszugehen. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass der Hemerobieindex beliebige Gebietsflächen mit einer einheitlichen Bewertung einstuft, während der hier vorgestellte Ansatz spezifische Flächennutzungstypen (v. a. Wald, Acker) mit differenzierten Kriterien und Messgrößen bewertet.

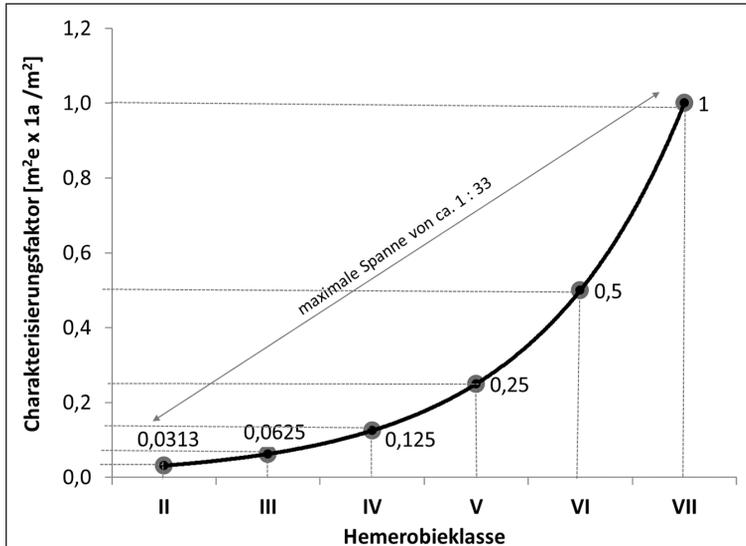


Abb. 1: Zuordnung von Charakterisierungsfaktoren zu sechs Hemerobieklassen (Quelle: eigene Darstellung nach Fehrenbach et al. 2015)

### 3 Fallbeispiel Stromproduktion in Deutschland

Im Folgenden wird die Methodik auf die Stromproduktion Deutschlands angewandt und die Flächenbelegung für die Produktion von Strom im mittleren Erzeugungsmix ermittelt. Der Systemraum beinhaltet die Bestandteile, die mit direkten Flächenbelegungen einhergehen. Anlagen, die innerhalb oder auf bestehenden Bauwerken installiert sind und nicht primär der Ummantelung der Anlage dienen, führen zu keinem Flächenverbrauch. Das gilt für Photovoltaik-(PV-)Anlagen auf Dachflächen oder Windkraftanlagen auf Deponien.

Die Flächenbelegung wird auf Basis folgender Datengrundlagen ermittelt:

1. Energieträgermix:

Grundlage sind die aufgestellten Bilanzen für die Stromerzeugung der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB).

2. Flächenbelegungs-Faktoren für Primärenergieträger und Infrastruktur:

Die Mengen an eingesetzten Primärenergieträgern werden jeweils mit den Flächenbelegungs-Faktoren multipliziert. Besonders relevant sind dabei der Abbau von fossilen Rohstoffen, Anbau von Energiepflanzen, Konversion von Wind und Sonne etc. Unter Infrastruktur fallen thermische Kraftwerksanlagen, Pipelines sowie Übertragungsnetze (Tab. 2). Diese Faktoren beruhen auf unterschiedlichen statistischen Quellen (z. B. Statistik der Kohlenwirtschaft oder Bundeswaldinventur).

### 3. Hemerobiefaktoren für die Flächen:

Dieser Faktor beträgt 1 für alle mit Versiegelung, Bebauung oder Rohstoffabbau verbundenen Flächen (Hemerobiekategorie VII). Mit niedrigeren Hemerobiefaktoren sind die Flächen für Ackerbau (Biogas), Forst (feste Biomasse) sowie Freiland-PV, periphere Bereiche von Windkraftanlagen (z. B. Kranstellplatz) sowie Stromtrassen durch Waldgebiete versehen (Tab. 3). Sie sind in manchen Bereichen noch vorläufig und unterliegen einer Revision.

In Tabelle 2 sind die spezifischen Flächenbelegungsfaktoren aufgeschlüsselt für die einzelnen Energieträgerarten nach der Rohstoffgewinnung, direkter Stromerzeugung bei Windkraft und PV, Konversion (Kraftwerke, inkl. Brennstoffaufbereitung, auch Biogasanlagen und Speicher) sowie Netzinfrastruktur (Übertragungsnetz und Transformation). Wie eingangs erklärt, wird keine Flächenbelegung für PV-Anlagen auf Dächern und Deponien angerechnet. Bislang nicht berücksichtigt sind Wasserflächen (Offshore-Windkraftanlagen und Wasserkraftwerke).

Tab. 2: Flächenbelegungsfaktoren der einzelnen Komponenten des Stromsystems in Deutschland 2017 (Quelle: eigene Berechnungen im Rahmen des Re-Fo-Plan-Vorhabens)

m <sup>2</sup> ·1a/GJ Strom	Rohstoff	Direkte EE-Stromerzeugung	Konversion	Transport/Transformation	Summe
Braunkohle	1,490		0,10		1,59
Steinkohle	0,310		0,11		0,42
Erdöl	0,002		0,08		0,08
Erdgas	0,030		0,05		0,08
Kernkraft	0,180		0,09		0,27
Wind (onshore)		0,250			0,25
Photovoltaik (PVA-FF)		6,111			6,11
Biogas (Mix)	145,600		0,31		145,90
Feste Biobrennstoffe	464,300		0,14		464,40
Müllverbrennung			0,21		0,21
Netzinfrastruktur				0,15	0,15

Verknüpft man die Mengen produzierten Stroms mit den Flächenbelegungsfaktoren, dann gibt sich ein Gesamtbelegungswert für die Stromerzeugung in Deutschland von 4,1 Mio. ha. Wie der Gesamtwert sich zusammensetzt, ist in Abbildung 2 oben dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass der weitaus größte Anteil (95,7 %) auf Biogas und feste Biobrennstoffe zurückgeht. In der unteren Grafik sind die Komponenten ohne Biomasse differenzierter dargestellt, wobei der Strom aus Braunkohle, Freiland-PV sowie die Netzinfrastruktur in der Flächenbelegung als Nächstes kommen. Die übrigen Energieträger fallen flächenmäßig kaum ins Gewicht.

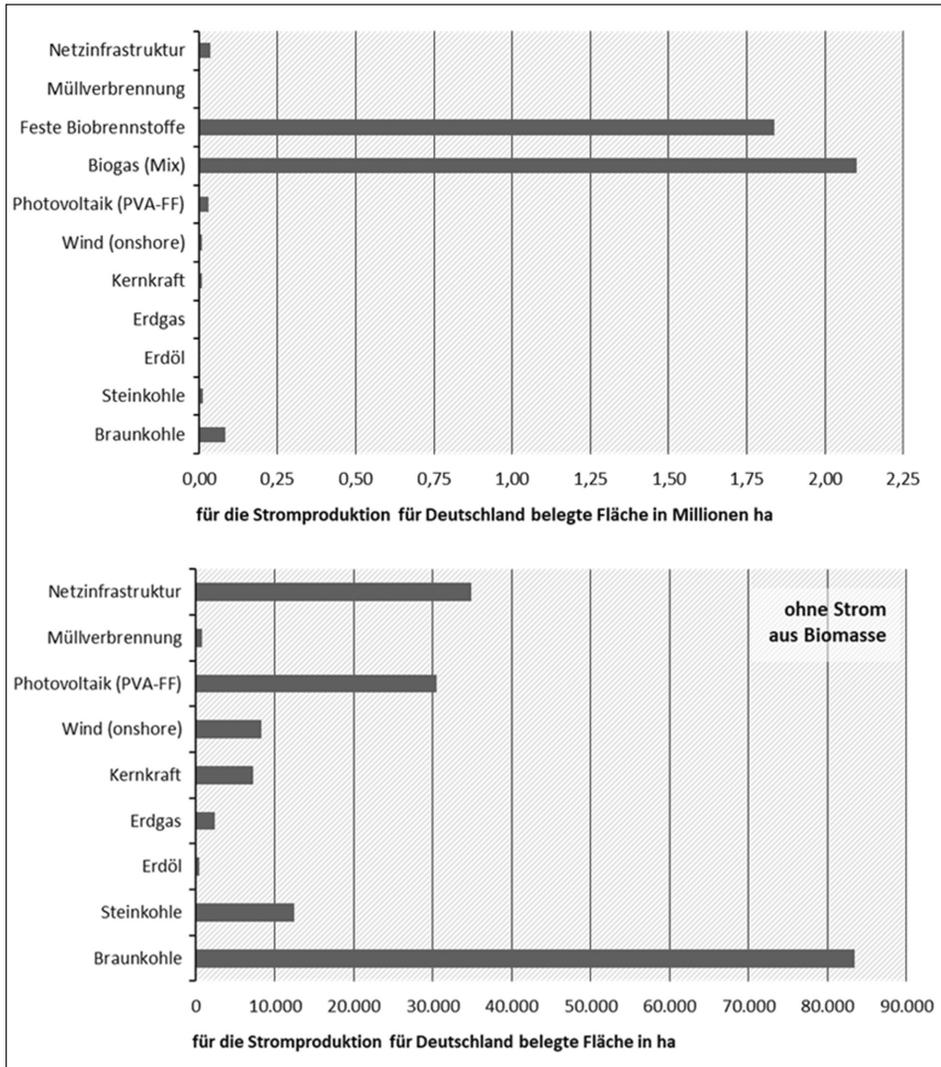


Abb. 2: Flächenbelegung durch die Stromproduktion in Deutschland 2017; oben alle Energieträger und Netzinfrastruktur; unten Energieträger ohne Strom aus Biomasse (Quelle: eigene Berechnungen im Rahmen des Re-Fo-Plan-Vorhabens)

Die obige Darstellung bildet reine Flächendaten ohne Bewertung der Flächenqualität ab. Das bedeutet: 1 ha Kraftwerksfläche oder Braunkohletagebau wird hier gleichbehandelt wie 1 ha Acker oder 1 ha Wald. Im folgenden dritten Schritt werden die Flächen gemäß Hemerobie charakterisiert. In Tabelle 3 sind hierzu die Hemerobiefaktoren für alle Flächenbelegungen, die nicht versiegelt oder bebaut sind, zusammengestellt.

Tab. 3: Hemerobiefaktoren nach Energieträger und Infrastruktur des Stromsystems in Deutschland 2017 (Quelle: eigene Berechnungen im Rahmen des Re-Fo-Plan-Vorhabens)

Energieträger	Hemerobiefaktor in m <sup>2</sup> aF/m <sup>2</sup>	Erläuterungen
Wind (onshore)	0,64	93,4 % der Anlagen liegen im Offenland, 69 % der Fläche wird vom Kranstellplätzen dominiert mit einer Fläche der Hemerobieklasse VI (Faktor 0,5), die anderen Flächen sind versiegelt (Turmfuß). In den Waldstandorten wird ein größerer Umkreis um die Anlage berücksichtigt, der freigehalten werden muss. Diese Fläche wird mit Hemerobieklasse V (Faktor 0,25) eingestuft.
Photovoltaik (PVA-FF)	0,35	Die Versiegelung nimmt 3 % der Fläche ein (Faktor 1), die überschilderte Fläche 32 % (Hemerobieklasse VI, Faktor 0,5) und die Zwischenraumfläche mit 65 % (Hemerobieklasse V, Faktor 0,25).
Biogas (Mix)	0,33	76 % Nawaro-Anteil am Substrat (55 %-Punkte davon Mais), mit einem mittleren Hemerobiefaktor von 0,39 (0,48 für Mais, 0,15 für Grasilage, 0,4 für Weizen und andere Nawaro). Keine Flächenbelegung für Gülle (15 % Anteil am Biogas) und Bioabfall (9 %).
Feste Biobrennstoffe	0,14	Verteilung der Hemerobieklassen im Wald geschätzt auf 10 % Klasse II, 20 % Klasse III, 40 % Klasse IV und 30 % Klasse V.
Netzinfrastruktur	0,27	Nur etwa 3,3 % der Fläche des Übertragungsnetzes sind versiegelt (Faktor 1), die weiteren Flächen sind offen gehaltene Waldtrassen, die in die Hemerobieklasse V (Faktor 0,25) eingestuft sind.

Die Ergebnisse der Verknüpfung dieser Hemerobiefaktoren mit den Flächenbelegungswerten sind in Abbildung 3 dargestellt. Darin zeigt sich, dass die Flächenwirksamkeit der festen Biobrennstoffe (Waldholz) deutlich geringer gegenüber dem auf Basis nachwachsender Rohstoffe erzeugten Biogas, aber größer gegenüber der Braunkohle ist. Im unteren Teil der Grafik wird ersichtlich, dass sowohl Freiland-PV als auch die Netzinfrastruktur gegenüber der Braunkohle deutlich weniger Potenzial an *artificialer Fläche* (aF), d. h. nicht natürlicher, meist überbauter bzw. versiegelter Fläche aufweisen. So entspricht 1 ha Parkplatz 1 ha aF-Äq., während 1 ha sehr naturnaher Wald etwa 0,03 ha aF-Äq. entspricht (Abb. 1).

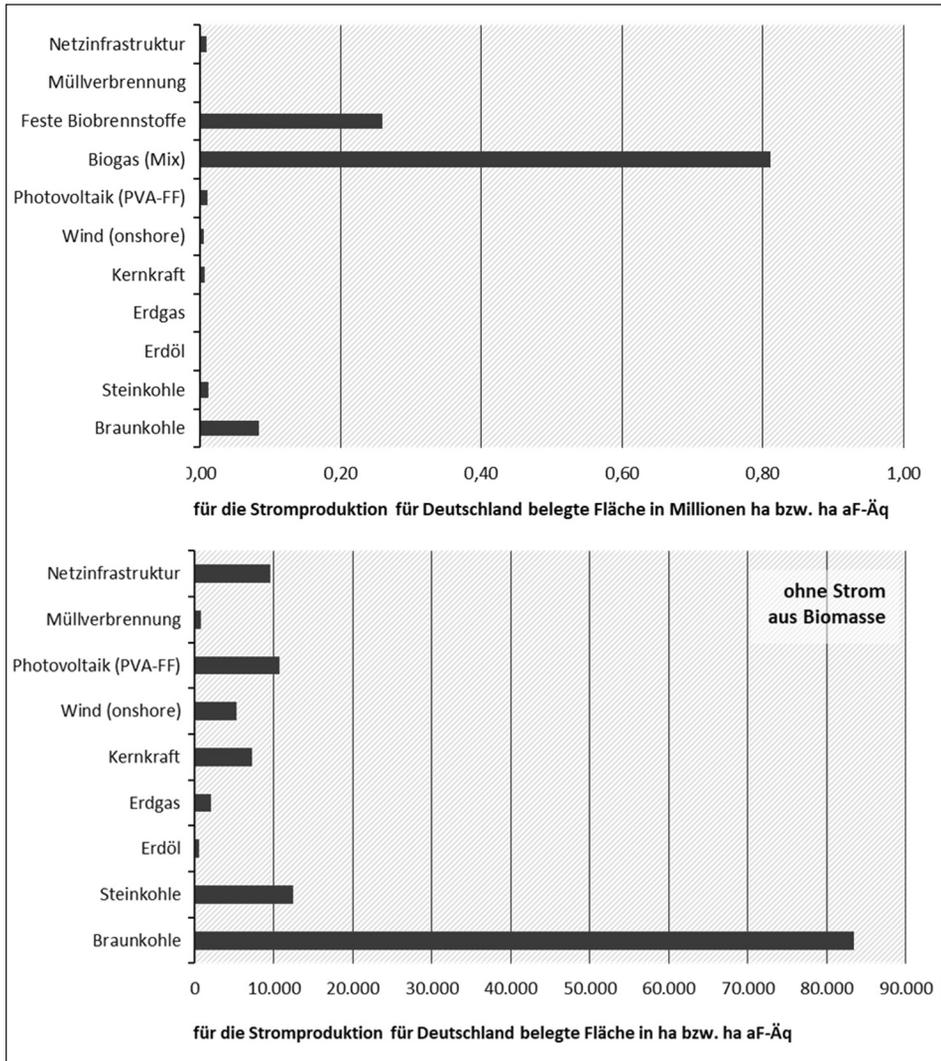


Abb. 3: Flächenbelegung der Energieträger, bewertet nach Hemerobie in artifizielle-Fläche-Äquivalente (aF-Äq) durch die Stromproduktion in Deutschland 2017; oben alle Energieträger und Netzinfrastruktur; unten Energieträger ohne Strom aus Biomasse (Quelle: eigene Berechnungen im Rahmen des Re-Fo-Plan-Vorhabens)

## 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 Ökosystemleistungen, fruchtbare Böden oder Naturnähe? Jede dieser Antworten ist möglich, 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 im Vergleich zu einem unbeeinflussten Zustand aus. Die Bestimmung der Hemerobie erfolgt über multi-kriterielle Messvorschriften und führt zu einer Zuordnung der bewerteten Flächen in ein System ordinaler Klassen (I bis VII).

Wie das Fallbeispiel der Stromproduktion zeigt, ist das dargestellte Konzept anwendungsbereit für nahezu jede Art von Flächennutzung, zumindest im mittel- bis nord-europäischen Raum. Die direkte Anwendbarkeit der Kriterien und Messgrößen für andere Regionen ist noch zu überprüfen. Das Beispiel verdeutlicht, wie einzelne Komponenten eines komplexen Systems als die dominanten Größen bezüglich der Flächenbelegung identifiziert werden können. So erweist sich der Biomassestrom mit 8 % Anteil am durchschnittlichen Mix als herausragender Faktor. Gleichzeitig wird mit der Hemerobiebewertung berücksichtigt, dass der Rohstoffbezug von naturnäheren Flächen, wie dem Wald, gegenüber landwirtschaftlicher Fläche auch klar mit weniger negativer Wirkung verbunden ist, oder anders ausgedrückt: Der Rohstoff Holz wird von Flächen gewonnen, die weniger hemerob sind als die Flächen, von denen der Rohstoff Mais gewonnen wird. Im anderen Beispiel benötigt die Gewinnung von Strom aus Braunkohle zwar weniger Fläche als Freiland-PV, über die Hemerobie-Gewichtung wird jedoch die größere Wirkung des Braunkohlelitagebaus gegenüber Freiland-PV deutlich.

Der Ansatz hat dennoch Bedarf zur Weiterentwicklung. So steht eine Übertragung auf die globale Ebene an, in erster Linie für solche Flächennutzungen, die der Produktion von biogenen Rohstoffen für die globale Stoffstromwirtschaft dienen. Ziel ist ein über Mitteleuropa hinausgehender Ausbau des Ansatzes zur Berücksichtigung der Naturraumbeanspruchung und der differenzierten 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, wie Deponien, angestrebt.

## 5 Literatur

- Detzel, A.; Kauertz, B.; Grahl, B.; Heinisch, J. (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. UBA-Texte 19/2016.  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-aktualisierung-der-oekobilanzen-fuer> (Zugriff: 19.08.2020).
- 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  
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-015-0955-y> (Zugriff: 19.08.2020).

- Klöpffer, W.; Grahl, B. (2014): Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Wiley-VCH, 440 pp.
- Reißmann, D.; Fehrenbach, H. (2019): Wirkungsabschätzung von Flächenbelegungen in Ökobilanzen: Arbeitsstand einer Methodenentwicklung. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XII: Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 77: 287-296.
- 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). UBA-Texte 92/99.
- Stein, C.; Walz, U. (2012): Hemerobie als Indikator für das Flächenmonitoring – Methodenentwicklung am Beispiel von Sachsen. NuL 44 (9): 261-266.  
[https://www.researchgate.net/publication/282880226\\_Hemerobie\\_als\\_Indikator\\_fur\\_das\\_Flachenmonitoring\\_Methodenentwicklung\\_am\\_Beispiel\\_von\\_Sachsen\\_Hemeroby\\_as\\_Indicator\\_for\\_the\\_Monitoring\\_of\\_Land\\_Use\\_-\\_Development\\_of\\_methods\\_using\\_the\\_example\\_of\\_Saxony](https://www.researchgate.net/publication/282880226_Hemerobie_als_Indikator_fur_das_Flachenmonitoring_Methodenentwicklung_am_Beispiel_von_Sachsen_Hemeroby_as_Indicator_for_the_Monitoring_of_Land_Use_-_Development_of_methods_using_the_example_of_Saxony) (Zugriff: 19.08.2020).
- 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, 88-100.