

TEXTE 00/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 31 105 0

Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen

Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen
– Teilbericht III: DATEN –

von

Horst Fehrenbach, Mirjam Busch, Silvana Bürck,
Dr. Mascha Bischoff, Stefanie Theis, Joachim Reinhardt,
Judith Blömer
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH,
Heidelberg

Prof. Dr. Birgit Grahl
INTEGRAHL, Heidekamp

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

INTEGRAHL – Industrielle Ökologie
Schuhwiese 6
23858 Heidekamp

Abschlussdatum:

September 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 2.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen
Dr. Daniel Reißmann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juli 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen

Ziel des Ressortforschungsvorhabens „Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen“ ist die Bereitstellung einer praktikablen Methode für die Einbeziehung von Flächennutzung als Wirkungskategorie in Ökobilanzen. Dies beinhaltet neben einer transparenten methodischen Anleitung auch die Bereitstellung eines Grundstocks an Daten bzw. einen Hinweis auf geeignete Datenquellen. Dieser Teilbericht (III) beinhaltet eine umfassende Datendokumentation.

Zunächst wurden allgemein zur Verfügung stehende Ökobilanz-Datenbanken bzw. verwandte Datenbanken daraufhin analysiert, ob sie Daten zur temporären Flächenbelegung, Flächennutzungsänderung oder Hemerobie bzw. anderweitige, auf die Qualität oder Eigenschaft der Flächen verweisende Daten beinhalten. In einem zweiten Schritt wurde geprüft, inwieweit diese Daten nachvollziehbar und mit dem hier angewandten methodischen Ansatz kompatibel sind. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Mehrzahl der Datenbanken entweder keine oder mit den Anforderungen des Flächenrucksacks nicht kompatible Flächendaten enthalten. Insgesamt wurde festgestellt, dass eine einheitliche und konsistente Referenzquelle nicht verfügbar ist.

Im Rahmen dieses Projekts wurden daher generische Datensätze erstellt, die die drei Komponenten des Flächenrucksacks (temporäre Flächenbelegung, Flächennutzungsänderung und Hemerobie) jeweils für eine umfassende Anzahl an Produkten aus forstlicher, agrarischer, mineralischer oder fossiler Herkunft abdecken.

Da die generischen Datensätze zur Hemerobie aus den Kriterien und Messgrößen für die verschiedenen Flächennutzungsarten abgeleitet werden, erfolgte die Arbeit der Datenerhebung in direkter Verbindung mit der Weiterentwicklung dieser Messgrößen. Damit ist eine Anschlussmöglichkeit an primäre Datenquellen zu diesen Messgrößen gegeben.

Abstract: Land rucksacks of goods and services

The project Land rucksacks of goods and services proposes a practical and operational method for including land use as an impact category in life cycle assessments. In addition to transparent methodological guidance, a comprehensive set of baseline input data and references to data sources are provided. Final Report Part III presents a detailed documentation of all data collated during the project.

Initially, widely available LCA databases or related databases were analysed to determine the availability of data on temporary land occupation, land transformation or hemeroby. Additional information on land quality or features included in the available source was also collected. Next, the reliability and compatibility of these data with the methodological approach proposed here was examined. The results showed that the majority of databases provide either no land data at all or land data that are incompatible with the requirements of the land rucksack. Overall, a uniform and consistent reference source was not available.

In consequence, generic datasets covering the three components of the land rucksack (temporary land occupation, land transformation and hemeroby) for a great range of forestry, agricultural, mineral or fossil products were created in this project.

Since the generic data sets on hemeroby are derived from the criteria and metrics for the different land use types, the data collection work was carried out simultaneously with further development of these metrics. Thus, compatibility with primary data sources for these metrics is ensured.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung.....	15
Summary	19
1 Hintergrund zu diesem Teilbericht.....	23
2 Analyse von Datenbanken.....	24
2.1 Auswahl der Datenbanksysteme und weiterer Quellen	24
2.2 Meta-Analyse zur Findung der am besten geeigneten Datengrundlagen.....	26
2.2.1 Vorgehensweise.....	26
2.2.2 Auswertungsergebnisse.....	29
2.3 Schlussfolgerung aus der Datenanalyse und empfohlene Vorgehensweise	30
3 Daten als generische Werte für unterschiedliche Nutzungssysteme	31
3.1 Unterschiedliche Datenebenen	31
3.1.1 Bereiche in denen Flächenbelegungen und Flächennutzungsänderungen erfolgen	31
3.1.2 Bestandteile der Basisdaten	31
3.1.3 Ebene der Datenquellen für Hemerobie.....	32
3.1.4 Strukturierung der folgenden Kapitel	32
3.2 Daten zu temporärer Flächenbelegung	33
3.2.1 Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen.....	33
3.2.2 Agrarprodukte von Ackerflächen.....	35
3.2.3 Grünschnitt, Weideaufwuchs von Grünlandflächen.....	38
3.2.4 Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen	38
3.2.4.1 Gesteine.....	38
3.2.4.2 Braunkohle.....	41
3.2.4.3 Zusammenstellung der Flächenbelegungsfaktoren.....	42
3.2.5 Infrastrukturen.....	43
3.2.5.1 Windenergieanlagen (WEA) an Land.....	43
3.2.5.2 Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation.....	50
3.2.5.3 Solarkraftwerke, Standort MENA-Region	53
3.2.5.4 Thermische Kraftwerke.....	56
3.2.5.5 Stromübertragungsnetze.....	57

3.2.5.6	Verkehrsflächen.....	58
3.3	Daten zu Flächennutzungsänderung.....	63
3.3.1	Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen.....	63
3.3.2	Agrarprodukte von Ackerflächen.....	63
3.3.3	Grünschnitt, Weideaufwuchs von Grünlandflächen.....	64
3.3.4	Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen	65
3.3.4.1	Gesteine.....	65
3.3.4.2	Braunkohle.....	66
3.3.5	Infrastrukturen.....	67
3.3.5.1	Windenergieanlagen an Land	67
3.3.5.2	Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation.....	68
3.3.5.3	Solkraftwerke, Standort MENA-Region	70
3.3.5.4	Übertragungsnetze	72
3.3.5.5	Verkehrsflächen.....	73
3.4	Daten zu Hemerobie	76
3.4.1	Wald- und Forstflächen.....	76
3.4.2	Ackerflächen	77
3.4.2.1	Hemerobie von belegten Flächen.....	77
3.4.2.2	Hemerobie der von Flächennutzungsänderung betroffenen Flächen	87
3.4.3	Grünlandflächen	89
3.4.4	Brachflächen	94
3.4.5	Rohstoffabbauflächen.....	95
3.4.5.1	Gesteine, Mineralstoffe	95
3.4.5.2	Braunkohle.....	98
3.4.5.3	Metallerze.....	98
3.4.6	Infrastrukturflächen.....	98
3.4.6.1	Windenergieanlagen an Land	98
3.4.6.2	Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation.....	101
3.4.6.3	Solkraftwerke, Standort MENA-Region	103
3.4.6.4	Übertragungsnetze	107
3.4.6.5	Verkehrsflächen.....	108
3.4.7	Hemerobie für von Flächennutzungsänderung betroffene Flächen	110
4	Vorschläge von Basisdaten für Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen	113
5	Daten zur Normierung.....	127

5.1	Normierung der temporären Flächenbelegung.....	127
5.2	Normierung der Flächennutzungsänderung.....	128
6	Fortschreibung und Einbettung in Datenbanken.....	129
6.1	Vorgehenskonzept.....	129
6.1.1	Vorgeschlagene Vorgehensweise zu Datenpflege und -aktualisierung.....	129
6.1.2	Einschätzung des Aufwands der Datenpflege und -aktualisierung.....	130
6.1.3	Geeignete Datenbanksysteme für die Einbettung der Daten des Flächenrucksacks.....	131
6.2	Datenlücken.....	132
7	Quellenverzeichnis.....	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über die ausgewerteten LCA- und sonstigen Datenbanken	25
Abbildung 2:	Datenblatt von Qualitätskriterien zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung; Beispiel: Braunkohleabbau aus ecoinvent 3.4 – Teil 1	27
Abbildung 3:	Datenblatt von Qualitätskriterien zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung; Beispiel: Braunkohleabbau aus ecoinvent 3.4 – Teil 2	28
Abbildung 4:	Vorhandene Datengrundlagen zur Flächenbelegung und -umwandlung.....	29
Abbildung 6:	Daten für die Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-WEA im Offenland	47
Abbildung 7:	Daten für die Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-WEA im Wald.....	48
Abbildung 8:	Entwicklung des durchschnittlichen Flächenbedarfs pro Megawatt installierte Leistung für Freiflächenanlagen [ha/MW]	52
Abbildung 9:	Flächenverbrauch durch inländische Entnahme von mineralischen Rohstoffen im Tagebau in Deutschland von 1994 bis 2019	65
Abbildung 10:	Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterien 1 und 2	81
Abbildung 11:	Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterium 3	82
Abbildung 12:	Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterium 4	83
Abbildung 13:	Hemerobieklassenzuordnung von Agrarprodukten anhand der Messgrößenergebnisse.....	84
Abbildung 13:	Qualität der Datengrundlage für die Hemerobiebewertung von Ackerland.....	85
Abbildung 14:	Bandbreite an Hemerobieklassen des mittleren deutschen Ackers	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung der Auswertung der Analyse von LCA-Datenquellen bezüglich Flächendaten	29
Tabelle 2:	Gesamtflächen an Wald in Deutschland, geerntete Holzmengen und daraus abgeleitete Flächenbelegungen in $m^2 \cdot a/m^3$	33
Tabelle 3:	Potenzial und jährliches Aufkommen an Rohholz in Deutschland.....	34

Tabelle 4:	Flächenbelegung durch den Anbau von Feldfrüchten (unspezifisch).....	35
Tabelle 5:	Flächenbelegung durch den konventionellen Anbau von Feldfrüchten (unspezifisch)	36
Tabelle 6:	Flächenbelegung durch den ökologischen Anbau von Feldfrüchten	37
Tabelle 7:	Gesamtflächen an Grünland in Deutschland, Erntemengen und daraus abgeleitete Flächenbelegungen in $m^2 \cdot a/kg$	38
Tabelle 8:	Flächenäquivalente für im Jahr 2016 abgebaute Steine und Erden	39
Tabelle 9:	Spezifische Flächenbelegung der Nutzungskategorien für ausgewählte Steine und Erden	40
Tabelle 10:	Daten zur Bestimmung der Flächenbelegung von einer Tonne Braunkohle	41
Tabelle 11:	Flächenbelegungen für mineralische und fossile Rohstoffe	42
Tabelle 12:	Technische Basiswerte für die zur Bilanzierung angesetzten WEA	45
Tabelle 13:	Spezifische Faktoren zu Flächenbelegung für Windenergie	50
Tabelle 14:	Angesetzte Flächenbelegung und Anteile an Flächenarten für PV-FFA bezogen auf 1 MWh Strom	53
Tabelle 15:	Flächenbelegung durch Solarthermiekraftwerke, Standort MENA-Region	54
Tabelle 16:	Flächenbelegungs-Faktoren für 1 MWh Strom aus CSP-Anlagen, Standort MENA-Region	55
Tabelle 17:	Flächenbelegungs-Faktoren für 1 MWh Strom aus FF-PV; Standort MENA-Region	56
Tabelle 18:	Abgeschätzte Flächenbelegung durch Braunkohlekraftwerke.	56
Tabelle 19:	Abgeschätzte Flächenbelegung durch thermische Kraftwerke und vergleichbare Anlagen.....	57
Tabelle 20:	Aufteilung der Verkehrsfläche in Deutschland nach ihrer Nutzung	59
Tabelle 21:	Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr	61
Tabelle 22:	Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Güterverkehr	62
Tabelle 23:	Landnutzungsänderung zugunsten von Wald in Deutschland nach dem Nationalen Inventarbericht	63
Tabelle 24:	Jährliche Landnutzungsänderungen zugunsten und zulasten der Ackerfläche in Deutschland nach dem NIR für den Zeitraum 2013-2017.....	64
Tabelle 25:	Landnutzungsänderungen zu Gunsten und zu Lasten der Grünlandfläche in Deutschland nach dem NIR für den Zeitraum 2013-2017.....	64

Tabelle 26:	Spezifische Flächennutzungsänderung für ausgewählte Steine und Erden	66
Tabelle 27:	Daten zur Bestimmung der Flächennutzungsänderung von einer Tonne Braunkohle	66
Tabelle 28:	Flächennutzungsänderung für durch Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen.....	68
Tabelle 29:	Flächennutzungsänderung für durch PV-FFA betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Konversionsflächen.....	70
Tabelle 30:	Voraussichtliche Entwicklung der temporären Flächenbelegung für CSP-Anlagen am Standort MENA-Region.....	72
Tabelle 31:	Entwicklung der Übertragungsnetze in Deutschland im Vergleich der Szenarien Referenz, RAS und Basis	73
Tabelle 32:	Datengrundlage zur Berechnung der Flächennutzungsänderung von Straßen -und Bahnverkehr	74
Tabelle 33:	Flächennutzungsänderung Personenverkehr.....	75
Tabelle 34:	Flächennutzungsänderung Güterverkehr.....	75
Tabelle 35:	Mittelwerte und Anteile an Hemerobieklassen für verschiedene Holzarten aus Wald in Deutschland	76
Tabelle 36:	Erforderliche Daten für die Hemerobie von Ackerflächen.....	77
Tabelle 37:	Flächenanteile der deutschen Ackerfläche für die Hauptnutzungsarten sowie deren Hemerobiekategorie	86
Tabelle 38:	Einschätzung der Hemerobie von Palmölplantagen anhand der Kriterien und Messgrößen.....	88
Tabelle 39:	Erforderliche Daten für die Hemerobie von Dauergrünlandflächen.....	89
Tabelle 40:	Wertstufen nach den einzelnen Messgrößen für Grünland.....	90
Tabelle 41:	Einstufung von Grünland in die Hemerobieklassen anhand zusätzlicher Datenquellen	93
Tabelle 42:	Anwendung der Kriterien und Messgrößen auf beispielhafte brachlandartige Flächen; die Zahlen entsprechenden Wertgruppen von 1 (= geringe Hemerobie) bis 5 (= hohe Hemerobie).....	95
Tabelle 43:	Anwendung der Kriterien und Messgrößen auf Abbauflächen von Natursteinen.....	96
Tabelle 44:	Hemerobieklassen der Gesteine für die Sachbilanzdaten ausgewählter Natursteine	97
Tabelle 45:	Naturfernepotenziale für die Flächenbelegung durch eine Megawattstunde Windenergie	99
Tabelle 46:	Von Flächennutzungsänderung für Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen nach Hemerobieklassen	100

Tabelle 47:	Naturfernepotenziale für die Flächennutzungsänderung durch Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen.....	100
Tabelle 48:	Naturfernepotenzial der Flächenbelegung durch PV-FFA bezogen auf eine MWh Strom.....	102
Tabelle 49:	NFP-Faktoren für die Flächennutzungsänderung für PV-FFA betroffene Anteile von Ackerland, Grünland und Konversionsflächen	103
Tabelle 50:	Vereinfachte beispielhafte Einordnung einer Wüstenfläche in Kriterien und Messgrößen.....	104
Tabelle 51:	Abschätzung des Naturfernepotenzials für CSP-Kraftwerke am Standort MENA-Region	106
Tabelle 52:	Abschätzung des Naturfernepotenzials für ein PV-Kraftwerk am Standort MENA-Region	107
Tabelle 53:	Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr	108
Tabelle 54:	Flächenbelegung Transportart Güterverkehr.....	109
Tabelle 55:	Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr.....	109
Tabelle 56:	Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung mit Allokationsvariante B: Transportart Güterverkehr.....	110
Tabelle 57:	Flächenanteile in Deutschland für die Definition der mittleren von Flächennutzungsänderung betroffenen Fläche.....	111
Tabelle 58:	Hemerobie für von Flächennutzungsänderung betroffene Flächen; Auswahl deckt die Daten für die Fallbeispiele (siehe Teilbericht II) ab.....	111
Tabelle 59:	Basisdaten für Flächenrucksäcke A) Flächenbelegung.....	113
Tabelle 60:	Basisdaten für Flächenrucksäcke B) Flächennutzungsänderung	121
Tabelle 61:	Basisdaten für die Normierung von temporärer Flächenbelegung für Deutschland.....	127
Tabelle 62:	Basisdaten für die Normierung von Flächennutzungsänderung für Deutschland	128

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
aa-eq.	artificial area equivalent
ABS	Ausbaustrecke
AFDB	African Development Bank
aF-Äq.	Artifizielle-Fläche-Äquivalent
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
aLUC	attributitional land-use change (attribuierte Landnutzungsänderung)
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BI	Behandlungsindex
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BNetzA	Bundesnetzagentur
BS	Binnenschiffverkehr
BWI	Bundeswaldinventur
BWI-3	Dritte Bundeswaldinventur
CRF	Common Reporting Format (einheitliche Berichterstattung)
CSP	Konzentrierende Solarkraft (engl. Concentrating Solar Power)
Destatis	Statistisches Bundesamt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
EDW	Einwohnerdurchschnittswerte
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
HGS	Hochgeschwindigkeitsstrecke
HNV	High Nature Value
IWR	Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien
JRC	Joint Research Center
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
kWh	Kilowattstunde
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen
LCA	Life Cycle Assessment
LCDN	Life Cycle Data Network
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug ≤ 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht
LULUCF	Land use, land-use change and forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MENA	Region Naher Osten Nordafrika (engl. Middle East North Africa)

Abkürzung	Beschreibung
MLR	Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
MWh	Megawattstunde
NB	Nota bene
NFP	Naturfernepotenzial
NIR	National Inventory Report (Nationaler Inventarbericht)
ÖVF	Ökologische Vorrangfläche
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques (dt.: Nomenklatur der Gebietseinheiten für die Statistik)
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PtX	hier: Konversion von Strom zu flüssigen oder gasförmigen Sekundärenergieträgern (engl. Power-to-X)
PV	Photovoltaik
PV-FFA	Freiflächen-Photovoltaikanlage
RAS	Restriktionsarmes Szenario
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry (wissenschaftliche Gesellschaft der Ökotoxikologie und Umweltchemie)
SHI	Shannon Eveness Index
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw, Last-/Sattelzug)
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)
SPNV	Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)
SSU	Straßen-, Stadt- und U-Bahn
Tkm	Tonnenkilometer
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UNEP	United Nations Environment Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
WEA	Windenergieanlage
WZI	Waldzustandsindex

Zusammenfassung

Zum Vorhaben „Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen“ wurden drei Berichte angefertigt. Der hier vorliegende Teilbericht III beinhaltet eine ausführliche Dokumentation und Erläuterung eines Grundstocks an Daten bzw. Hinweise auf geeignete Datenquellen. In Teilbericht I wird die zugrundeliegende Methodik beschrieben. Teilbericht II dient der Darstellung der Ergebnisse eines methodischen Praxistests anhand von vier Fallbeispielen.

Anlass und Aufgabenstellung

Das Instrument der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) bietet die Möglichkeit, systemübergreifende Analysen und Bewertungen unter Einbezug zahlreicher Umweltwirkungen zu erstellen. Mit dem Lebenswegprinzip können somit alle Arten von Produkten und Dienstleistungen umfassend untersucht und Schwerpunkte der Umweltlasten transparent gemacht werden, anhand derer Handlungsempfehlungen zur Minimierung dieser Lasten begründet werden können.

Die Modelle zur Berücksichtigung von Umweltwirkungen in der Ökobilanz werden entsprechend der üblichen Dynamik neuer Forschungserkenntnisse weiterentwickelt. Dabei gibt es Wirkungskategorien, für die wenig Dynamik in der Ausgestaltung der Modelle besteht (z. B. Klimawandel) und solche, bei denen etliche Modelle existieren, zu denen in der Forschung jedoch kein Konsens besteht

Zu letzteren ist die Flächennutzung zu zählen: Sie stellt für die internationale Fachwelt seit Jahren eine Herausforderung dar. Die UNEP¹/SETAC²-Life Cycle Initiative hat die Flächenbewertung zu einem wesentlichen Schwerpunkt erhoben, zur Beurteilung von Flächennutzung in Ökobilanzen liegen mehrere Ansätze vor, z. B. (de Baan et al., 2013; Brandão / Milà i Canals, 2013; Chaudhary / Brooks, 2018a; Curran et al., 2016; Koellner et al., 2013; Lindner et al., 2019; Vidal-Legaz et al., 2016).

Auch das Umweltbundesamt (UBA) hat eine Methode für die Wirkungskategorie Flächennutzung empfohlen (Schmitz / Paulini, 1999). In diesem Ansatz wird die Qualität von Fläche durch den Grad der menschlichen Eingriffsintensität definiert. Der aus der Landschaftsökologie stammende Begriff Hemerobie hat sich hierfür etabliert. Die Methode wurde von (Fehrenbach et al., 2015) weiterentwickelt und vielfach angewendet. Ein großes Hindernis für die breite Anwendung dieses Ansatzes stellen jedoch die Verfügbarkeit belastbarer generischer Daten für Produkte und Dienstleistungen dar und die methodische Abdeckung jeglicher Art von Flächennutzung dar. Der Ansatz bedarf somit methodischer Weiterentwicklung und einer Verbesserung der Datengrundlagen.

Beides sind zentrale Aufgaben dieses Forschungsprojekts, welches abschließend einen Vorschlag für eine Einbindung der Daten in eine fortschreibungsfähige Datenbank erarbeitet.

Um die Datengrundlage der in Teilbericht II beschriebenen Fallbeispiele darzustellen, erfolgt in diesem Teilbericht eine detaillierte Zusammenstellung der erforderlichen Daten. Diese wurden primär erstellt, um die Durchführung der Fallbeispiele zu ermöglichen. Zum anderen ist die erstellte Datengrundlage weit umfassender und kann als Basis für den Ausbau zu einer vollständigen Datenbank dienen.

¹ United Nations Environment Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen).

² Society of Environmental Toxicology and Chemistry (wissenschaftliche Gesellschaft der Ökotoxikologie und Umweltchemie).

Analyse von Datenbanken

Im Rahmen dieses Berichts wurden die zur Verfügung stehenden Ökobilanz-Datenbanken bzw. verwandte Datenbanken analysiert im Hinblick darauf, ob sie Daten zur temporären Flächenbelegung, der Flächennutzungsänderung und der Hemerobie beinhalten. Diese Analyse ist für die Erstellung einer Gesamtdatengrundlage essenziell. Insgesamt wurden sowohl Datenbanksysteme, die relevante Sachbilanzen zu Rohstoffen und Energiesystemen enthalten (BMI, 2021; ecoinvent, 2020; IINAS, 2019; Probas, 2020; sphaera, 2021), als auch verschiedene weitere Quellen (GreenDelta, 2015, 2017, 2020; Poganietz et al., 2012; treeze, 2018) auf Basis der frei verfügbaren openLCA-Software untersucht. Zusätzlich wurden Datenbanksysteme, wie das Life Cycle Data Network (LCDN) des Joint Research Centres (JRC) (Europäische Kommission, 2018) und volkswirtschaftliche Input-Output-Tabellen-Systeme wie z. B. Exiobase (exiobase, 2015) analysiert. Auch amtliche Statistiken von Destatis (Statistisches Bundesamt) und anderen statistischen und staatlichen bzw. halbstaatlichen Einrichtungen (z.B. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL) wurden untersucht.

Die Analyse zeigt, dass keine der herangezogenen Datengrundlagen alleine für sich die erforderlichen Daten zu „temporärer Flächenbelegung“, „direkter“ sowie „indirekter Flächennutzungsänderung“ abdecken kann. Allerdings wird (ecoinvent, 2020) als insgesamt am besten geeignete Quelle erachtet, weil hier eine weitgehend vollständige Abdeckung von sowohl temporärer Flächenbelegung (occupation) als auch Flächennutzungsänderung (transformation) vorliegt.

Doch auch (ecoinvent, 2020) erfüllt nicht die Anforderung als alleinige und umfassende Datengrundlage für den Flächenrucksack. Daher wird eine Vorgehensweise für das Datenkonzept des Flächenrucksacks vorgeschlagen, welche als Primärdatengrundlage einen eigens entwickelten Grundstock an Daten zur Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung von Produkten und Dienstleistungen verwendet. Dabei werden sowohl die von den im jeweiligen Bereich von höchst möglicher Kompetenz oder amtlicher Zuständigkeit zur Verfügung gestellten Daten, als auch Daten aus Primäruntersuchungen aus der wissenschaftlichen Literatur verwendet. Zur Schließung von Datenlücken können ecoinvent-Daten hinzugezogen werden.

Daten als generische Werte für unterschiedliche Nutzungssysteme

Grundsätzlich lassen sich die Bereiche, in denen Flächenbelegungen und -nutzungsänderungen auftreten, folgendermaßen gliedern:

- ▶ Anbau von Biomasse: Acker, Grünland, Wälder.
- ▶ Abbau von Rohstoffen (mineralisch, inkl. Erze oder fossil): Minen, Halden.
- ▶ Infrastrukturflächen: Bauwerke, Verkehrsflächen, Deponien.

Die Ebene der Basisdaten bezieht sich somit auf diese drei genannten Bereiche.

Zusätzlich besteht eine weitere Differenzierungsebene im Hinblick auf die Bestandteile der Basisdaten. Diese Ebene umfasst a. Daten der temporären Flächenbelegung, b. Daten der Flächennutzungsänderung und c. Daten der Hemerobie. Anhand dieser Basisdaten kann schließlich im Rahmen der Ökobilanz der Flächenrucksack für ein Endprodukt errechnet werden.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass während für die Flächenbelegungsdaten generische Daten aus verschiedenen Standardquellen zur Verfügung stehen, solche zur Hemerobie fast vollständig fehlen. Somit ist die Entwicklung einer Datengrundlage für die Hemerobie von Grund auf erforderlich. Die in diesem Vorhaben zusammengetragenen und entwickelten Basisdaten zur Hemerobie beruhen teilweise auf spezifischen Daten, andere weisen generischen Charakter auf.

Um eine möglichst breite Anwendbarkeit garantieren zu können, ist das Vorhandensein generischer Daten essenziell. Sofern ausschließlich spezifische Daten zur Verfügung stehen, ist das Ableiten geeigneter Defaultwerte³ erforderlich. Dadurch kann mit generischen Daten und Defaultwerten eine Bestimmung der Hemerobie erfolgen.

Folglich lassen sich die Daten nach unterschiedlichen Ebenen differenzieren, nämlich nach den Bereichen der Flächenbelegung, den Bestandteilen der Basisdaten und den Ebenen der Datenquellen für Hemerobie.

Die Darstellung der Datengrundlage erfolgt in diesem Bericht somit differenziert nach diesen Ebenen. Auf Ebene der Bestandteile der Basisdaten erfolgt eine Gliederung der Darstellung der Daten nach Flächenbelegung, Flächennutzungsänderung und Hemerobie. Diese drei Ebenen werden wiederum nach folgenden Bereichen differenziert:

1. Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen
2. Agrarprodukte von Ackerflächen
3. Grünschnitt, Weidaufwuchs von Grünlandflächen
4. Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen (inkl. Halden etc.)
5. Infrastrukturen (Energieanlagen, Verkehrsflächen u.a.)

Im Kapitel Hemerobie werden die Daten je nach vorhandenem Datentyp entweder auf der spezifischen oder der generischen Ebene dargestellt.

Da dieser Bericht primär einer Datenherleitung und -sammlung entspricht, wird an dieser Stelle auf eine Zusammenfassung der Daten verzichtet und auf die Kapitel 3.2-3.4 verwiesen.

Vorschläge von Basisdaten für Flächenrucksäcke

Für die direkte Anwendung zur Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen erfolgt in Kapitel 4 dieses Berichts eine Zusammenstellung der Daten in Kapitel 3.2-3.4. Diese Basisdaten stehen einem breiten Anwendungsspektrum zur Verfügung.

Daten zur Normierung

Als optionalen Bestandteil der Wirkungsabschätzung enthält die (ISO 14044, 2006) die **Normierung**. Sie dient der Einschätzung der relativen Signifikanz der Indikatorergebnisse (Schmitz / Paulini, 1999). Für die Normierung von temporärer Flächenbelegung sind Basisdaten der gesamten Flächenbelegung und für die Charakterisierung nach Hemerobie die entsprechenden Daten zu den Hemerobieklassen erforderlich. All diese Daten müssen nach Landnutzungssystemen differenziert vorhanden sein. Zusätzlich dazu sind Daten über die Einwohnerzahl erforderlich für die Umrechnung auf die „pro-Kopf-Last“ (ausgedrückt durch den Einwohnerdurchschnittswert, EDW). Während die CRF⁴-Tabellen für 2018 für das UNFCCC die entsprechenden Flächenbelegungsdaten für Deutschland enthalten, werden die Hemerobieklassen und deren prozentuale Verteilung aus Kapitel 3.4 dieses Berichts entnommen.

Damit ergibt sich für die temporäre Flächenbelegung folgender Normierungsfaktor:

- ▶ Temporäre Flächenbelegung, nicht charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 4.308 \text{ m}^2 \cdot 1a$
- ▶ Temporäre Flächenbelegung, charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 1.128 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.}^5 \cdot 1a$

³ Defaultwert: Vorgabewert, der beim Fehlen eigener Daten verwendet bzw. bei Vorhandensein eigener Daten ersetzt werden kann.

⁴ Common Reporting Format (einheitliche Berichterstattung).

⁵ Artificielle-Fläche-Äquivalent

Für die Flächennutzungsänderung stellt sich die Normierung etwas komplexer dar, da die Referenzgröße die Differenz zwischen vorher und nachher abbildet. Diese Differenz stellt für den **nicht** charakterisierten Fall die Netto-Änderung gleichen Vorzeichens dar und drückt lediglich aus, in welchem Umfang es Flächennutzungsänderung gibt, nicht aber welche Qualitätsveränderung dadurch auftritt. Der Normierungsfaktor errechnet sich auf:

- ▶ Flächennutzungsänderung, nicht charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 5,08 \text{ m}^2$

Für den **charakterisierten** Fall werden die Daten zur Flächennutzungsänderung jeweils in Form der Nettoänderungen je Flächennutzungsart aufgeführt und den entsprechenden Hemerobieklassen und, daraus abgeleitet, den Charakterisierungsfaktoren zugeordnet. Aus der Differenz ergibt sich hier die Netto-Qualitätsveränderung. Hieraus wiederum wird die Gesamtbelegung in Hektar aF-Äq. umgerechnet. Daraus errechnet sich schließlich folgender Normierungsfaktor:

- ▶ Flächennutzungsänderung, charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 2,2 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.}$

Vorschlag zur Fortschreibung und Einbettung in Datenbanken

Eine Aktualisierung der Daten sollte nach jeweiliger Relevanz für die Flächenthematik erfolgen. Prozesse und folglich auch deren Produkte, die eine hohe Dynamik aufweisen, wie beispielsweise Anlagen zur Erzeugung von Strom, erfordern eine Revision in kürzeren Zyklen (z. B. fünf Jahre), im Gegensatz zu Prozessen und Produkten geringer Relevanz (Revisionszyklus mehr als fünf Jahre). Eine Aufwandseinschätzung ergibt, dass jeweils pro zu aktualisierenden Datensatz ein zeitlicher Aufwand von ca. ein bis zwei Monaten erforderlich ist.

Im Hinblick auf die Einbettung in Datenbanken wurde im Rahmen dieses Projektes festgestellt, dass die Daten des vorliegenden Projekts zum Flächenrucksack unmittelbar der Fortentwicklung von ProBas zu einer nationalen Datenbank beitragen können und entweder über LCA-Softwaretools oder Excel-Templates integriert werden können.

Schließen von Datenlücken

Das vorliegende Projekt hat eine umfassende Grundlage für eine konsistente Datenbank zu Flächendaten für Güter und Dienstleistungen erstellt. Es lag jedoch nicht im Umfang der Aufgabenstellung, eine vollständige Datengrundlage für jegliche Prozesse usw. zu erstellen. Datenlücken bestehen sowohl für den Bereich Landwirtschaft und Forst als auch bzgl. der temporären Flächenbelegung und Hemerobie von Wasserflächen (Binnengewässer wie Meer) und könnten im Rahmen zukünftiger Forschungsvorhaben geschlossen werden.

Summary

A final report in three parts was prepared for the project Land rucksacks of goods and services. The current Final Report Part III documents and explains the available data sets and provides references for all data sources. Final Report Part I describes the underlying methodology. Final Report Part II provides a detailed description of the results of a method test carried out in four case studies.

Purpose and objectives

Life cycle assessment (LCA) is a tool for carrying out analyses and evaluations across a range of systems considering of a wide spectrum of environmental impacts. By applying the life cycle principle, all types of products and services can be comprehensively assessed. As a result, key environmental impacts and burdens are identified and recommendations for action can be made to minimise these burdens.

In line with the usual dynamics of active research fields, the models for calculating environmental impacts in LCA are constantly in development to include novel findings. There are impact categories for which there is little change in model design (e.g. climate change) and those for which a number of competing models exist. In these cases, scientific consensus has yet to be reached.

Land use is among the categories still under debate. It has presented a challenge for international experts for many years. The UNEP⁶/SETAC⁷ -Life Cycle Initiative has made the issue of land use assessment a major focus and several approaches are available for assessing land use in life cycle assessments (e.g. (de Baan et al., 2013; Brandão / Milà i Canals, 2013; Chaudhary / Brooks, 2018b; Curran et al., 2016; Koellner et al., 2013; Lindner et al., 2019; Vidal-Legaz et al., 2016).

The German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) has published recommendations for a method for the impact category “Natural habitat use” (Schmitz / Paulini, 1999). In this approach, the quality of an area is characterised according to the degree of human impact intensity. The term *hemeroby*, a concept developed in landscape ecology, has become established for this. The method has since been further developed and applied (Fehrenbach et al., 2015). However, a major obstacle to the widespread application of this approach is the availability of robust generic data for products and services and the extension of the methodology to include any type of land use. The approach thus requires further methodological development and improved input data.

In the current research project “Land rucksacks of goods and services”, the key objectives were therefore an update of the method and the compilation of robust input data. Furthermore, an approach for integrating the data into a database that can be maintained and updated was proposed.

To present the underlying input data for the case studies described in Final Report Part II, a detailed compilation of the required data is described here. These were primarily compiled to provide a framework for the modelling of the case studies. However, the dataset created is far more comprehensive and may serve as a foundation for expansion into a complete database.

Database analysis

In the context of this report, the available LCA databases and related databases were analysed to determine whether they include data on temporary land occupation, land transformation and

⁶ United Nations Environment Programme

⁷ Society of Environmental Toxicology and Chemistry

hemeroby. This analysis is essential for the creation of an integrated database. Over the course of the project, both database systems containing relevant life cycle inventories on raw materials and energy systems (BMI, 2021; ecoinvent, 2020; IINAS, 2019; Probas, 2020; sphaera, 2021) and a range of other sources based on freely available openLCA software (GreenDelta, 2015, 2017, 2020; Poganietz et al., 2012; treeze, 2018) were explored. In addition, database systems such as the Life Cycle Data Network (LCDN) of the Joint Research Centre (JRC) (Europäische Kommission, 2018) and economic input-output table systems such as Exiobase (exiobase, 2015) were analysed. Official statistics compiled by Destatis (German Federal Statistical Office) and other statistical and governmental or semi-public institutions (e.g. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL) were also included.

The analysis shows that none of the databases included in the survey can provide the required data on "temporary land occupation", "direct" and "indirect land transformation" alone. However, (ecoinvent, 2020) is considered the most suitable source overall, because it provides almost complete documentation of both temporary land occupation and land transformation.

However, even (ecoinvent, 2020) is insufficient as the sole source of comprehensive baseline data for the land rucksack. Therefore, an approach for the data concept of the land rucksack is proposed, which uses a specially developed database on land occupation and land transformation of products and services as primary input data. The data used for modelling were published by the highest possible competence or official authority in the respective area, as well as data from original studies from the scientific literature. To fill data gaps, ecoinvent data can be consulted.

Data as generic values for different systems of use

In principle, land occupation and land transformation occur in the following sectors:

- ▶ Cultivation of biomass: arable land, grassland, forests.
- ▶ Extraction of raw materials (mineral, incl. ores or fossil fuels): mines, dumps.
- ▶ Infrastructure areas: buildings, transport areas, landfills.

The level of baseline data thus refers to these three sectors.

In addition, there is a further level of differentiation required for individual components of the baseline data. This level includes a. temporary land occupation data, b. land transformation data and c. hemeroby data. Combining these baseline data, the land rucksack for a final product may be calculated in an LCA.

Please note that while generic land occupation data are available from various standard sources, data on hemeroby are very limited. Thus, the establishment of a baseline for hemeroby is required. The baseline data on hemeroby compiled and developed in this project are partly based on specific data, others have a generic character. To guarantee the broadest possible applicability, the availability of generic data is essential. If only specific data are available, it is necessary to derive suitable default values⁸. In this way, generic data and default values can be used to determine the hemeroby.

In consequence, the data can be differentiated according to different levels, namely the categories of land occupation, the components of the baseline data and the levels of hemeroby data sources.

⁸ Default values may be used in the absence of own data or can be replaced in the presence of own data.

The baseline data in this report are thus presented separately according to these levels. At the level of the components of the baseline data, they are structured into land occupation, land transformation and hemeroby. These three levels are in turn differentiated according to the following categories:

1. wood and other raw materials from forests or forestry
2. agricultural products from arable land
3. removals of plant biomass from grassland areas
4. mineral and fossil raw materials from mining areas (incl. dumps etc.)
5. infrastructures (energy plants, transport areas, etc.)

In the chapter on hemeroby, the data are presented either at the specific or the generic level, depending on the type of data available.

As this report primarily corresponds to data inference and collection, a summary of the data is not included here, please see chapters 3.2-3.4.

Proposals of baseline data for land rucksacks

For direct application, i.e. to calculate the land rucksacks of goods and services, Chapter 4 of this report compiles the data in Chapters 3.2-3.4. These baseline data are available for a wide range of applications.

Normalisation data

As an optional part of the impact assessment, the (ISO 14044, 2006) includes **normalisation**. It serves to assess the relative significance of the indicator results (Schmitz / Paulini, 1999). For the normalisation of temporary land occupation, baseline data on total land occupation are required, and for characterisation by hemeroby, the corresponding data on hemeroby classes. All these data must be available differentiated by land use system. In addition to this, data on the number of inhabitants are required for the conversion to the "per capita burden" (expressed as the average inhabitant equivalent, IE)⁹. While the CRF¹⁰ tables for 2018 for the UNFCCC report the corresponding land occupation data for Germany, the hemeroby classes and their percentage distribution are adopted from Chapter 3.4 of this report.

This results in the following normalisation factor for the temporary land occupation:

- ▶ Temporary land occupation, before characterisation: $1 \text{ IA} = 4,308 \text{ m}^2 \cdot 1a$
- ▶ Temporary land occupation, after characterisation: $1 \text{ IA} = 1,128 \text{ m}^2 \text{ aa-eq.}^{11} \cdot 1a$

For land transformation, the normalisation is slightly more complex, as the reference value represents the difference between the condition before and after use. This difference represents the net change for the **uncharacterised** case and only expresses the extent to which there is land transformation, but not which quality change occurs as a result.

The normalisation factor is calculated as follows:

- ▶ Land transformation, before characterisation: $1 \text{ EDW} = 5,08 \text{ m}^2$

⁹ At European level the expression „normalisation factor (NF) per capita” is in use (Sala et al., 2017a)

¹⁰ Common reporting format

¹¹ Artificial area equivalent

For the **characterised** case, the land transformation data are listed in each case in the form of the net changes per land use type and assigned to the corresponding hemeroby classes and, derived from these, to the characterisation factors. The difference results in the net quality change here. From this, in turn, the total occupancy is converted into hectares aa-eq. Finally, the normalisation factor is calculated as follows:

- ▶ Land transformation, after characterisation: $1 \text{ EDW} = 2.2 \text{ m}^2 \text{ aa-eq.}$

Proposal for updating and integration into existing databases

Data should be updated according to their relevance to the topic of land use. Processes and consequently their products are highly dynamic. For instance, power plants require a revision in shorter cycles (e.g. five years), in contrast to processes and products of low relevance (revision cycle of more than five years). An estimate of the time and effort required indicates that each data set update will take approximately one to two months to complete.

For database integration, it is evident that the land rucksack data generated here can directly contribute to the further development of ProBas into a national database and can be integrated either via LCA software tools or Excel templates.

Future research to close data gaps

The present project has created a comprehensive baseline for a consistent database on land use data for goods and services. However, the creation of a complete database for all processes was outside the scope. Data gaps continue to exist for agriculture and forestry as well as for temporary land occupation and hemeroby of waterbodies (freshwater and marine). These should be closed in the context of future research projects.

1 Hintergrund zu diesem Teilbericht

Mit dem Vorhaben „*Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen*“ soll folgende Forschungsfrage beantwortet werden: Wie kann eine praktikable Methodik aussehen, um Fläche als Wirkungskategorie in der Ökobilanz zu verankern? Das übergreifende Ziel ist somit die Ausarbeitung eines entsprechenden Vorschlags der wissenschaftlich fundiert und anwendungsfähig ist. Damit verbunden sind transparente methodische Anleitungen, nachvollziehbare beispielhafte Anwendungen und die Bereitstellung eines Grundstocks an Daten bzw. Hinweise auf geeignete Datenquellen.

Aufbauend auf dem bereits bestehenden Ansatz einer Charakterisierung der Flächenbelegung mittels Hemerobie (Fehrenbach et al., 2015) sollen dessen Lücken für eine umfassende Anwendung auf alle wesentlichen Arten der Flächennutzung identifiziert und geschlossen werden.

Des Weiteren soll der Ansatz zu einem konsistenten Konzept eines „Flächenrucksacks“ weiterentwickelt werden. Dies schließt die temporäre Flächenbelegung (occupation) und die Flächennutzungsänderung (transformation) ein.

Im Teilbericht I wird die Methodik umfassend beschrieben und hergeleitet. Der Teilbericht II zeigt die Anwendung der Methode anhand von vier Fallbeispielen.

Im vorliegenden Teilbericht III findet sich eine Zusammenstellung von Daten zur temporären Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung, sowie umfassende Darstellungen zur Herleitung dieser Daten. Zunächst wird dabei in Kapitel 2 eine Analyse von vorhandenen Datenbanken durchgeführt mit der Fragestellung, inwieweit diese Daten zu Flächenbelegung, Flächennutzungsänderung sowie Informationen zur Hemerobie der Flächen beinhalten. Kapitel 3 stellt generische Daten für eine Reihe von grundlegenden Flächennutzungsarten und damit verbundenen Produkten zusammen. Der Schwerpunkt liegt auf relevanten Nutzungssystemen für die Fallbeispiele. Als Ergebnis daraus findet sich in Kapitel 4 eine Aufstellung von empfohlenen Basisdaten für die Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen. Die entsprechenden Faktoren für die Normierung sind in Kapitel 5 gegeben. Kapitel 6 schließlich weist auf Möglichkeiten der Fortschreibung der Daten sowie die Einbettung in Datenbanksysteme hin.

2 Analyse von Datenbanken

In diesem Kapitel werden die zur Verfügung stehenden Ökobilanz-Datenbanken bzw. verwandte Datenbanken oder -systeme analysiert im Hinblick darauf, ob sie Daten zur temporären Flächenbelegung, zur Flächennutzungsänderung und zur Hemerobie oder anderweitigen auf die Qualität oder Eigenschaft der Flächen verweisende Daten beinhalten. Außerdem wird erörtert, inwieweit diese Daten nachvollziehbar und kompatibel sind mit dem in Teilbericht I beschriebenen methodischen Ansatz. Auf Basis der Ergebnisse dieser Analyse wird entschieden, welche der Datenbanken geeignet sein kann als generelle Basisgrundlage oder als Fundus für einzelne Datensätze. Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit und für welche Prozesse es erforderlich ist, für einzelne Datensätze neue Daten zu generieren und inwieweit und für welche Prozesse es erforderlich ist, eine eigenständige Systematik für eine Datenbasis zu entwickeln.

Die Analyse erfolgte zum einen mit generellem Blick auf Datensätze für typischerweise flächenrelevante Prozesse oder Produkte (agrарische Güter, Bodenschätze). Zum anderen liegt der spezielle Fokus auf für die Fallbeispiele (Teilbericht II) relevanten Daten.

2.1 Auswahl der Datenbanksysteme und weiterer Quellen

Herangezogen wurden alle Datenbanksysteme, die relevante Sachbilanzen zu Rohstoffen und Energiesystemen enthalten. Hierunter fallen die in Deutschland für Ökobilanzen verbreitet eingesetzten Systeme wie:

- ▶ Probas (Probas, 2020)
- ▶ Ecoinvent3 (ecoinvent, 2020)
- ▶ GEMIS 4.95 (IINAS, 2019)
- ▶ GaBi (sphaera, 2021) (Mit der Basislizenz zu diesem kostenpflichtigen System sind nur in begrenztem Umfang Datensätze verfügbar)
- ▶ ÖKOBAUDAT (BMI, 2021)

Auf Basis der frei verfügbaren openLCA¹²-Software (openLCA, 2021) werden verschiedene weitere Datensatzsysteme verfügbar gemacht, wie z. B.:

- ▶ Bioenergiedat (Poganietz et al., 2012)
- ▶ PSILCA (GreenDelta, 2020)
- ▶ LC-Inventories (treeze, 2018)
- ▶ NEEDS-LCI database (GreenDelta, 2017)
- ▶ Agribalyse (GreenDelta, 2015)

¹² Life Cycle Assessment.

Außerdem wurden Datenbanksysteme aus anderen, auch außereuropäischen Ländern analysiert, wie z. B.:

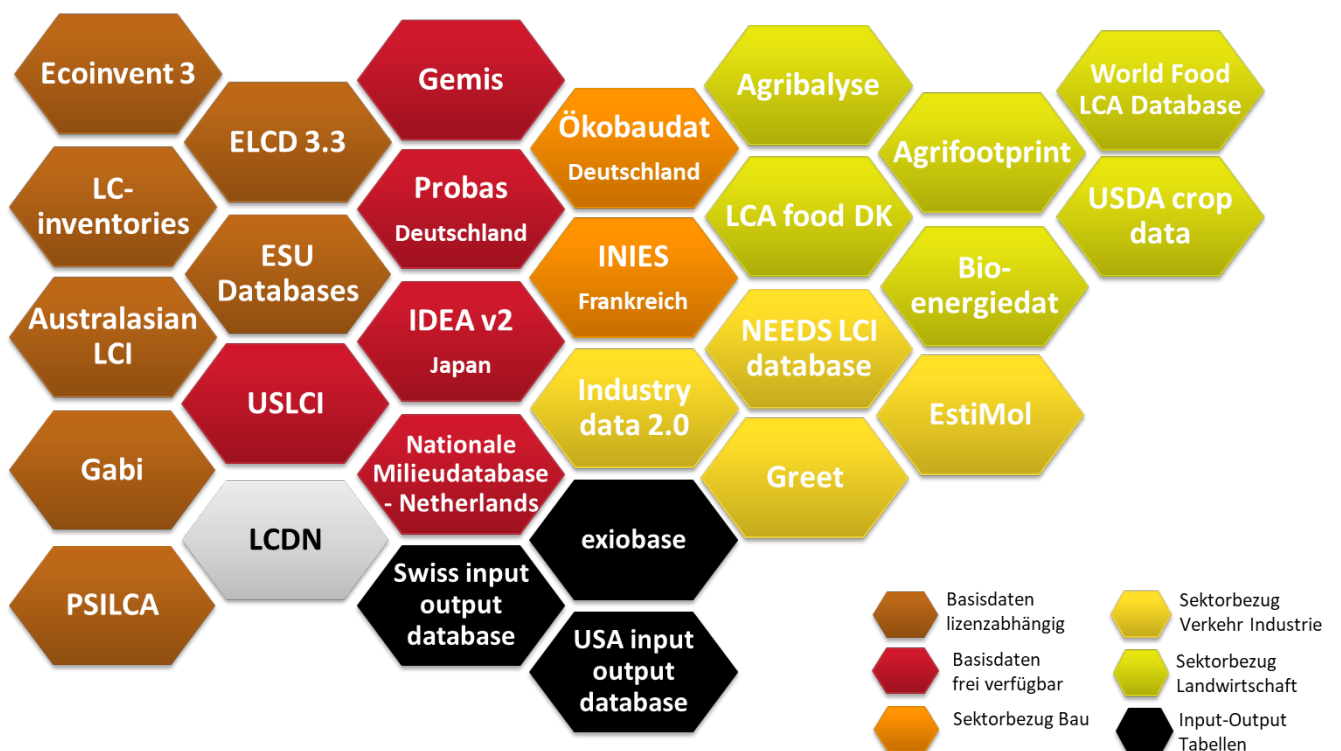
- ▶ das Life Cycle Data Network (LCDN) von Joint Research Center (JRC) (Europäische Kommission, 2018)
- ▶ das GREET-model aus den USA (Energy Systems Argonne National Laboratory, 2020)
- ▶ die Australian National Life Cycle Inventory Database (AusLCI) (AusLCI, 2011)
- ▶ die World food data base (Quantis, 2020)

Neben Quellen für „klassische“ LCI-Datensätze wurden auch volkswirtschaftliche Input-Output-Tabellen-Systeme nach flächenbezogenen Daten analysiert, wie z. B.:

- ▶ Exiobase (exiobase, 2015)
- ▶ Swiss input output database (Federal Statistical Office of the Swiss Confederation, 2014)

Abbildung 1 gibt einen Gesamtblick auf die untersuchten potenziellen Quellen für Sachbilanzdaten.

Abbildung 1: Überblick über die ausgewerteten LCA- und sonstigen Datenbanken



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

Die amtlichen Statistiken von Destatis (Statistisches Bundesamt) und anderen statistischen Einrichtungen stellen ebenfalls relevante Datenquellen dar.

2.2 Meta-Analyse zur Findung der am besten geeigneten Datengrundlagen

2.2.1 Vorgehensweise

Die Datensätze der einzelnen untersuchten Datenquellen wurden anhand von Qualitätskriterien zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung analysiert.

Auf dieser Grundlage wurden die am besten geeigneten Datengrundlagen in Form einer Meta-Analyse identifiziert (Abbildung 4). Hierzu wurde eine Reihe von mit dem UBA abgestimmten Kriterien herangezogen. Grundsätzlich sollten hier bereits grundlegende Aspekte angewandt werden, wie:

- ▶ Vollständigkeit bezüglich der Abdeckung der relevanten Rohstoffe und Energieträger,
- ▶ Konsistenz innerhalb der Methodik und
- ▶ Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Werte.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die Struktur des erstellten Datenblatts zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung am Beispiel von Braunkohleabbau aus (ecoinvent, 2020). Ecoinvent stellt für zahlreiche Ökobilanzdatensysteme eine fundamentale Grundlage dar, daher ist diese Quelle an dieser Stelle auch besonders hervorgehoben. Zu erkennen ist, dass Flächenbelegungsdaten (und auch Daten zu Flächennutzungsänderung) vorhanden sind. Die Daten sind jedoch in hohem Maße generisch und geben im Übrigen wenig zur Qualität der Fläche wieder.

Bei der Bearbeitung zeigte sich früh, dass viele der untersuchten Quellen keine oder nur sehr lückenhafte Sachbilanzdaten zu Flächen und insbesondere zur Flächenqualität kaum Informationen (v.a. in Bezug auf Hemerobie) enthalten. Die Auswertung der Analyse wird in Tabelle 1 zusammengefasst.

Abbildung 2: Datenblatt von Qualitätskriterien zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung; Beispiel: Braunkohleabbau aus ecoinvent 3.4 – Teil 1

Bearbeitung	10.11.17
Datenbank Name	Ecoinvent 3.4
Um welche Art Fläche geht es (Freitext)	Abbaufäche
Datensatz (Bezeichnung des Datensatzes in der Datenbank) [fett = betrachtet]	Lignite mine operation [RER]
Produkt und funktionelle Einheit	1 kg lignite at the lignite mine (Heizwert 9,9 MJ/kg)

Kriterien	Information im Datensatz vorhanden (Bezeichnung siehe Anlage 1.1)	Information aus Datensatz ableitbar (Anlage 1.2)	Keine Information
Angaben zur geographischen Systemgrenze			
– Geographische Auffindbarkeit (z.B. GPS Daten)	Gebietsbezeichnung Europa Durchschnitt		
– Angaben zum Biom (Temperatur/Feuchtigkeit) Es gibt sehr unterschiedliche Gliederungen, daher Verweis auf Anlage 1)			
Angaben zur zeitlichen Systemgrenze			
– Zeitdauer der Nutzung (ab wann ist die Fläche unter der spezifischen Nutzung)	„life time“ 20 a + 10 a Rekultivierung		
Angaben zur Korrelation mit fE (Einheit pro Fläche und Jahr: Keine Angabe auch dann, wenn nur mit Annahmen ableitbar)			
– Erntemenge kg/ha *a			
– Produktmenge (z.B. Milch, Fleisch) kg/ha *a			
– Rohstoffentnahme kg/ha *a	0,00111 m ² *a/kg ; 3,7e-5 m ² /kg; Abraum		
– z.B. bei Straßen Anzahl PKW/LKW /ha*a			
– Z.B. bei Energie (Stausee oder so) kWh/ha*a			

Quelle: (ecoinvent, 2020)

Abbildung 3: Datenblatt von Qualitätskriterien zur Einordnung von Datensätzen bezüglich Landnutzung; Beispiel: Braunkohleabbau aus ecoinvent 3.4 – Teil 2

Angaben zur technischen Systemgrenze – Art der Nutzung			
	Information im Datensatz vorhanden	Feingliederung im Datensatz vorhanden	wenn „ja“ siehe Anlage 2
Waldwirtschaft			
Landwirtschaft Ackerbau			
Landwirtschaft Weide			
Rohstoffabbau (mineralisch)	Ja		Ja
Versiegelung			

Angaben zur technischen Systemgrenze – Art der Umwandlung			
Information vorhanden	von	zu	Keine Angabe
Ja	Mineral extraction site	Annual crop	
Ja	Unspecified	Mineral extraction site	

Informationen zur Bewirtschaftungsweise (Freitext wenn Informationen vorhanden)
6 % underground in Europa, Rest opencast
Methodische Informationen zur Ökobilanz (z.B. Allokation) (Freitext wenn Informationen vorhanden)
Kein By-Product

Anlage 1

1.1 Bezeichnung des Bioms im Datensatz
1.2 Bezeichnung des abgeleiteten Bioms (Freitext)

Anlage 2

Feingliederung Art der Nutzung – Qualitative Informationen
Summe aus Infrastruktur, extraction und dump areas → Occupation, mineral extraction site
Keine Angabe zur Ausgangsnutzung der Fläche
Renaturierung und Nutzung als landwirtschaftliche Fläche

Quelle: (ecoinvent, 2020)

2.2.2 Auswertungsergebnisse

In Tabelle 1 werden wesentliche Ergebnisse der Analyse der untersuchten Datenbanksysteme zusammengefasst. Dabei werden nur die Datenbanksysteme aufgeführt, die als Primärquelle Flächendaten aufführen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Auswertung der Analyse von LCA-Datenquellen bezüglich Flächendaten

Datenbanken	Qualitative Angaben			Quantitative Angaben		
	Lokalisierung	Nutzungsdauer	Angaben Bewirtschaftungsweise	Spez. Flächenbelegung [m ² · a]	Spez. Flächenumwandl. [m ² · a]	Differenzierung der Flächen
Gemis 4.95	✓	✓	✓	✓		
Ecoinvent 3.4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Swiss Output database				✓	✓	✓
ELCD 3.3			✓	✓	✓	✓

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Abbildung 4: Vorhandene Datengrundlagen zur Flächenbelegung und -umwandlung



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

2.3 Schlussfolgerung aus der Datenanalyse und empfohlene Vorgehensweise

Die Analyse zeigt, dass keine der herangezogenen Datengrundlagen alleine für sich die erforderlichen Daten insgesamt zu a. „temporärer Flächennutzung“, zu b. „direkter“ und c. „indirekter Flächennutzungsänderung“ abdecken kann.

Als insgesamt am besten geeignete Quelle wird (ecoinvent, 2020) erachtet, weil hier eine weitgehend vollständige Abdeckung von sowohl temporärer Flächenbelegung (occupation) als auch von Flächennutzungsänderung (transformation) für die ganze Breite an Prozessen vorliegt. Außerdem stellt (ecoinvent, 2020) für viele andere Datenbanksysteme eine primäre Grundlage dar.

Dennoch kann auch (ecoinvent, 2020) nicht die alleinige und umfassende Datengrundlage für den Flächenrucksack erfüllen. Nachteilig sind dabei:

- ▶ Die Grundlage der Daten für Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung sind vielfach nicht transparent genug und ermöglichen auch keine regelmäßige Fortschreibung insbesondere bei Prozessen, die einer dynamischen Entwicklung unterliegen (z. B. bei Freiflächen-PV-Anlagen oder Agrarprodukten).
- ▶ Die Daten zur Flächenbelegung sind zwar verknüpft mit Flächenkategorien (z. B. „Occupation, annual crop, non-irrigated, intensiv“), die sich jedoch nicht (direkt) mit einem Charakterisierungsmodell verbinden lassen.

Allerdings besteht die Möglichkeit, die ecoinvent-Datenkategorien den Hemerobieklassen zuzuordnen (Fehrenbach et al., 2019). Es wird folgende Vorgehensweise für das Datenkonzept des Flächenrucksacks vorgeschlagen:

1. Als Grundstock für Daten zur Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung durch Produkte und Dienstleistungen wird eine breite Basis von eigenständigen Datensätzen aufgestellt, die sich auf die am besten geeignete Grundlage von Primärdaten beziehen.
2. Der Grundstock soll alle in besonderem Maße flächenrelevanten Aktivitäten abdecken, wie
 - a) Agrarprodukte
 - b) Forstprodukte
 - c) Produkte aus dem Rohstoffabbau
 - d) Wesentliche Infrastrukturflächen
3. Als Primärdatengrundlage wird die für den jeweiligen Bereich zuständige Institution herangezogen, die mit der höchstmöglichen Kompetenz (z. B. bei Kohlenabbau in Deutschland die Statistik der Kohlenwirtschaft) oder der amtlichen Zuständigkeit ausgestattet ist (z. B. für Agrarprodukte die Ernte-Statistiken des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), für Forstprodukte die Bundeswaldinventur, sowie Daten von Destatis oder Eurostat wo immer einschlägig vorhanden).
4. Diese Basisdatengrundlage kann im Rahmen dieses Projekts mit überwiegendem Fokus auf die Produktion in Deutschland erstellt werden (siehe die nachfolgenden Kapitel); eine Erweiterung auf den globalen Produktionsbereich ist bereits angelegt, kann aber im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden.
5. Für die Schließung von verbleibenden Lücken wird empfohlen, Daten zur Belegung und Flächennutzungsänderung aus (ecoinvent, 2020) zu entnehmen.

Das entscheidende an diesem Ansatz ist, dass damit die Daten in sich konsistent sind, da sie nach einer konsistenten Vorgehensweise erstellt werden.

3 Daten als generische Werte für unterschiedliche Nutzungssysteme

3.1 Unterschiedliche Datenebenen

Zur Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen sind Daten auf verschiedenen Ebenen erforderlich.

3.1.1 Bereiche in denen Flächenbelegungen und Flächennutzungsänderungen erfolgen

Zunächst gilt es zu verdeutlichen, dass die Elementarflüsse der temporären Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung in einem Lebenswegsystem an unterschiedlichen Stellen in Erscheinung treten. Diese lassen sich im Wesentlichen in drei Bereiche unterteilen:

- ▶ Anbau von Biomasse: Acker, Grünland, Wälder, Plantagen.
- ▶ Abbau von Rohstoffen (mineralisch, inkl. Erze oder fossil): Minen, Halden.
- ▶ Infrastrukturflächen: Bauwerke, Verkehrsflächen, Deponien.

Das bedeutet auch, dass die Basisdaten primär mit der Rohstoffbereitstellung verknüpft sind. Mit der Infrastrukturebene können auch direkt Dienstleistungen verbunden sein (Verkehrsfläche für Verkehrsleitungen, Deponierung für zu entsorgenden Abfälle). Die Flächenrucksäcke für Güter und Dienstleistungen im Sinne von Endprodukten¹³ sind über die Verarbeitungskette hin zu berechnen und stellen somit nicht den Input in einer Ökobilanz, sondern ein Ergebnis der Ökobilanz selbst dar. In Teilbericht II wird dies an den Fallbeispielen verdeutlicht.

Zur Veranschaulichung: Der Flächenrucksack eines Liters Rapsdiesel beruht im Ergebnis nicht nur auf der Flächenbelegung durch den Rapsanbau, sondern auch durch die Verarbeitungsschritte der Ölmühle, der Raffination und der Umesterung bzw. deren jeweiliger und kumulativer Umwandlungseffizienz.

Die Ebene der Basisdaten bezieht sich folglich ausschließlich auf die drei oben genannten Bereiche.

3.1.2 Bestandteile der Basisdaten

Die zweite Differenzierungsebene bezüglich der Basisdaten stellt sich wie folgt dar:

1. Daten zur temporären Flächenbelegung für den jeweiligen Referenzfluss (das wäre dann ein Rohstoff oder eine Dienstleistung wie z. B. ein Tonnenkilometer (tkm)) als spezifische Flächeneinheit in $m^2 \cdot a$ pro Referenzfluss.
2. Daten zur Flächennutzungsänderung für den jeweiligen Referenzfluss; als zweite spezifische Flächeneinheit in m^2 pro Referenzfluss.
3. Daten zur Hemerobie bzw. Einteilung der belegten Fläche (für Flächennutzungsänderung auch für den vorherigen Zustand) als Zuordnung in eine Hemerobiekategorie (I - VII) oder Anteile über mehrere Klassen.¹⁴

¹³ Nach (ISO 14040:2006 S. 4) zählen auch Dienstleistungen zu Produkten.

¹⁴ So kann sich bei einem generischen Datensatz für z. B. 1t Weizen aus Deutschland die Flächenbelegung zu x % auf Klasse IV, y % auf Klasse V und z % auf Klasse VI verteilen.

Aus der Synthese von 1 und 3 sowie 2 und 3 resultieren die Basisdatensätze (→ Kapitel 4) aus denen schließlich im Rahmen der Ökobilanz der Flächenrucksack für ein Endprodukt errechnet werden kann.

3.1.3 Ebene der Datenquellen für Hemerobie

Während für die Flächenbelegungsdaten generische Daten aus verschiedenen Standardquellen zur Verfügung stehen, fehlen solche zur Hemerobie fast vollständig. Die in Kapitel 2 ausgewerteten Datenbanken beinhalten hier so gut wie keine Informationen.

Für die Einzelfallbetrachtung ermöglichen die im Methodenbericht (Teilbericht I) beschriebenen Kriterienkataloge und Messgrößen eine zielsichere Einstufung konkreter Flächen (Forst, Acker, Grünland, Brachflächen, Rohstoffabbauflächen) in eine Hemerobiekategorie. Eine generische Einstufung von z. B. Weizenanbauflächen in Deutschland (oder anderswo) oder Forstflächen, von denen Kiefernholz stammt, liegt nicht vor.

Es ist eine der Aufgaben dieses Projekts, für eine möglichst weitgehende Zahl an flächenbelegenden Materialien generische Daten zu erstellen. Zumindest für diejenigen, die den Fallbeispielen zugrunde liegen, soll eine entsprechende Datensammlung vorhanden sein. Dies kann jedoch immer nur eine Annäherung an die tatsächliche Situation sein, die nur genau bestimmt werden kann, wenn man die Gesamtheit aller Flächen mit den Kriterien und Messgrößen bewertet. Im günstigsten Fall kann man sich auf Stichproben bzw. Einzeluntersuchungen beziehen, um eine plausible Übertragung auf den allgemeinen Fall zu begründen.

Die in diesem Projekt ausgearbeiteten Basisdaten beruhen somit teilweise auf spezifischen Daten, andere weisen generischen Charakter auf. Daten zur Roten Liste Artenanzahl pro 100 m² aus (Gottwald / Stein-Bachinger, 2017) sind beispielsweise spezifische Daten, da sie einem spezifischen Untersuchungsgebiet (Norddeutschland) angehören und explizit für dieses gültig sind. Daten auf Ebene des Bundeslandes wie Daten zur Schlaggröße von (OneSoil, 2019) weisen einen allgemeingültigeren Charakter auf.

Um eine möglichst breite Anwendbarkeit garantieren zu können, ist das Vorhandensein generischer Daten essenziell. Sofern ausschließlich spezifische Daten zur Verfügung stehen, ist das Ableiten geeigneter Defaultwerte erforderlich. Dadurch kann mit generischen Daten und Defaultwerten eine Bestimmung der Hemerobie erfolgen.

3.1.4 Strukturierung der folgenden Kapitel

Ausgehend von den beschriebenen verschiedenen Datenebenen wird für die nachfolgende differenzierte Darstellung der entwickelten generischen Daten folgende Struktur unterlegt:

1. Daten zu temporärer Flächenbelegung für
 - a. Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen
 - b. Agrarprodukte von Ackerflächen
 - c. Grünschnitt, Weideaufwuchs von Grünlandflächen
 - d. Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen (inkl. Halden etc.)
 - e. Infrastrukturen (Energieanlagen, Verkehrsflächen u. a.)
2. Daten zu Flächennutzungsänderung für
 - die gleiche Auswahl wie unter 1.
3. Daten zur Hemerobie für
 - die gleiche Auswahl wie unter 1.

3.2 Daten zu temporärer Flächenbelegung

3.2.1 Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen

Wie viel (Wald-)Fläche für die Produktion von Holz belegt wird, lässt sich für die deutsche Situation anhand der Daten der dritten Bundeswaldinventur (BMEL, 2016)¹⁵ beantworten. Die Daten zur Waldfläche, zur entnommenen Holzmenge und daraus abgeleitet zur spezifischen Flächenbelegung pro Kubikmeter Holz sind für den Wald und das Holz insgesamt sowie für die einzelnen Baumarten in Tabelle 2 zusammengestellt.

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass sich für die gesamte Waldfläche und die gesamte geerntete Holzmenge ein Faktor von $1.510 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$ ergibt. Differenziert nach Baumarten, ergibt sich eine Bandbreite von $802 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$ für Fichtenholz und bis zu $3.300 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$ für diverse Laubbaumhölzer. Das am meisten verbreitete Laubholz, die Buche, liegt bei $1.650 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$.

Tabelle 2: Gesamtflächen an Wald in Deutschland, geerntete Holz mengen und daraus abgeleitete Flächenbelegungen in $\text{m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$

	Fläche ^{a)} in Mio. ha		Holzmenge ^{b)} in Mio.m ³ /a	spez. Flächenbelegung in $\text{m}^2 \cdot \text{a}/\text{m}^3$	
	Nach Bestockungstyp	Nach rechn. Reinbestand		Bestockungstyp	rechn. Reinbestand
Waldfläche gesamt ^{c)}	11,42		75,7	1.510	
Eichen	0,98	1,13	3,15	3.095	3.587
Buchen	1,80	1,68	10,9	1.652	1.541
Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer	0,82	1,15	2,48	3.323	4.637
Andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer	0,63	0,77	1,95	3.251	3.949
Laubbäume, insgesamt	3,46	4,73	18,5	2.050	2.560
Fichten	3,18	2,76	39,7	802	695
Tannen	0,16	0,18	1,53	1.072	1.196
Douglasien	0,22	0,22	1,17	1.872	1.863
Kiefern	2,51	2,43	13,3	1.887	1.827
Lärchen	0,21	0,31	1,55	1.355	1.981
Nadelbäume, insgesamt	6,28	5,90	57,3	1.097	1.030

Quelle: (BMEL, 2016)

a) Waldfläche gesamt (95 % davon sind bestockter Holzboden)

b) Vorrat (Erntefestmaß ohne Rinde) des genutzten Bestandes

¹⁵ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

c) Die dauerhaft und rechtlich gesichert aus der Nutzung genommenen Waldflächen liegen nach (UBA) derzeit bei 2,8 %; in der dritten Bundeswaldinventur (BWI-3) werden für 0,45 Mio. ha angegeben, dass Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten ist.

Das geerntete Holz wird in verschiedene Sortimente unterschieden. Angaben lassen sich ebenso in der Bundeswaldinventur (Schmitz et al., 2017) sowie bei (Mantau et al., 2018) finden. Die Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Sie variieren zum einen aufgrund unterschiedlicher Zeithorizonte, aber auch hinsichtlich anderer Klassifizierungen.¹⁶

Die Frage ist nun, ob für die verschiedenen Sortimente unterschiedliche Flächenbelegungen zu differenzieren wären. Hierzu wäre eine Allokationsregel erforderlich. Denkbar wäre ein Ansatz über den Marktpreis der verschiedenen Sortimente. Dies würde in die Erstellung von Basisdaten jedoch eine erhebliche Unsicherheit bringen und für die Fortschreibung der Daten einen erheblichen Aufwand an Recherche von Wirtschaftsdaten erfordern. Daher wird davon abgesehen.

Alle verwerteten Holzsortimente werden daher mit dem gleichen Belegungsfaktor versehen, bzw. die Differenzierung erfolgt lediglich nach den Baumarten (siehe Tabelle 2).

Tabelle 3: Potenzial und jährliches Aufkommen an Rohholz in Deutschland

Sorte nach BWI-3 (Schmitz et al., 2017)	Jährliches Rohholzpotezial (2013-2052) in Mio.m ³ /a	Sorte nach (Mantau et al., 2018)	Rohholzaufkommen in Mio.m ³ /a
Stammholz	59,2	Sägestammholz	36,2
Industrieholz	11,2	sonstiges Derbholz	30,4
		Waldrestholz	7,4
Verwertbar	70,4		74,0
X-Holz ^{a)}	3,64		
sonst. Derbholz, inkl. U-Holz ^{b)}	3,77		
nicht verwertbar, inkl. X-Holz	7,41		
Ernteverlust	20,7		
		Rinde	4,3
Alle Sorten	98,4		78,3

a) Nach (Schmitz et al., 2017) ist X-Holz nicht verwertbares Derbholz bestehend aus Bäumen oder Teilen von Bäumen, für das Aufarbeitungskosten beispielsweise beim Absägen verfallener Teile entstehen.

b) Nach (Schmitz et al., 2017) beschreibt U-Holz nicht verwertbare Derbholzteile bestehend aus Bäumen oder Teilen von Bäumen, für die keine Aufarbeitungskosten entstehen.

Quelle: (Mantau et al., 2018; Schmitz et al., 2017)

¹⁶ (Mantau et al., 2018) zählen zu Sägestammholz nur das, welches explizit in Sägereien verarbeitet wird, unter sonstiges Derbholz zählt bei ihm neben dem Industrieholz auch das Stammholz von Laubbäumen, welches direkt in die energetische Nutzung geht, in der BWI jedoch als Stammholz gezählt wird.

3.2.2 Agrarprodukte von Ackerflächen

Daten zu den Hektarerträgen von Agrarprodukten, zur Anbaufläche und zu den Erntemengen finden sich beim Statistischen Bundesamt (Destatis, 2019d, 2020a) und beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL, 2020). Die vorhandenen gemittelten Daten sind in Tabelle 4 dargestellt. Sie umfassen Feldfrüchte unspezifischer Bewirtschaftungsart. Es sei darauf hingewiesen dass die Angaben von (BMEL, 2020) und (Destatis, 2019d, 2020a) die Gesamtheit konventionell und ökologisch bewirtschafteter Betriebe umfasst und eine Differenzierung nach Bewirtschaftungsart nicht vorliegt. Eine solche Differenzierung erfolgt in Tabelle 5 und Tabelle 6 auf der Basis von Ertragsdaten seitens (KTBL, 2020) für beide Bewirtschaftungsarten.

Tabelle 4: Flächenbelegung durch den Anbau von Feldfrüchten (unspezifisch)

Feldfrucht/ Agrarprodukt	Bewirtschaftungs- art	Ertrag in dt / (ha · a)	Temporäre Flächenbelegung in m ² · a/kg	Quelle
Körnermais	unspezifisch	94,9	1,05	(BMEL, 2020)
Silomais	unspezifisch	422,2	0,24	(Destatis, 2019d)
Sommergerste	unspezifisch	53,3	1,88	(BMEL, 2020)
Sommerweizen	unspezifisch	52,0	1,92	(BMEL, 2020)
Sonnenblume	unspezifisch	20,8	4,81	(Destatis, 2019d)
Speisekartoffel	unspezifisch	429,1	0,23	(BMEL, 2020)
Stärkekartoffel	unspezifisch	429,1	0,23	(BMEL, 2020)
Wintergerste	unspezifisch	71,9	1,39	(BMEL, 2020)
Winterhafer	unspezifisch	44,8	2,23	(BMEL, 2020)
Winterraps	unspezifisch	37	2,70	(BMEL, 2020)
Winterroggen	unspezifisch	53,2	1,88	(BMEL, 2020)
Winterweizen	unspezifisch	77,6	1,29	(BMEL, 2020)
Zuckerrübe	unspezifisch	680,1	0,15	(Destatis, 2020a)
Palmöl (importiert)	unspezifisch	38	2,63	(Fehrenbach et al., 2016)

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Tabelle 5: Flächenbelegung durch den konventionellen Anbau von Feldfrüchten (unspezifisch)

Feldfrucht/Agrarprodukt	Bewirtschaftungsart	Ertrag in t / (ha · a)	Temporäre Flächenbelegung in m ² · a/kg	Quelle ^{a)}
Futtermübe	konventionell	90	0,11	(KTBL, 2020)
Kartoffel	konventionell	45	0,22	(KTBL, 2020)
Körnermais	konventionell	9,77	1,02	(KTBL, 2020)
Silomais	konventionell	44	0,23	(KTBL, 2020)
Sommeracker-bohne	konventionell	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Sommererbsen	konventionell	3,45	2,9	(KTBL, 2020)
Sommergerste	konventionell	5,92	1,69	(KTBL, 2020)
Sommerhafer	konventionell	4,44	2,25	(KTBL, 2020)
Sommerweizen	konventionell	5,92	1,69	(KTBL, 2020)
Sonnenblume	konventionell	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Wintergerste	konventionell	6,89	1,45	(KTBL, 2020)
Winterraps	konventionell	3,5	2,86	(KTBL, 2020)
Winterroggen	konventionell	5,91	1,69	(KTBL, 2020)
Winterroggen (Ganzpflanzen-Silage)	konventionell	40	0,25	(KTBL, 2020)
Winterweizen	konventionell	7,89	1,27	(KTBL, 2020)
Winterweizen (Ganzpflanzen-Silage in der Biogasproduktion)	konventionell	40	0,25	(KTBL, 2020)
Zuckerrübe	konventionell	60	0,17	(KTBL, 2020)

a) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Tabelle 6: Flächenbelegung durch den ökologischen Anbau von Feldfrüchten

Feldfrucht/ Agrarprodukt	Bewirtschaftungs- art	Ertrag in t / (ha · a)	Temporäre Flä- chenbelegung in m ² · a/kg	Quelle
Dinkel mit Spelz	ökologisch	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Futterrübe	ökologisch	45	0,22	(KTBL, 2020)
Körnermais	ökologisch	5,7	1,75	(KTBL, 2020)
Silomais	ökologisch	30,8	0,32	(KTBL, 2020)
Sommeracker- bohne	ökologisch	3,45	2,9	(KTBL, 2020)
Sommererbsen	ökologisch	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Sommergerste	ökologisch	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Sommerhafer	ökologisch	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Sommerraps (Zwi- schenfrucht)	ökologisch	41	0,24	(KTBL, 2020)
Sommerroggen (Futterroggen)	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Sommerweizen	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Sonnenblume	ökologisch	2,96	3,38	(KTBL, 2020)
Speisekartoffel	ökologisch	25	0,4	(KTBL, 2020)
Wintergerste	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Winterraps (Zwi- schenfrucht)	ökologisch	41	0,24	(KTBL, 2020)
Winterroggen	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Winterroggen (Fut- terroggen)	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Winterweizen	ökologisch	3,94	2,54	(KTBL, 2020)
Winterweizen (Ganzpflanzen-Si- lage in der Biogas- produktion)	ökologisch	26,4	0,38	(KTBL, 2020)
Zuckerrübe	ökologisch	50	0,2	(KTBL, 2020)

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

3.2.3 Grünschnitt, Weideaufwuchs von Grünlandflächen

Daten zu Dauergrünlandflächen und Erträgen von (Destatis, 2019a, 2021a; MLR, n.d.) und (Klöble, 2010) sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Gesamtflächen an Grünland in Deutschland, Erntemengen und daraus abgeleitete Flächenbelegungen in $m^2 \cdot a/kg$

	Fläche ^{a)} in Mio. ha	Erntemenge ^{b)} in Mio. t/a	spez. Flächenbelegung in $m^2 \cdot a/kg$
Grünland gesamt	4,7	27	1,74
Wiesen (Schnittnutzung)	1,9	12	1,58
Weiden (einschließlich Mähweiden und Almen)	2,6	15	1,73
Ertragsarmes Dauergrünland	0,2	1 ^{c)}	2
Dauergrünland Ökolandbau	0,67	6,03 ^{d)}	1,11

a) Quelle: (Destatis, 2019a)

b) Quelle: (Destatis, 2021a)

c) Quelle: (MLR, n.d.)

Berechnung basiert auf der Annahme von 50 dt/ha auf Basis von 35 dt bis 100 dt/ha aus (MLR, n.d.)

d) Quelle: (Klöble, 2010)

3.2.4 Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen

3.2.4.1 Gesteine

Folgende Flächen sind für die Flächenbelegung von Gesteinen, die im Tagebau abgebaut werden, anzurechnen:

- ▶ Unter Abbau befindliche Fläche
- ▶ Standfläche der mobilen Fördertechnik
- ▶ Betriebsgebäude und Aufbereitungsanlagen
- ▶ Stationäre Fördertechnik (Maschinen, Förderbänder, Eisenbahntrassen, Gondelsysteme)
- ▶ Fahrwege
- ▶ Lagerhalden
- ▶ Abraumhalden und Schutthalden

Spezifische Flächenbelegung: Fläche unter Abbau

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) veröffentlicht jährlich einen Rohstoffbericht, in dem Flächenäquivalente für die im Jahr 2016 abgebauten Rohstoffmengen enthalten sind (Andruleit et al., 2017). Die Flächenäquivalente berechnen sich aus der abgebauten

Menge, der durchschnittlichen Abbautiefe und der Dichte der Gesteine. Tabelle 8 enthält die Angaben des BGR (Andruleit et al., 2017) für ausgewählte Steine und Erden.¹⁷ Aus der in einem Jahr abgebauten Menge und Flächenäquivalente kann die spezifische Flächenbelegung pro Jahr und Tonne Gestein berechnet werden. Diese Flächenbelegung beschreibt die direkt unter Abbau befindliche Fläche.

Tabelle 8: Flächenäquivalente für im Jahr 2016 abgebaute Steine und Erden

Rohstoffgruppe	Menge [Mio. t/a]	Dichte [t/m ³]	Abbautiefe / Mächtigkeit [m]	Flächenäquivalent [km ² /a]	Spezifische Flächenbelegung [m ² *1a/t]
Bausand, Baukies etc.	247	1,8	15	9,15	0,037
Gebrochene Natursteine	218	2,6	25	3,35	0,015
Kalk- und Dolomitsteine	53,2	2,6	25	0,82	0,015
Lehm- und Ziegelton	14,8	2,2	5	1,35	0,091
Gips- und Anhydridstein	3,97	2,0	10	0,20	0,050
Bims, Trass und Tuffstein	1,5	0,3	15	0,33	0,221

Quelle: (Andruleit et al., 2017)

Spezifischer Flächenverbrauch der Betriebsfläche und Halden

Zu den Betriebsflächen und Halden zählen sowohl die Standfläche der mobilen und stationären Fördertechnik als auch Lagerhalden, Abraumhalden und Betriebsgebäude sowie Aufbereitungsanlagen. Die Flächengröße der Tagebau-Betriebsflächen in Sachsen-Anhalt betrug im Jahr 2009 577 Hektar (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012). Dies ergibt sich aus der Verrechnung der Menge an in Sachsen-Anhalt abgebauten Steinen und Erden (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012) und den durchschnittlichen Abbautiefen aus (Andruleit et al. 2017).

Abraumhalden und Schutthalden

Nach dem Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2019 (Kimmig et al., 2020) liegt der Anteil des Abraums beim Abbau von Kiesen und Sanden bei 8 % und für Natursteine, die als Festgesteine entnommen werden, bei ca. 15 %.

Vereinfachend wird an dieser Stelle angenommen, dass die Abraumhalde die gleiche Mächtigkeit (Höhe) einnimmt wie das Gesteinsvorkommen. Da der nicht verwertbare Anteil an Gesteinen nur für eine begrenzte Anzahl an Steinbrüchen und Gruben vorliegt, wird von einer gesteinspezifischen Flächenermittlung abgesehen und eine Mittelwertbildung für Festgesteine sowie Sande und Kiese vorgenommen. Die Ermittlung der Flächenbelegung ergibt sich aus der Multiplikation der spezifischen unter Abbau befindlichen Fläche und den genannten Anteilen von 8 % bzw. 15 % (siehe Tabelle 9).

Lagerhalden

Vereinfachend wird an dieser Stelle angenommen, dass die Lagerhalden die gleiche Mächtigkeit (Höhe) einnehmen wie das Gesteinsvorkommen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Gesteinsware zu einem Großteil direkt an die Kunden abtransportiert wird. Unter der

¹⁷ Die zugrunde gelegten Daten sind auch in neueren Berichten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unverändert.

Annahme, dass nur 50 % der Gesteinsware im Steinbruch auf Lager liegt, wird für die Lagerhal- den die Hälfte des Flächenbedarfes des Gesteinsabbaus zugrunde gelegt. Für die Berechnung der spezifischen Flächenbelegung pro Tonne Gestein wird die Fläche unter Abbau halbiert (siehe Ta- belle 9).

Fahrwege

Nach (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012) beträgt die Fläche von Fahrwegen ca. 1 bis 2 % der Stein- bruchfläche. Demnach würden die Fahrwege ca. 110 Hektar der in Sachsen-Anhalt durch Roh- stoffgewinnung betroffenen Flächen einnehmen. Demgegenüber steht die in Sachsen-Anhalt be- rechnete unter Abbau befindlichen Fläche von 100 Hektar.

Für die Berechnung der spezifischen Flächenbelegung pro Tonne Gestein wird die Mächtigkeit einbezogen, da davon auszugehen ist, dass die absolut durch Fahrwege belegte Fläche von der Größe des Steinbruchs abhängig ist. Die Berechnung basiert deshalb auf den spezifischen Abbau- flächen, die mit dem Faktor 1,1, als Verhältnis von 110 Hektar Fahrwege und 100 Hektar unter Abbau befindlichen Fläche, multipliziert wird (siehe Tabelle 9).

Betriebsgebäude und Aufbereitungsanlagen

Nach (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012) beträgt die Fläche von Betriebs- und Aufbereitungsanlagen ca. zwei Hektar. Je nach Steinbruchgröße entspricht dies 6–9 % der Gewinnungsstätten. Bei 190 aktiven Steinbrüchen im Jahr 2009 wären in Sachsen-Anhalt ca. 380 Hektar mit Betriebs- und Aufbereitungsanlagen belegt (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012). Diese Fläche wird mit der in Sach- sen-Anhalt gewonnenen Masse an Steinen und Erden verrechnet. Daraus ergibt sich eine durch- schnittliche spezifische Flächenbelegung, welche für alle Steine und Erden angesetzt wird (siehe Tabelle 9).

Standfläche der mobilen Fördertechnik und stationäre Fördertechnik

Es liegen keine Informationen vor, nach denen die Standflächen der Fördertechnik separat abge- schätzt werden können. Deshalb wird angenommen, dass diese in der Fläche der Betriebsge- bäude und Aufbereitungsanlagen bereits integriert ist.

Tabelle 9 beinhaltet die für den Abbau von Steinen und Erden anzurechnenden spezifischen Flä- chenbelegungen.

Tabelle 9: Spezifische Flächenbelegung der Nutzungskategorien für ausgewählte Steine und Erden

Spez. Flächenbelegung/ Nutzungskategorie	Fläche unter Abbau [m ² ·1a/t]	Abraumhalden und Schutthalden [m ² ·1a/t]	Lagerhalden [m ² ·1a/t]	Fahrwege [m ² ·1a/t]	Betriebsgebäude, Anlagen, Technik [m ² ·1a/t]
Bausand, Baukies etc.	0,037	0,003	0,019	0,041	0,096
Gebrochene Natursteine	0,015	0,003	0,008	0,017	
Kalk- und Dolomitsteine	0,015	0,003	0,008	0,017	
Lehm- und Ziegelton	0,091	0,003	0,046	0,100	
Gips- und Anhydridstein	0,050	0,003	0,025	0,055	
Bims, Trass und Tuff- stein	0,221	0,003	0,110	0,243	

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, Berechnungen basierend auf (Andruleit et al., 2017)

3.2.4.2 Braunkohle

Nach Daten der (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019) liegt die Gesamtbetriebsfläche der Braunkohletagebaue in Deutschland seit Beginn der 90er Jahre beständig in einem Bereich zwischen 50.000 und 70.000 ha (Tabelle 10). Die jährlich geförderte Kohlemenge beträgt im Durchschnitt etwa 180 Mio. t. Daraus errechnet sich eine Flächenbelegung von ca. $3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{t}$, die deutlich über dem Wert liegt, der sich ergibt, wenn man nur die jährlich aktiv unter Abbau befindliche Fläche auf die entsprechende Fördermenge bezieht.

Berechnungen des UBA gehen hierfür auf der Basis von BGR-Daten¹⁸ von 2 Hektar pro Tag im Mittel über die Jahre 2015 bis 2019 aus. Das entspricht ca. 730 Hektar pro Jahr, woraus sich eine Belegung von $0,048 \text{ m}^2/\text{t}$ errechnet (Umweltbundesamt, 2021). Dies liegt um einen Faktor 70 niedriger bei einer Umlage der jährlichen Fördermenge auf die jährlich offenliegende Betriebsfläche, wobei dieser Zahl die Zeitdimension fehlt. Unterstellt man nun 70 Jahre für eine Wiederherstellung einer Nutzbarkeit für andere Zwecke und multipliziert diese von UBA ermittelte zeitlich und räumlich auf den Abbauprozess begrenzte Belegung mit der 70 Jahre lang belegten Zeit, wird der gleiche Belegungswert erzielt.

Tabelle 10: Daten zur Bestimmung der Flächenbelegung von einer Tonne Braunkohle

Abbau, Rohstoffförderung	Deutschland 2018	Einheit	Datenquelle
Betriebsfläche	53.923	ha/a	(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)
Fördermenge	166,3	Mio. t/a	(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)
Belegung	3,24	$\text{m}^2 \cdot 1\text{a}/\text{t}$	Berechnet aus Betriebsfläche pro Fördermenge
Errechnung: langfristig nicht verfügbare Fläche:			
Landinanspruchnahme seit 1900	177.309	ha	(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)
Gesamtfördermenge	25.697	Mio. t	(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)
Fläche pro geförderter Tonne Kohle	0,069	m^2/t	Berechnet aus Landinanspruchnahme pro Fördermenge
Zeitdauer terrestrische Fläche	20	Jahre	Abschätzung basierend auf: (LMBV, 2009, 2015; Schlenstedt et al., 2009; Szarek-Łukaszewska / Grodzińska, 2007)
Zeitdauer aquatische Fläche	60	Jahre	Abschätzung basierend auf: (Frauendorf, 2002; LMBV, 2009, 2015; LUA, 2001; Sloss, 2013)
Anteil terrestrische Nachnutzung	87	%	(Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)
Anteil aquatische Nachnutzung	13	%	= volumenbezogenes Abraum-zu-Kohle-Verhältnis (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019)

¹⁸ Die UBA-Berechnung bezieht sich auf Daten von BGR (DERA) und Destatis (Umweltbundesamt, 2021), wobei die Fördermengen mit denen der (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019) identisch sind.

Abbau, Rohstoffförderung	Deutschland 2018	Einheit	Datenquelle
Zusätzliche langfristig nicht verfügbare Fläche:			
terrestrisch	1,20	m ² ·1a/t	Berechnet anhand der vorangehenden Daten
aquatisch	0,54	m ² ·1a/t	Berechnet anhand der vorangehenden Daten
langfristig nicht verfügbar	1,74	m ² ·1a/t	Berechnet anhand der vorangehenden Daten
SUMME Belegung	4,98	m²·1a/t	Berechnet anhand der vorangehenden Daten

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu

3.2.4.3 Zusammenstellung der Flächenbelegungs-faktoren

In nachfolgender Tabelle sind die Daten zur Flächenbelegung von mineralischen und fossilen Rohstoffen zusammengestellt.

Tabelle 11: Flächenbelegungen für mineralische und fossile Rohstoffe

Rohstoffe	spez. Flächenbelegung in m ² · a/kg	Quelle
Gesteine		
Bausand, Baukies etc.	0,000196	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
gebrochene Natursteine	0,000139	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
Kalk- und Dolomitsteine	0,000139	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
Lehm- und Ziegelton	0,000336	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
Gips- und Anhydridstein	0,000229	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
Bims, Trass und Tuffstein	0,000673	Eigene Berechnung (siehe Kap. 3.2.4.1)
Kohle		
Braunkohle	0,00498	Eigene Berechnung, (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019) (siehe Kap. 3.2.4.2)
Steinkohle (Mix Einsatz in Deutschland)	0,00321	Mix berechnet nach (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019) mit folgenden Datensätzen
- Russland (Tagebau und untertage)	0,0027	(ecoinvent, 2020)
- USA (Tagebau)	0,003725	(ecoinvent, 2020)
- Kolumbien (Tagebau und untertage)	0,003725	(ecoinvent, 2020)

Rohstoffe	spez. Flächenbelegung in m ² · a/kg	Quelle
- Australien (Tagebau)	0,003725	(ecoinvent, 2020)
- Südafrika (Tagebau)	0,003725	(ecoinvent, 2020)
Erdöl (Mix Einsatz in Deutschland)	0,0000096	Mix berechnet nach (BAFA, 2016) mit folgenden Datensätzen: (ausgehend insgesamt von 66 % an Land)
- Russland (an Land)	0,0000147	(ecoinvent, 2020)
- Nigeria (an Land)	0,0000147	(ecoinvent, 2020)
Erdgas (Mix Einsatz in Deutschland)	0,0000069	(ecoinvent, 2020) (Abbau- und Betriebsfläche)
Eisenerz (46 %)	0,00012	(ecoinvent, 2020)
Eisenerz (63 %)	0,00119	(ecoinvent, 2020)

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu

3.2.5 Infrastrukturen

Die folgende Zusammenstellung konzentriert sich auf die Flächenbelegung durch Infrastrukturen des Energiesektors und Verkehrswege. Für den Energiesektor liegt dabei der Fokus auf:

- ▶ Windenergieanlagen (WEA) (an Land)
- ▶ Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen (PV-FFA)
- ▶ Solarkraftwerke, Standort MENA-Region (Region Naher Osten Nordafrika, engl. Middle East North Africa)
- ▶ Thermische Kraftwerke
- ▶ Übertragungsnetze

Den ersten drei Anlagenarten ist besonders viel Aufmerksamkeit zu widmen, weil für sie bislang kaum Datensätze in den üblichen Ökobilanzdatendanken vorhanden sind und sie für die Umsetzung der Energiewende zentrale Technologien darstellen. Sie stehen im Übrigen im Zentrum der Fallbeispiele Strom und „grüner“ Wasserstoff bzw. strombasierte Kraftstoffe (vgl. Teilbericht II).

3.2.5.1 Windenergieanlagen (WEA) an Land

Da das Konzept von Flächenrucksack und Hemerobie bislang nicht für Meeresflächen und marine Ökosysteme ausgelegt ist, beschränkt sich die Betrachtung hier ganz auf WEA an Land.

Ansatz zur Bestimmung der Flächenbelegung durch Windenergieanlagen

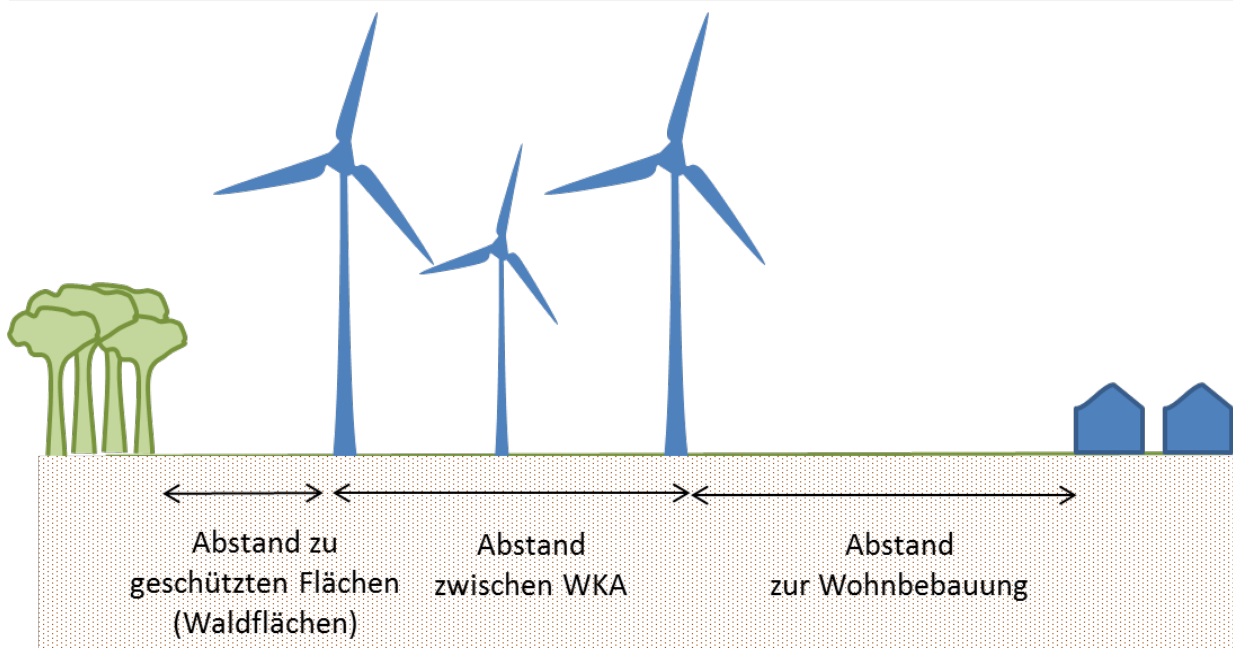
Zunächst gilt auch an dieser Stelle das Grundprinzip des Konzepts des Flächenrucksacks, wonach einem Produkt oder Dienstleistung nur die Fläche als Belegung anzurechnen ist, die nicht für andere Nutzungen (sprich für die Bereitstellung anderer Produkte oder Dienstleistungen) zur Verfügung stehen.

Nutzungskonflikte wie Lärm- und Verschattungsbelastigung von Anwohner*innen, Erholungswert einer Landschaft und Konflikte mit dem Naturschutz (z. B. Vogelschlag im Luftraum) sind

nicht Gegenstand des auf Flächenbelegung, Flächennutzungsänderung und Hemerobie bezogenen Flächenrucksacks. Damit begründet sich auch, dass Aspekte wie die von Abstandsflächen, die sich aus der Vermeidung anderer Nutzungskonflikte ergeben, keine Berücksichtigung finden (siehe folgender Kasten).

Aspekt der Abstandsregelungen

Im Rahmen der Genehmigung ist der Abstand zur Wohnbebauung eine zentrale Größe und dürfte neben der Frage der Windhöflichkeit und dem spezifischen Artenschutz eine entscheidende Restriktion für das Ausbaupotenzial darstellen. Nach dem Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG) ist der Mindestabstand zur Wohnbebauung so einzuhalten, dass der vorgeschriebene Grenzwert (bspw. max. 40 dB(A) nachts in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten) nicht überschritten wird. Die Bundesländer haben eigene Abstandsvorgaben, teilweise unterschiedlich nach Art der Flächenausweisung. Beispiele für Vorgaben sind < 1.000 m bis hin zum Zehnfachen der Anlagenhöhe in Bayern (siehe u. a. (FA Wind, 2017c)). Der Abstand zwischen Windenergieanlagen (WEA), sprich innerhalb eines Windparks, soll nach (Ratzbor, 2012) in Hauptwindrichtung mindestens das Fünffache und in Nebenwindrichtung mindestens das Dreifache des Rotordurchmessers betragen. In der Praxis werden diese Abstände aber häufig unterschritten. Damit definiert sich im Grunde die maximale Leistung einer bestimmten Fläche eines Windparks. Besondere Relevanz haben naturschutzfachlich bedingte Einschränkungen. Hier sind vielfach im Einzelfall Regelungen erforderlich. Für Flächennutzung relevante Abstandsregelungen für Windenergieanlagen:



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

Die Abstandsfläche zwischen WEA und einer Siedlung, zu einer benachbarten WEA sowie zu einem Schutzgebiet steht i. d. R. einer Nutzung zur Produktion eines Wirtschaftsguts zur Verfügung. Daher wird gemäß obiger Definition die Abstandsfläche für die Bestimmung der Flächenbelegung für die WEA nicht berücksichtigt.

Differenzierung Standorte im Offenland und Wald

Das oben genannte Prinzip grenzt damit die explizit der Windenergie zuzurechnende Flächenbelegung stark ein. Gerade im agrarischen Bereich ist z. B. davon auszugehen, dass Einschränkungen für den Anbau erst im unmittelbaren Grenzbereich zur bebauten Grundfläche der Anlage auftreten. Für Standorte im Wald sind im Bereich um die Anlage dagegen Veränderungen der Flächenqualität und ihrer Nutzungsmöglichkeiten gegeben. Deshalb wird im Folgenden zwischen dem Ansatz für Standorte im Offenland und solchen im Wald differenziert.

Technische Basiswerte für die Bilanzierung angesetzte WEA

Um einen Bezug zwischen der zu bewertenden Kilowattstunde Strom und der dazu belegten Fläche herzustellen, ist die durchschnittliche Situation der installierten Anlagen zugrunde zu legen. Diese sind in Tabelle 12 zusammengestellt, wobei zwei Situationen unterschieden werden:

1. Bestandsanlagen, deren gemittelte Werte für die Beschreibung der IST-Situation angesetzt werden
2. Anlagenzubau, dessen gemittelte Werte für die Modellierung von Anlagensituationen in zukünftigen Jahren eingesetzt werden (z. B.: 2030: x % Bestand und y % Zubau)

Tabelle 12: Technische Basiswerte für die zur Bilanzierung angesetzten WEA

Technischer Parameter	Bestandsanlagen ^{a)}	Zubau 2017 ^{b)}	Einheit
Turmhöhe	95,3	128	m
Rotorradius	39,8	56,5	m
Nennleistung	1.918	2.976	MW
Volllaststunden (Mittel)	1.760	2.350	h/a
Stromerzeugung	3.376	6.994	MWh/a
Betriebszeit	20,0	25,0	a
Lebenszeiterzeugung	67.513	174.840	MWh

MW: Megawatt; MWh: Megawattstunde

Quellen: a) und b) konsolidiert durch UBA nach (Deutsche Windguard, 2019) im Zeitraum von 2016–2019.

Weitere Quellen zum Abgleich: (Bofinger et al., 2012; FA Wind, 2017a; Lüers et al., 2017; Reichenbach et al., 2015)

Aspekt der gesetzlich vorgeschriebenen Kompensation für die Errichtung von WEAs

Die Errichtung und der Betrieb von WEAs unterliegen der Kompensationspflicht für den Eingriff in den Naturraum. Man könnte somit argumentieren, dass durch die Kompensation die ökologische „Netto“-Auswirkung einer Anlage Null beträgt. Und so entspricht es auch dem Naturschutzrecht (BNatSchG 2009, §§ 13ff).

Für die Erstellung von Sachbilanzdaten zur Ökobilanzierung greift dieser Aspekt jedoch nicht. Kompensationsleistungen werden im Ökobilanz-Kontext als Offsets bezeichnet, die nicht berücksichtigt werden dürfen. Wäre dies zulässig, müssten z. B. auch industrielle Emissionen, die durch den Emissionshandel kompensiert werden, in der Ökobilanz des entsprechend erzeugten Produkts von den Treibhausgasemissionen entlastet werden. Durch die Ausgleichsmaßnahmen werden indes größere Flächen der Ackernutzung entzogen als durch die Windenergieanlagen belegt werden.

Flächenbelegung im Offenland (Bestandsanlage)

Unter Offenland sind Agrarflächen, Acker- und Grünland zu verstehen, d. h. Flächen, die in aller Regel bis dicht an den Turmfuß einer WEA mehr oder weniger unbeeinträchtigt genutzt werden können. Folgende Punkte werden bei der Bestimmung der Flächenbelegung durch Windenergie im Offenland als relevant angesehen. Die Qualität der Fläche für die Einordnung in die Hemerobiekategorie wird dabei mitbetrachtet, um später (Kapitel 3.4.6.1) die Charakterisierung der Gesamtfläche einer WEA zu ermöglichen.

1. Turmfuß:
Dies ist definitiv eine vollständig überbaute, versiegelte Fläche.
Bei einem Durchmesser von etwa 6 m in Bodenhöhe, nimmt diese Fläche knapp **30 m²** pro WEA ein.
2. Fundament:
Dies hat einen deutlich breiteren Umfang als der Turmfuß. In der Regel bildet es einen Kranz um den Fuß, überdeckt mit Boden und Vegetation. Damit ist grundsätzlich eine Nutzung z. B. als Grünlandfläche möglich. Da die Bodenaufgabe über dem Fundament im Zweifel nur sehr gering ist, wird diese Fläche konservativ als versiegelt eingestuft. Das Fundament weist typischerweise einen Durchmesser von 22 m auf, was eine über den Turmfuß hinausgehende Fläche von **350 m²** pro WEA bedeutet.
3. Trafostation:
Sie kann je nach Größe des Windparks mehrere WEA bedienen. Für Offenland mit im Schnitt größeren Windparks werden fünf WEA pro Station angenommen. Die damit überbaute, versiegelte Fläche liegt konservativ angesetzt bei **10 m²**, d. h. **2 m²** pro WEA.
4. Zuwegungen und Kranstellplatz:
Auch nach der Errichtung der WEA ist die Aufrechterhaltung befahrbarer Wege notwendig. Dies beinhaltet auch das Freihalten eines Platzes für das Stellen eines Krans für Wartungen; Rückbau usw.
Diese Flächen können vergleichsweise klein (bei bereits vorhandener Zuwegung), aber auch sehr umfangreich ausfallen. Bei manchen Anlagen sind keine weiteren Versiegelungen, bei anderen Anlagen sind durchaus umfangreiche Versiegelungen (teils mit wassergebundenen Schotterflächen) erforderlich.
Die durchschnittlichen Zuwegungen für Waldstandorte liegen nach (Reichenbach et al., 2015) im Mittel bei 1.500 m², der Kranstellplatz bei 1.800 m² bzw. nach (FA Wind, 2020) bei 1.500 m², welche hier angesetzt werden. Für Offenland liegen solche Mittelwerte nicht vor. Da die Flächeninanspruchnahme bei Offenlandstandorten durchschnittlich insbesondere für die Zuwegung geringer ist als bei Waldstandorten, wird folgender Ansatz als ausreichend konservativ angenommen:
 - a. 1.000 m² für Zuwegung zu 50 % mit entweder versiegelten oder wassergebundenen Flächen durchschnittlich je WEA.
 - b. 1.500 m² als Kranstellplatz mit unversiegelten, teils geschotterten Flächen und zu 50 % mit unversiegelten Flächen durchschnittlich je WEA.

Folgende weitere Punkte werden mit Blick auf mögliche Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung erörtert, jedoch nicht in die Berechnung des Flächenrucksacks für WEA im Offenland einbezogen.

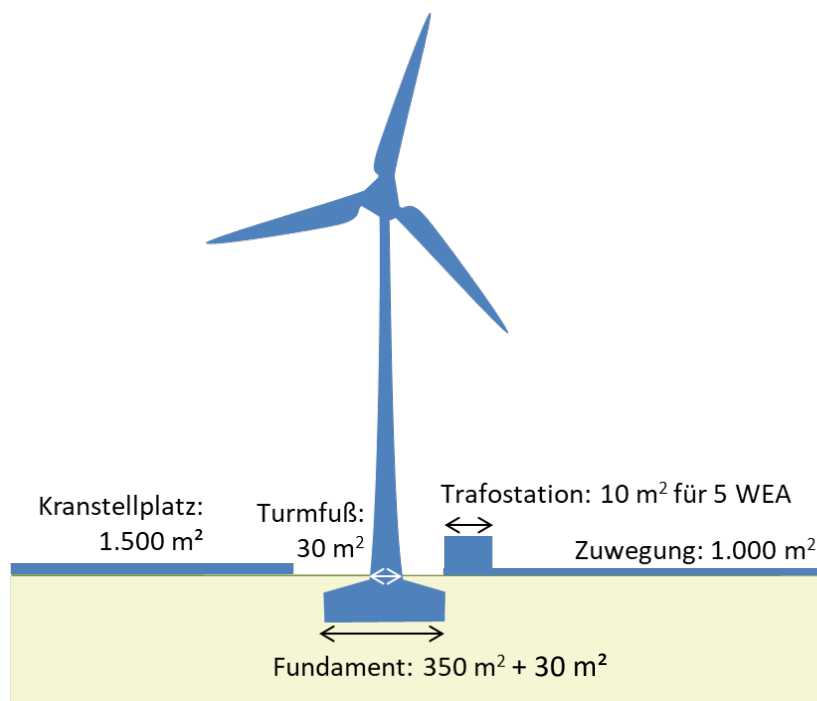
- ▶ Rotorraum:
Wie dieser im Offenland im Hinblick auf Flächenbelegung und Hemerobie zu bewerten ist, ist eine komplexe Frage. Einerseits befindet sich dieser Bereich oberhalb der Boden-

fläche, die bereits schon einbezogen und bewertet ist (siehe Punkte 1 bis 4). Andererseits ist es unfraglich, dass der von den Rotoren direkt beeinflusste Raum eine verringerte Naturnähe gegenüber dem Luftraum über einem nicht mit WEAs verbautem Acker oder Grünland aufweist. Die Frage ist, ob dieser Unterschied so relevant ist, dass er eine Veränderung der Hemerobioklasse rechtfertigt. Dies wäre nur unter der Bedingung vergleichsweise hochwertiger Lebensräume anzunehmen.

- Über die permanente Zuwegung hinausgehende temporär in Anspruch genommene Flächen für die Montage der Anlage können nochmal bis zu gut drei Mal so viel Fläche wie für die dauerhafte Zuwegung (Punkt 4) beanspruchen. Da diese Belegung jedoch nur kurzfristig ist und danach die ursprüngliche Flächennutzung wieder erfolgen kann, wird sie nicht für den Flächenrucksack berücksichtigt.

Abbildung 5 zeigt schematisch die angesetzten Daten zur Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-Windenergieanlage im Offenland.

Abbildung 5: Daten für die Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-WEA im Offenland



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, Einschätzungen nach (FA Wind, 2017a; Lüers et al., 2017; Reichenbach et al., 2015)

Flächenbelegung im Wald (Bestandsanlage)

Für die Windenergienutzung im Wald können mit folgenden Abweichungen die gleichen Basisdaten wie für Offenland angesetzt werden:

1. Trafostationen: Es werden wie im Offenland fünf WEA pro Station angenommen.
2. Dauerhaft zur Verfügung stehender Kranstellplatz: 1.500 m² nach (FA Wind, 2020) (ältere Daten nach (Reichenbach et al., 2015) lagen bei 1.800 m²) als Kranstellplatz mit unversiegelten, teils geschotterten und anderweitig nicht nutzbaren Flächen.
3. Zuwegung: Nach (FA Wind, 2020) lassen sich zusätzlich zu Anlagenfundament und Kranstellplatz 2.700 m² errechnen, die dauerhaft baumfrei zu halten sind und insbesondere die

Zuwegung umfassen. Entsprechend (Reichenbach et al., 2015) wird davon ausgegangen, dass 1.500 m² davon die Zuwegung darstellen und die verbleibenden 1.200 m² entsprechend Punkt 5. unten lediglich forstlich nicht genutzt werden können.

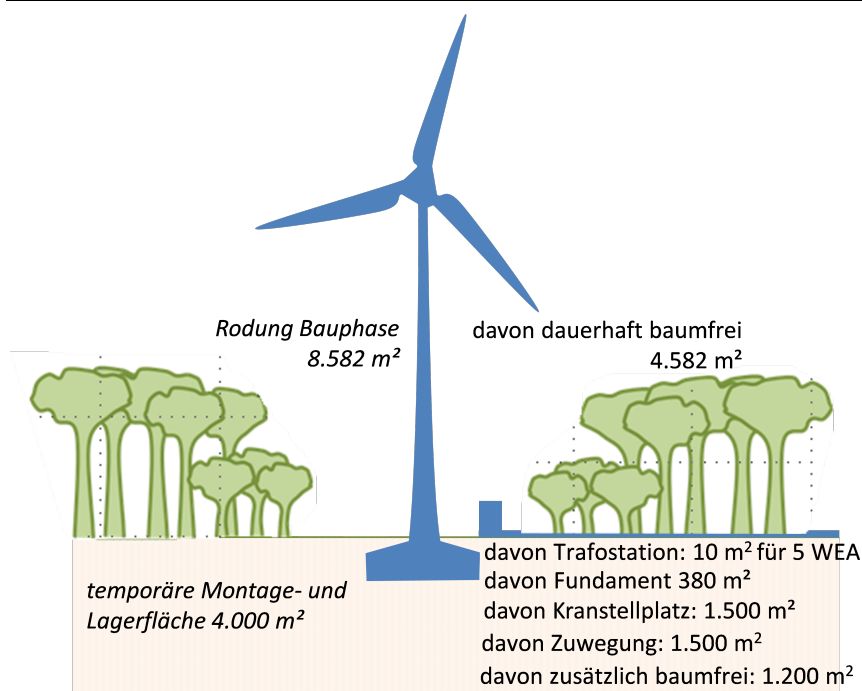
Folgende Aspekte sind im Wald grundsätzlich zu berücksichtigen:

4. Die Ausgangsfläche war zuvor bewaldet und hat somit eine im Durchschnitt geringere Hemerobie aufgewiesen (→ Flächennutzungsänderung)
5. Es bedarf einer dauerhaft baumfrei gehaltenen Fläche um die WEA, die forstlich nicht nutzbar ist. Dafür wird eine Belegung von 1.200 m² angesetzt, welche sich aus den nach (FA Wind, 2020) berechneten 2.700 m² an zusätzlicher dauerhafter Flächenbelegung nebst Anlagenfundament und Kranstellplatz abzüglich der angesetzten Zuwegung von 1.500 m² ergeben (siehe Punkt 2 oben).

Diese Fläche beinhaltet damit zum Teil, genauso wie der Kranstellplatz und die Zuwegung, auch die Fläche unter dem Rotorraum, wodurch dessen potenziell hemerober Einfluss abgedeckt wird.

Abbildung 6 zeigt die angesetzten Daten zur Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-Windenergieanlage im Wald. Temporär werden nach (FA Wind, 2020) während der Bauphase zusätzlich 4.000 m² beansprucht, die aber aufgrund des kurzen Zeitraums in der Flächenbelegung nicht berücksichtigt werden.

Abbildung 6: Daten für die Flächenbelegung für eine durchschnittliche Bestands-WEA im Wald



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, nach (FA Wind, 2017a, 2020; Lüers et al., 2017; Reichenbach et al., 2015)

Unterscheidung zwischen Bestand und neu zugebauten Anlagen

Durch die Substitution alter WEA durch neue mit größerer Leistung verringert sich die spezifische Flächenbelegung für Windenergie.

Im Mittel betrug der jährliche Netto-Zuwachs über die Jahre von 2010 bis 2017 1.215 Anlagen bei einem mittleren Bestand im selben Zeitraum von 24.265 Anlagen (berechnet aus (AFEG, 2018)). Daraus ergibt sich ein anteiliger Zuwachs des Bestands von jährlich fünf Prozent. Dieser Wert muss zusammen mit den spezifischen Faktoren für den Bestand fortlaufend angepasst

werden. Es handelt sich um den Netto-Zuwachs. Aufgrund von Stilllegungen fällt der Brutto-Zubau größer aus. Für diesen liegen aber erst ab 2015 Werte vor.

Für neu zugebaute Anlagen wird für das Fundament aufgrund der größeren Anlagengröße von einer Steigerung des Radius von 22 m im Bestand auf 25 m (Annahme auf Basis verschiedener WEA-Projekte) entsprechend einer Flächenvergrößerung von 380 auf 491 m² ausgegangen. Für die weitere Flächeninanspruchnahme durch Kranstellplätze, zusätzlich gerodete Fläche um die Anlage und Zufahrtswege für WEA im Wald, wird dagegen keine Vergrößerung pro Anlage angesetzt.

Da hier die Anzahl zugebauter WEA betrachtet wird und der Bezug die Energieeinheit Kilowattstunde(kWh) im Bestand ist, ist keine Abhängigkeit von einer Leistungssteigerung bei den zugebauten WEA gegeben, weil sich der spezifische Flächenbestand durch den Zubau nur graduell verändert.

Zusammenfassung Flächenbelegung für Windenergieanlagen

Aus den vorausgehenden Abschnitten (Abbildung 5 und Abbildung 6) und den Basisdaten in Tabelle 12 lassen sich spezifische Sachbilanzdaten zur Flächenbelegung für Windenergie erstellen. Diese sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Dabei wird zwischen einer durchschnittlichen Bestandsanlage und neu zugebauten Anlagen differenziert.

Die Berechnung der in Tabelle 13 aufgeführten Faktoren erfolgt folgendermaßen:

Faktor in [m²*1a/kWh] = entsprechende Fläche WEA/erzeugte Strommenge pro WEA pro Jahr (3.376 MWh/a für Bestands- bzw. 8.043 MWh/a für neu zugebaute Anlagen, vgl. Tabelle 12).

Von den in Deutschland bis Ende 2016 installierten WEA an Land liegen 95 % im Offenland und mit 1.520 WEA 5 % im Wald (FA Wind, 2017b). Nach (AFEG, 2018) liegt der Anteil an den erzeugten kWh in einem ähnlichen Bereich. Es wird der Mittelwert aus den Jahren 2010 bis 2017 angesetzt, um den darauf bezogenen mittleren Zubau richtig abbilden zu können. Danach stehen 96,2 % der Bestandsanlagen im Offenland. Nach (FA Wind, 2017a) nimmt der aktuelle Zubau im Wald jedoch stärker zu als im Offenland. In den letzten Jahren betrug der Anteil der im Wald errichteten WEA-Leistung 20,2 % (2015) bis hin zu 24,4 % (2016) (nach (AFEG, 2018)), so dass der Bestand im Jahr 2017 nur noch zu 93,4 % von Offenland-Anlagen gebildet wurde. Im Mittel betrug der Zubau an WEA im Wald über die letzten acht Jahre von 2010 bis 2017 195 im Vergleich zu 1.215 auf Offenstandorten (errechnet aus (AFEG, 2018)) mit einem entsprechenden Anteil am Zubau und damit an der Flächennutzungsänderung von 16,1 %.

Die mit WEA belegten Offenland-Flächen liegen zu ca. 95 % auf Ackerland und zu ca. 5 % auf Grünlandflächen. Die Aufteilung zwischen Ackerland und Grünlandflächen wird auch für den zukünftigen Zubau so angesetzt.

Für die Erzeugung von Strom aus Windenergie wird pro kWh, mit Annahme einer Verteilung von Offenland- und Waldstandorten wie im Bestand im Mittel von 2010 bis 2017, eine Fläche von ca. 0,00087 m² belegt, davon 0,00082 m² im Offenland und 0,00005 m² im Wald. Mit Annahme einer Verteilung von Offenland- und Waldstandorten wie im Bestand Ende 2017, beläuft sich die Flächenbelegung pro kWh auf ca. 0,00089 m², davon 0,00080 m² im Offenland und 0,00009 m² im Wald.

Tabelle 13: Spezifische Faktoren zu Flächenbelegung für Windenergie

Technischer Parameter	Faktoren Bestand	Faktoren zugebaute Anlagen	Einheit	Hinweis für Hemerobie Klasse
Flächenbelegung Offenland (93,4 % im Jahr 2017; 96,2 % im Bestandsmittel 2010–2017)				
Turmfuß	8,4 x 10 ⁻⁶	4,0 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt
Fundament (inklusive Turmfußfläche)	113 x 10 ⁻⁶	70,2 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt
Trafostation	0,59 x 10 ⁻⁶	0,29 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt
Zuwegung (teils zu 50 % versiegelt)	296 x 10 ⁻⁶	143 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt/ bracheartig
Kranstellplatz (teils geschottert) und nicht versiegelte Zuwegung (zu 50 %)	444 x 10 ⁻⁶	214 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	bracheartig
Summe Flächen	854 x 10 ⁻⁶	428 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	
Flächenbelegung Wald (6,6 % im Jahr 2017; 3,8 % im Bestandsmittel 2010–2017)				
Summe versiegelt ohne Zuwegung (gleich wie Offenland)	113 x 10 ⁻⁶	70,4 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt
Zuwegung (teils, zu 50 %, versiegelt)	444 x 10 ⁻⁶	214 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	versiegelt/ bracheartig
Kranstellplatz (teils geschottert) und nicht versiegelte Zuwegung (zu 50 %)	444 x 10 ⁻⁶	214 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	bracheartig
Zusätzlich baumfrei gehaltene Fläche (ohne Kranstellplatz und Zuwegung)	355 x 10 ⁻⁶	172 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	waldartig
Summe Flächen	1.357 x 10 ⁻⁶	671 x 10 ⁻⁶	m ² ·1a /kWh	

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, nach (FA Wind, 2017a, 2020; Lüers et al., 2017; Reichenbach et al., 2015) und Tabelle 12)

3.2.5.2 Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation

Das EEG (Erneuerbare Energie Gesetz) unterscheidet zwischen Dachflächen-PV und Freiflächen-PV (PV-FFA). Eine temporäre Flächenbelegung ist nur der zweiten anzurechnen, da Photovoltaik-Anlagen (PV) auf Gebäuden oder anderen bebauten Flächen (z. B. Deponien) keine zusätzlichen Flächen belegen.¹⁹ PV-FFA dagegen belegen Flächen, die für die Produktion anderer Wirtschaftsgüter nicht zur Verfügung stehen. Sie verändern die Beschattungs- und Beregnungsverhältnisse der Fläche. Es besteht zwar die Möglichkeit einer Beweidung der Flächen unter und zwischen den Modulen, diese geschieht allerdings primär mit dem Ziel, die Module frei zu halten.

Es gibt Modellversuche mit hoch aufgeständerten Modulen und größeren Reihenabständen, sodass unter den Modulen auch ackerbauliche Bewirtschaftung möglich ist. Eine solche Bauweise kann auch die Beschattungs- und Beregnungskonditionen ändern. Das könnte in Zukunft eine interessante Variante werden, ist unter den gegebenen Bedingungen aber wirtschaftlich noch nicht darstellbar. Bei solchen Anlagen wäre die darunterliegende Fläche nicht Grünland, sondern

¹⁹ Das schließt nicht den Flächenrucksack vom Rohstoffabbau für die Herstellung von PV-Anlagen ein.

z. B. Ackerbaufläche und als solche in eine Hemerobiekategorie einzustufen. Sollte diese Option für spezifische Anlagen mit Sachbilanzdaten hinterlegt sein, ist die Berücksichtigung möglich. Aufgrund der Doppelnutzung einer Fläche wären dann Allokationsregeln zu definieren und anzuwenden.

Bis zur Praxiseinführung solcher Ansätze ist das Ziel der Flächennutzung einer PV-FFA ausschließlich deren Betrieb zur Stromerzeugung. Die Flächenbelegung ist ihr vollständig zuzurechnen. Nach (BMJV, 2021) § 37 (1) Nr. 3, in welchem die hinsichtlich der Hemerobie zu differenzierenden Flächennutzungstypen abgedeckt sind, fallen darunter:

- a) Bereits versiegelte Flächen, die keine Gebäude, Lärmschutzwände oder sonstige bauliche Anlagen (z. B. Deponien) sind
- b) Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung
- c) Flächen, die im 110-m-Randbereich längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen
- d) Ackerbaulich genutzte Flächen, die in einem benachteiligten Gebiet²⁰ liegen,
- e) Grünlandflächen, die in einem benachteiligten Gebiet liegen.

Für den Punkt a) gilt das gleiche Prinzip wie für Dachflächen. Es handelt sich hierbei überwiegend um Deponieflächen. Für die Flächen b) bis e) gilt dies nicht. Selbst wenn eine andere konkrete Nutzung hier nicht vorliegt (z. B. wegen Stilllegung einer Militärübungsfläche) oder die Nutzung mit Nachteilen verbunden ist (direkte Angrenzung an Autobahn oder wegen geringer Wirtschaftlichkeit die drohende Aufgabe der Nutzung eines Ackers oder einer Grünfläche), findet eine der PV anzurechnende Belegung statt, weil die Fläche dann einer anderen Nutzung (i. d. R.) nicht zur Verfügung steht.

Für PV-FFA liegen bislang weder flächenbezogene Ökobilanzdaten noch Bewertungen im Rahmen des Hemerobie-Ansatzes vor. Zur Frage der Qualität der Flächen siehe Kapitel 3.4.6.2.

Ansatz zur Bestimmung der Flächenbelegung durch PV-FFA

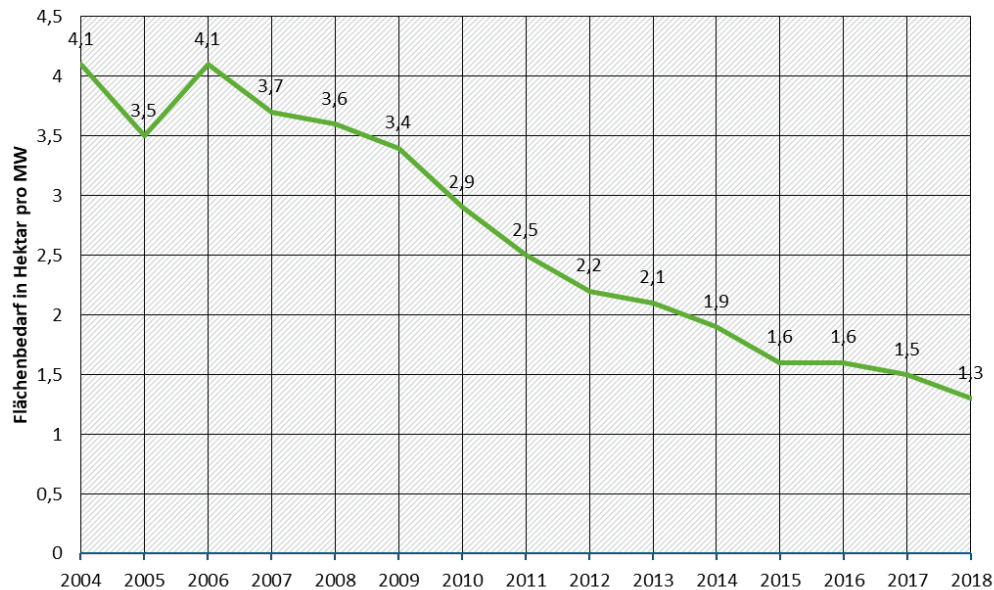
Die Flächenbelegung pro MWh PV-Strom hängt von folgenden Faktoren ab:

- ▶ Standort der Anlage (Sonnenstunden im Jahr, Relief)
- ▶ PV-Technik (Dickschicht- oder Dünnschichtzellen)
- ▶ Montageart (feststehend oder dem Sonnenstand nachführend, Letztere in Deutschland von geringer Bedeutung)

Wie Abbildung 7 zeigt, ist die Flächeneffizienz in den vergangenen zehn Jahren erheblich angestiegen und beträgt für Anlagen die 2018 in Betrieb gingen 1,3 ha/MW. Diese Entwicklung ist auf die Steigerung der Wirkungsgrade neuer Solarmodule zurückzuführen und es ist anzunehmen, dass sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren fortsetzen wird (BNetzA, 2016). Das würde zu einem weiteren Rückgang der Flächenbelegung pro installierte Leistung insgesamt führen. Weiterhin kann durch eine West-Ost-Ausrichtung mit geringeren Reihenabständen ein geringerer spezifischer Flächenbedarf erzielt werden.

²⁰ Gebiet im Sinn der Richtlinie 86/465/EWG des Rates vom 14. Juli 1986 betreffend das Gemeinschaftsverzeichnis der benachteiligten landwirtschaftlichen Gebiete im Sinne der Richtlinie 75/268/EWG (Deutschland) (ABl. L 273 vom 24.9.1986, S. 1), in der Fassung der Entscheidung 97/172/EG (ABl. L 72 vom 13.3.1997, S. 1), Konkret versteht die Clearingstelle zum EEG darunter „schwach ertragfähige landwirtschaftliche Flächen, mit als Folge geringer natürlicher Ertragsfähigkeit deutlich unterdurchschnittlichen Produktionsergebnissen“ (RELAW GmbH, 2019)

Abbildung 7: Entwicklung des durchschnittlichen Flächenbedarfs pro Megawatt installierte Leistung für Freiflächenanlagen [ha/MW]



Quelle: (Kelm et al., 2019)

Nach (Günnewig et al., 2007) beträgt die Aufstellfläche für Dickschichtzellen zwischen 14 und 30 m²/(MWh*a), im Mittel etwa 20 m²/MWh, was für das Jahr 2007 sehr wenig erscheint. Nach (BMVI, 2015) kann für Strom aus PV-FFA von einem durchschnittlichen Flächenbedarf von 22 m²/(MWh*a) ausgegangen werden, welcher hier für den Bestand angesetzt wird.²¹

Mit Dünnschichtzellen können sich bis zu zweimal so hohe Flächenbedarfe ergeben. Nach (Wirth / Schneider, 2018) liegt der aktuelle Marktanteil der Dünnschichtzellen bisher etwa bei 5 % und für kommende Entwicklung werden auch hier höhere Wirkungsgrade erwartet. Diese Fläche beinhaltet auch die Abstandsflächen zwischen den Modulen. Insgesamt ist die Aufstellfläche wie folgt zu differenzieren:

- ▶ Modulfläche (= Bedeckungsfläche, unter Einbezug der Winkelstellung): 30–35 %, als Basiswert werden 32 % angesetzt.
- ▶ Versiegelung
 - bei Gründung auf Rammpfählen (feststehend): < 2 %
 - bei Beton-Gründung (nachführend): < 5 %
 - Als Basiswert werden 3 % angesetzt.
- ▶ Abstandsfläche zwischen Modulen und Eingrenzung: ca. 65 %

Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Nicht berücksichtigt sind darin Flächen für Zuwegungen, für die sich in der Literatur keine Daten finden.

²¹ Laut (BMVI, 2015 p. 200) wird von 1.000 Volllaststunden/Jahr ausgegangen, d. h. pro MW installierter Leistung werden 1.000 MWh erzeugt. Entsprechend gilt auf die Leistung bezogen ein Flächenbedarf von 2,2 ha/MW.

Tabelle 14: Angesetzte Flächenbelegung und Anteile an Flächenarten für PV-FFA bezogen auf 1 MWh Strom

	Anteil an Anlagenfläche	Faktoren	Einheit
Gesamtfläche für PV-FFA		22	m ² ·1a /MWh
Versiegelung	3%	0,66	m ² ·1a /MWh
Überschirmte Fläche	32 %	7,04	m ² ·1a /MWh
Zwischenraumfläche	65 %	14,3	m ² ·1a /MWh

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, Berechnungen basierend auf (BMVI, 2015; BMWi, 2020a; BNetzA, 2016; Günnewig et al., 2007))

3.2.5.3 Solarkraftwerke, Standort MENA-Region

Die Produktion von Energieträgern, basierend auf regenerativen Energien via Power-to-X (PtX)²², wird als einer der Schlüssel angesehen, den wachsenden Bedarf an regenerativen Energien sowie an gasförmigen und flüssigen Energieträgern aus regenerativen Energien zu decken (BMWi, 2020b).

In einer aktuellen Studie zum klimaneutralen Deutschland bis 2050 (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020) wird beschrieben, dass für ein klimaneutrales Energiesystem Wasserstoff neben Strom eine sehr große Rolle spielen wird. Die Wasserstoffnachfrage im Jahr 2050 wird darin mit etwa 270 TWh angegeben, wobei davon 31 % in Deutschland hergestellt und der restliche Wasserstoff importiert wird.

Die Länder der sog. MENA-Region (Middle East and North Africa) sind aufgrund der im Vergleich zu Deutschland sehr hohen direkten Sonneneinstrahlung vorteilhafte Standorte für Solar-Energie und könnten helfen den künftigen Bedarf an regenerativen Energien zu decken. Der wachsende Markt in der Region Nahost und Nordafrika, machte Ende 2019 mit 15 Solarthermischen Kraftwerken (engl. Concentrated Solar Power, kurz CSP) und einer Gesamtleistung von fast 1,8 GW fast 30 % der weltweit in Betrieb befindlichen Kapazität aus (REN21, 2020).

Solarthermische Kraftwerke (CSP) werden, wie Photovoltaik-Kraftwerke (PV), zur Stromerzeugung eingesetzt. Jedoch erfolgt die Stromerzeugung bei Solarthermischen Kraftwerken durch hohe Temperaturen. Hierbei wird mithilfe von Spiegeln (Receivern) das Sonnenlicht so stark konzentriert, dass in einem ersten Schritt heißer Dampf erzeugt wird, der dann anschließend zur Erzeugung von Strom verwendet wird. Parabolrinnen-Kraftwerke und Turmkraftwerke sind die wichtigsten Vertreter von CSP-Kraftwerken im Kraftwerksmaßstab (IWR, 2021).

Durch die Integration von thermischen Speichern und/oder einer fossilen Hybridisierung wird eine Entkopplung von der fluktuierenden Sonneneinstrahlung und somit bedarfsgerechte Stromerzeugung sowie eine Grundlastfähigkeit des Kraftwerkes ermöglicht (Giuliano et al., 2016).

Für die Bereitstellung von Solarenergie im MENA-Raum wurden drei verschiedene Anlagentypen (beispielhaft) betrachtet und durch Literaturrecherchen ergänzt:

²² Erzeugung von flüssigen oder gasförmigen Sekundärenergieträgern (engl. Power-to-X) über Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff mittels Strom; dieser muss regenerativ sein, damit die PtX-Energieträger als regenerativ bzw. „klimaneutral“ gelten können.

- ▶ Solarturmkraftwerk (CSP-Kraftwerk)
- ▶ Parabolspiegel-Kraftwerk (CSP-Kraftwerk)
- ▶ Photovoltaik-Kraftwerk

Für die Bestimmung der temporären Flächenbelegung wurden Daten aus (Liebich et al., 2020) ausgewertet. Aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit zur Bestimmung der Art der Flächenbelegung von Solarkraftwerken wurde zusätzlich der Solar-Komplex Quarzazate in Marokko beispielhaft genauer betrachtet. Der Solar-Komplex besteht aus zwei Parabolrinnenkraftwerken (NOOR I und II), einem Solarturmkraftwerk (NOOR III) und einem Photovoltaik-Kraftwerk (NOOR IV).

CSP-Kraftwerke: Solarturmkraftwerk und Parabolspiegelkraftwerk, Standort MENA-Region

In (Liebich et al., 2020) wurden für diese beide Kraftwerkstypen Angaben zu Leistung und zur Flächenbelegung gemacht. Nachfolgende Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Daten, ergänzt durch eigene Berechnungen und durch die Daten der Solarkraftwerke NOOR II und III mit Standort Marokko.

Tabelle 15: Flächenbelegung durch Solarthermiekraftwerke, Standort MENA-Region

	Bruttolleistung [MW _{el}]	Erzeugter Strom [MWh/a]	Fläche der Anlage [m ²]	Flächenbelegung [m ² · a/MWh]
Solarturmkraftwerk (SM ^a 2)	100	448.000	4.700.000	10
Solarturmkraftwerk (SM3)	100	689.000	7.240.000	11
Parabolspiegelkraftwerk (SM2)	100	408.000	4.930.000	12
Parabolspiegelkraftwerk (SM4)	100	642.000	7.650.000	12
Solarturmkraftwerk (NOOR III)	150	500.000	5.820.000	12
Parabolspiegelkraftwerk (NOOR II)	200	600.000	6.800.000	11
Mittelwert				11,3

a) SM = Solar Multiple (Verhältnis aus Solarfeldleistung zu Powerblock-Leistung)

Quellen: Solarturmkraftwerke (SM2) und (SM3) sowie Parabolspiegelkraftwerke (SM2, SM3): (Liebich et al., 2020) ergänzt durch eigene Berechnungen; Solarturmkraftwerk (NOOR III) und Parabolspiegelkraftwerk (NOOR II): eigene Berechnungen basierend auf (AFDB, 2014; Ristau, 2020)

Auch die Angaben zur Flächenbelegung aus (DLR, 2007) mit 8–12 m² pro MWh für CSP in der MENA-Region decken sich in etwa mit den ermittelten Zahlen.

Angaben über die Anteile an versiegelter Fläche sind der Literatur nicht zu entnehmen. Die Anteile an überschirmter Fläche können meist anhand von Angaben zur Spiegelfläche abgeschätzt werden. Für eine Einschätzung der verschiedenen Flächenanteile wurde beispielhaft der Solar-Komplex Quarzazate in Marokko genauer betrachtet.

Nach Angaben der KfW-Bank (Ristau, 2020) hat das betrachtete Solarturmkraftwerk Noor Quarzazate III eine installierte Leistung von 150 MW und ist mit Trockenkühlung und einer thermischen Speicherkapazität von sieben Stunden ausgestattet. In (AFDB, 2014) wurde eine erwartete jährliche produzierte Strommenge von ca. 500 GW für das Solarturmkraftwerk angegeben.

Als Flächenbelegung wurde für das Solarturmkraftwerk in (Ristau, 2020) eine Gesamtfläche von 5.280.000 m² und eine mit Heliostaten überdachte Fläche von 1.324.600 m² angegeben. Die Heliostaten werden von 7400 Betonpylonen getragen, die anhand eigener Abschätzungen basierend auf (Pfahl et al., 2017) eine Fläche von ca. 1 m² pro Pylone versiegeln. Hinzukommen als versiegelte Flächen verschiedene Gebäude, der Solarturm, Wasseraufbereitungsbecken und den Solarpark direkt umgebende Straßen, da diese nur für den Betrieb und die Unterhaltung der Anlage angelegt wurden. Diese Daten wurden anhand von Satellitenbildern abgeschätzt.

Für das Parabolspiegelkraftwerk NOOR I wurden in (Ristau, 2020) eine Gesamtfläche von 460 Hektar und eine Spiegelfläche von 1.400.000 m² angegeben. Angaben zur versiegelten Fläche wurden anhand von Satellitenbildern abgeschätzt und umfassen verschiedene Gebäude, Wasserbecken und Straßen.

Die ermittelten Flächenbelegungen für das Solarturmkraftwerk und das Parabolspiegelkraftwerk sind folgender Tabelle 16 zu entnehmen:

Tabelle 16: Flächenbelegungs-Faktoren für 1 MWh Strom aus CSP-Anlagen, Standort MENA-Region

Solarthermische Kraftwerke	Anteil an Anlagenfläche	Faktoren	Einheit
Gesamtfläche Kollektortyp Parabolrinnen		11,3	m ² ·1a /MWh
Versiegelte Fläche	8 %	0,90	m ² ·1a /MWh
Überschirmte Fläche	30 %	3,39	m ² ·1a /MWh
Zwischenraum- und Randflächen	62 %	7,01	m ² ·1a /MWh
Gesamtfläche Solarturmkraftwerk		11,3	m ² ·1a /MWh
Versiegelte Fläche	4 %	0,45	m ² ·1a /MWh
Überschirmte Fläche	23 %	2,60	m ² ·1a /MWh
Zwischenraum- und Randflächen	73 %	8,24	m ² ·1a /MWh

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (AFDB, 2014; Pfahl et al., 2017; Ristau, 2020) sowie auf Basis von Satellitenbilddauswertungen

Photovoltaik-Kraftwerk, Standort MENA-Region

Ergänzend zu den CSP-Kraftwerken wurde ein PV-Kraftwerk (Quarzazate NOOR IV) in Marokko beispielhaft näher betrachtet. Auf der Homepage der marokkanischen Umweltbehörde (Masen, 2019) wird das PV-Kraftwerk als polykristalline Photovoltaik-Anlage mit nachgeführtem System beschrieben. Die Leistung wird mit 72 MW und die Flächenbelegung mit 137 Hektar angegeben. Nach Angaben aus der Projektdatenbank der KfW Bank (KfW, 2021) wurde für das Photovoltaik-Kraftwerk Noor IV eine jährlich erzeugte Strommenge von mindestens 119 GWh veranschlagt. Aus diesen Angaben kann eine temporäre Flächenbelegung von 11,5 m² pro Jahr und MWh abgeschätzt werden.

Tabelle 17 zeigt die Flächenbelegungsfaktoren für 1 MWh Strom aus der PV-Anlage am Standort Marokko, unterteilt in versiegelte Fläche, überschirmte Fläche sowie Zwischenraum- und Randfläche. Die Angabe für die versiegelte Fläche von 5 % wurde dem Bericht „Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen“ (Herden et al., 2009) entnommen. Dies in der Annahme, dass sich die versiegelten Flächen für nachgeführte Anlagen in Deutschland und

in der MENA-Region in etwa entsprechen. Dem Bericht zur „Spezifischen Umwelt- und Sozialverträglichkeitsprüfung“ für NOOR IV (Ponte / Wade, 2016) konnte eine überschirmte Fläche von 432.236 m² entnommen werden.

Tabelle 17: Flächenbelegungs-Faktoren für 1 MWh Strom aus FF-PV; Standort MENA-Region

Photovoltaik	Anteil an Anlagenfläche	Faktoren	Einheit
Gesamtfläche Photovoltaik-Kraftwerk		11,5	m ² ·1a /MWh
Versiegelte Fläche	5 %	0,58	m ² ·1a /MWh
Überschirmte Fläche	32 %	3,68	m ² ·1a /MWh
Zwischenraum- und Randflächen	63 %	7,25	m ² ·1a /MWh

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Herden et al., 2009; Masen, 2019; Ponte / Wade, 2016; Ristau, 2020)

3.2.5.4 Thermische Kraftwerke

Als thermische Kraftwerke werden hier mit fossilen oder biogenen Brennstoffen befeuerte Großkraftwerke (d. h. mehr als 100 MW elektrische Leistung) und Kernkraftwerke betrachtet. Die Flächenbelegung wurde anhand von beispielhaften Anlagen mit Satellitenbildern und Leistungsangaben abgeschätzt. Tabelle 18 zeigt das Vorgehen und die zugrunde gelegten Hintergrunddaten am Beispiel Braunkohlekraftwerk.

Tabelle 18: Abgeschätzte Flächenbelegung durch Braunkohlekraftwerke

	Einheit	Neurath	Frimmersdorf	Jänschwalde	Schwarze Pumpe	Boxberg	Mittel ^{a)}
Bruttoleistung	MW _{el}	4.200	560	3.000	1.660	2.575	
Erzeugter Strom	TWh/a	30,1	3,5	19,5	11,6	17,9	
Fläche der Anlage	ha	81	52	97,5	22	40	
Flächenbelegung	m ² · a/MWh	0,353	0,27	1,48	0,19	0,22	0,353

a) Mittelwert gewichtet über die Stromproduktion

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, Angaben zu Leistung und Stromproduktion nach Angaben der Betreiber (RWE, LEAG); Flächen von Satellitenbildern durch ifeu abgeschätzt

Mit dem gleichen Vorgehen wurden auch die temporären Flächenbelegungen der anderen Kraftwerkstypen abgeschätzt. Die Gesamtzusammenstellung findet sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Abgeschätzte Flächenbelegung durch thermische Kraftwerke und vergleichbare Anlagen

	Belegung in $\text{m}^2 \cdot \text{a}/\text{MWh}_{\text{el}}$	Quellen: ^{a)}
Steinkohle-KW alt	0,379	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (hier GK Mannheim, alte Blöcke)
Steinkohle-KW neu	0,071	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (hier GK Mannheim, neuer Block 9)
Steinkohle-KW Default	0,379	Annahme Altkraftwerke
Braunkohle-KW	0,353	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (Neurath, Frimmersdorf, Jänschwalde, Schwarze Pumpe)
Gas-KW	0,188	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (hier Stadtwerke Kassel, München)
Öl-KW	0,288	Einschätzung anhand Gas- und KohleKW
Kern-KW	0,32	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (hier Philippsburg, Neckarwestheim)
Biomasse-KW	0,485	Ausgemessen anhand div. Kraftwerke (hier BiomasseHKW Kehl)
Biogas BHKW (inkl. Fermenter, Lager)	1,1	Ausgemessen anhand diverser Biogasanlagen
MVA	0,771	Ausgemessen anhand div. MVAs (hier Mannheim, Köln, Würzburg)

a) Flächenausmessung anhand von Satellitenbildern durch ifeu abgeschätzt.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Viele Kraftwerke produzieren neben Strom in KWK auch Fernwärme. Durch Allokation auf Basis der Exergie ergibt sich für KWK-Wärme aus den in Tabelle 19 aufgeführten Anlagen und Belegungs-faktoren für Strom jeweils ein Belegungs-faktor multipliziert mit 0,18.

Beispiel: Für Strom aus einem Gas-HKW beträgt die Flächenbelegung $0,188 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{MWh}$, multipliziert mit 0,18 errechnet sich draus $0,076 \text{ m}^2 \cdot \text{a}/\text{MWh}$ Fernwärme.

3.2.5.5 Stromübertragungsnetze

Die Übertragungsnetze für Strom stehen hier im Vordergrund, da sie die Landschaften durchziehen und daher zusätzliche Flächen belegen. Die lokalen Verteilungsnetze nehmen zwar insgesamt mehr Länge ein (1,8 Mio. km Stromkreislänge gegenüber 37.500 km Stromkreislänge im Übertragungsnetz nach Bundesnetzagentur (BNetzA)), verlaufen aber überwiegend entweder unterirdisch oder im bereits bebauten Raum. Sie werden an dieser Stelle daher nicht weiter betrachtet.

Die Flächenbelegung für die Übertragungsnetze wird wie folgt berechnet:

- ▶ Die 37.500 km Stromkreislänge (BNetzA) teilen sich gemäß (Pfluger et al., 2018) durch einen Faktor 1,5 auf eine Gesamttrassenlänge auf 25.000 km.
- ▶ Der durchschnittliche Abstand zwischen Masten wird auf 375 m angesetzt (Kießling et al., 2001). Damit ergeben sich insgesamt 66.700 Masten.

- ▶ Es wird nach Angaben von (Kießling et al., 2001) konservativ von einer Plattengründung mit 100 m² je Mast ausgegangen, damit ergibt sich eine Fläche von 667 ha.
- ▶ Der transportierte Strom beträgt nach BNetzA 473 TWh pro Jahr.
- ▶ Daraus errechnet sich eine Flächenbelegung (als Versiegelung) durch die **Masten von 0,014 m² · a/MWh Strom.**

Zusätzlich zu den Masten ist Fläche anzurechnen, die nicht anderweitig genutzt werden kann. Dies stellen im Wesentlichen die Trassen durch Wald dar, da unter den Leiterseilen und in deren Ausschwenkbereich die Trasse von hohen Gehölzen freigehalten werden muss. Dadurch entstehen in geschlossenen Gehölzbeständen weithin sichtbare Schneisen. Die übliche Breite beträgt in der Bauphase ca. 70–80 m (Kießling et al., 2001). Diese zusätzliche Flächenbelegung wird wie folgt errechnet:

- ▶ Nach Angaben von (Amprion, 2020) beträgt der Anteil an Trassen durch den Wald 20 % an der Gesamtrassenlänge; seitens anderer Netzbetreiber liegen diese Angaben nicht vor; es wird daher einheitlich von einem Anteil von 20 % Trassen durch Wald in Deutschland ausgegangen, das sind 5.000 km.
- ▶ Die durchschnittliche Breite der freizuhaltenen Trasse wird auf Basis von (Kießling et al., 2001) mit 50 m angesetzt. Damit ergibt sich eine Fläche von 25.000 ha.
- ▶ Umgelegt auf die transportierte Strommenge bedeutet dies eine Flächenbelegung durch die freizuhaltenen Trassen von **0,5 m² · a/MWh Strom.**

Auch der Beitrag von Umspannwerken zu Flächenbelegung wurde eingeschätzt. Insgesamt gibt es in Deutschland 370 Werke. Bei angenommenen 0,5 ha pro Werk ergibt sich daraus ein vernachlässigbarer Beitrag von 0,001 m² · a/MWh Strom.

3.2.5.6 Verkehrsflächen

Tabelle 20 zeigt eine Übersicht der Flächennutzung in Deutschland und wurde vollständig aus dem Bericht „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“ von 2020 (Allekotte et al., 2020) übernommen. Flug- und Binnenverkehr sind kein Bestandteil des vorliegenden Berichtes, bleiben jedoch zum Zwecke der Übersicht enthalten. Da im Rahmen des Projektes keine Totalerhebung stattfinden kann, beschränken sich die Autorinnen und Autoren auf die Verkehrsträger Straße und Schiene. Einige Zahlen wurden zusammengeführt und die Nutzungsart *Straße, Böschung* ergänzt. Detaillierte Informationen zur Ermittlung aller Daten (auch Flug- und Binnenschiffverkehr (BS)) aus Tabelle 20 können (Allekotte et al., 2020) entnommen werden. Auf die Ermittlung der Daten für die Verkehrsträger Straße und Schiene wird im folgenden auszugsweise eingegangen.

Für die Bewertung der Straßeninfrastrukturen wurde in (Allekotte et al., 2020) auf eine Datenbank aus (Knappe et al., 2015) zurückgegriffen und diese Daten auf das Bezugsjahr 2017 aktualisiert. Durch eine umfassende Erhebung des Status quo differenziert nach einzelnen Kreisen und kreisfreien Städten erreicht die Datenbank einen sehr hohen Detaillierungsgrad. Für die Aktualisierung wurden die Daten zu den Bundesfernstraßen, Landes- und Kreisstraßen aus Verkehr in Zahlen (Radke, 2017) übernommen, wobei die Zahlen nach (Allekotte et al., 2020) für 2017 vorläufig sind. Analog zu dem Vorgehen in (Knappe et al., 2015) wurden die Gemeindestraßen aktualisiert. Wege wurden nicht betrachtet, da diese keine für den allgemeinen Verkehr wichtige Funktion aufweisen.

Tabelle 20: Aufteilung der Verkehrsfläche in Deutschland nach ihrer Nutzung

Flächennutzung	Verkehrsfläche [m ²]
Flughafen, Start-/Landebahn	5.127.675
Flughafen, Vorfeld	21.936.404
Flughafen, Schultern	2.051.070
Flughafen, unversiegelt	113.089.851
Flughafen, Terminals	933.737
Flughafen, sonstiges	2.721.323
Flugverkehr, gesamt	145.860.060
Flüsse, Uferstreifen	4.906.000
Kanäle & Fahrrinnen Flüsse	309.924.230
Kanäle und Flüsse, Schleusen	521.600
Kanäle und Flüsse, Binnenhäfen	11.631.000
Binnenschiffsverkehr, gesamt	326.982.830
Gleis, eingleisig (ABS, HGS, andere) ^{a)}	189.882.226
Gleis, zweigleisig (ABS, HGS, andere) ^{a)}	228.187.623
Gleis, eingleisig, SSU	21.520.000
Schiene, Gebäude & Energie-versorgung	26.428.461
Schiene, Oberleitung und Signaltechnik	1.376.204
Schiene, Gleisbett	439.589.849
Bahnverkehr, gesamt	906.984.363
Straße, Bundesautobahn	332.820.736
Straße, Bundesstraße	325.106.831
Straße, Landstraße	547.881.567
Straße, Kreisstraße	504.918.613
Straße, Gemeindestraße	2.568.010.770
Straße, sonstige	143.660.497
Straßenverkehr, gesamt	4.422.399.014
Straße, Böschung ^{b)}	42.643.073

a) ABS: Ausbaustrecke; HGS: Hochgeschwindigkeitsstrecke; SSU: Straßen-, Stadt und U-Bahn

b) Ergänzt aus unveröffentlichten Hintergrunddaten von (Allekotte et al., 2020) nach persönlicher Auskunft von Dr. Hans-Jörg Althaus, INFRAS

Quelle: (Allekotte et al., 2020)

Wie (Allekotte et al., 2020) zu entnehmen ist, wurden Verkehrsflächen ausschließlich der verkehrlichen Nutzung angerechnet, der Flächenbedarf der Gemeindestraßen wird zu 50 % bis 90 % auf Erschließungsfunktionen alloziert.

Für das Schienennetz stand nach (Allekotte et al., 2020) ein sehr detaillierter Datensatz der Deutschen Bahn Aktiengesellschaft (DB AG) zur Verfügung, in dem die Gleise nach verschiedenen Schienen-, Bettungstypen etc. aufgelistet sind.

Aufgrund des differenzierten Ansatzes bieten die Verkehrsflächen aus dem Bericht „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“ eine sehr gute Datengrundlage und werden somit für die Berechnungen der spezifischen Faktoren zur Flächenbelegung gewählt, auch wenn Abweichungen zu den von Destatis veröffentlichten Zahlen bekannt sind. Für die Flächennutzungsänderung wird auf die von Destatis veröffentlichten Zeitreihen für die Flächenerhebung in Deutschland nach der Art der tatsächlichen Nutzung zurückgegriffen.

Allokationsansatz für die Anrechnung von Verkehrsflächen auf Transportprozesse

Verkehrsflächen, wie sie für den Transport von Gütern und Dienstleistungen beansprucht werden, sind stets versiegelt und daher grundsätzlich in Klasse VII einzustufen. Dies gilt auch für Bahntrassen, die zwar nicht vollversiegelt sind, auf denen Aufwuchs jedoch dauerhaft verhindert wird und unter welchen vielfach auch Drainagen installiert sind. Aufgrund dieses dauerhaft starken menschlichen Eingriffs wird die Einstufung in Klasse VII als gerechtfertigt angesehen.

Hinzu kommen außerdem weitere Flächen wie begrünte Mittelstreifen und Randstreifen, die ursprünglich mit den Verkehrsflächen begründet sind und keiner anderweitigen Nutzung zur Verfügung stehen.²³ Sie sind jedoch nicht mit einer versiegelten Fläche gleichzusetzen (zur Hemerobie siehe Kapitel 3.4.6.5).

Da Verkehrsflächen von verschiedenen Verkehrsmitteln des Güter- und Personenverkehrs überschneidend genutzt werden, ist es notwendig die Flächen entsprechend ihrer Nutzung aufzuteilen. Hierzu gibt es verschiedene Allokationsvarianten von denen zwei hier betrachtet werden:

- ▶ **Allokationsvariante A** (nach temporärer Flächenbelegung und Fahrleistung). *„Variante A wurde vom Umweltbundesamt (UBA) vorgeschlagen, ist aber in der Ökobilanzierung nicht üblich und nicht kompatibel mit den spezifischen Umweltkosten aus NEEDS.“* (Allekotte et al., 2020 p. 21)
- ▶ **Allokationsvariante B** (nach Standfläche des Fahrzeugs und Fahrleistung). Der Fokus wird in diesem Bericht auf dieser Variante liegen, da Variante B in vielen Ökobilanzen angewendet wird, wie beispielsweise in der (ecoinvent, 2020) Datenbank und somit eine starke Grundlage hat.

²³ Ggf. muss hier zukünftig eine Abgrenzung zu Freiflächen-PV getroffen werden, wenn diese Art Anlagen verstärkt auf Verkehrsrandstreifen errichtet werden sollten.

Erläuterungen zur Berechnung der Allokationsvarianten aus (Allekotte et al., 2020 p. 67)

„**Variante A** basiert auf der Flächenbelegung durch Einzelfahrzeuge während der Fahrt unter Berücksichtigung der Zeit, die das Fahrzeug benötigt, um einen Kilometer zurückzulegen ($m^2 \cdot sec / Fzkm$) sowie der jährlichen Fahrleistung, mit der diese Flächenzeit multipliziert wird. Grundsätzlich wird hierbei die Fahrzeuglänge und der systembedingte Mindestabstand zwischen zwei Fahrzeugen – z. B. der Bremsweg bei Straßenfahrzeugen oder der Abstand, der durch die Sperrung von Bahnabschnitten für andere Züge in der Zeit, in der ein Zug den Abschnitt befährt, entsteht („Blockabstand“) – addiert und diese Summe mit der Spurbreite multipliziert. Bei Fahr- und Kleinmotorrädern wird neben der Fahrzeugbreite zusätzlich nur der Teil der Spurbreite angerechnet, der als Abstand für sicheres Überholen erforderlich ist. Die entsprechenden Flächenzeiten pro Fahrzeug- und Straßentyp (die Fläche hängt von Fahrzeug, Geschwindigkeit, Spurbreite und ggf. Systemtechnik ab) werden als Basis für die Allokation der Verkehrsflächen auf die Fahrzeugtypen verwendet. [...]

Variante B basiert auf dem Ansatz, dass die benötigte Verkehrsfläche einerseits mit der jährlichen Fahrleistung und andererseits mit der Fahrzeuggröße (Standfläche) zusammenhängt. In dieser Variante werden die Flächen der Fahrzeuge (Fahrzeuglänge x Fahrspurbreite) mit den Fahrleistungen der Fahrzeuge multipliziert. Bei Fahr- und Kleinmotorrädern wird allerdings nicht die benötigte Fahrspurbreite berücksichtigt, sondern nur die Breite des stehenden Fahrzeugs (0,5 m). Die resultierenden Werte werden für die Allokationsverhältnisse verwendet.“

Temporäre Flächenbelegung

Die Faktoren für den Flächenbedarf werden für ausgewählte Verkehrsmittel aus dem Bericht „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“ (Allekotte et al., 2020) übernommen und in den nachfolgenden Tabelle 21 und Tabelle 22 jeweils für Personen- und Güterverkehr unter Anwendung der Allokationsvariante B dargestellt.

Tabelle 21: Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr

Verkehrsmittel	Flächenbedarf Verkehrsweg [$m^2 \cdot a / Pkm$] ^{a)}	Flächenbedarf Böschung [$m^2 \cdot a / Pkm$] ^{a)}
Personenkraftwagen (Pkw)	2,13E-03	3,37E-05
Kraftrad	1,54E-03	1,29E-05
Kleinkraftrad	4,29E-04	3,86E-07
Linienbus	7,06E-04	6,01E-06
Reisebus	1,57E-04	2,91E-06
Fernlinienbus	1,75E-04	3,48E-06
Straßen-, Stadt- und U-Bahn (SSU)	8,52E-04	3,65E-04
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn) (SPNV)	2,36E-03	1,01E-03
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn) (SPFV)	1,14E-03	4,86E-04

a) Pkm: Personen-Kilometer

Quelle: (Allekotte et al., 2020)

Tabelle 22 zeigt die Flächenbelegung für Transportmittel des Güterverkehrs. Die Schweren Nutzfahrzeuge (SNF) beinhalten sowohl alle Lastkraftwagen (LKW) > 3,5 t als auch Last- und Sattelzüge.

Tabelle 22: Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Güterverkehr

Verkehrsmittel	Flächenbedarf , Verkehrsweg [m ² ·a/tkm] ^{a)}	Flächenbedarf Böschung [m ² ·a/tkm] ^{a)}
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	6,23E-04	1,67E-05
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	2,52E-02	2,53E-04
Güterzug	9,12E-04	3,89E-04

a) tkm: Tonnen-Kilometer

Quelle: (Allekotte et al., 2020)

3.3 Daten zu Flächennutzungsänderung

3.3.1 Holz und andere Rohstoffe aus Wald- oder Forstflächen

Die Waldfläche hat nach der BWI-3 (BMEL, 2016) von 2002 bis 2012 um ca. 50.000 Hektar zugenommen. Dies entspricht einem Zuwachs von 0,4 %. Die Daten zum Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) aus dem Nationalen Inventarbericht (NIR) (Örtl, 2019) weisen sogar noch geringere Werte aus, was allein die Landnutzungsänderung zugunsten Wald in Deutschland betrifft. Diese bewegt sich wie in Tabelle 23 dargestellt im Bereich um die 15.000 Hektar pro Jahr. Hauptsächlich wird hierbei Grünland zu Wald umgewandelt.

Tabelle 23: Landnutzungsänderung zugunsten von Wald in Deutschland nach dem Nationalen Inventarbericht

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990–2000	2001–2005	2006–2008	2009–2012	2013–2017
Acker zu Wald	9.715	4.843	5.648	4.274	2.949
Grünland i. e. S. zu Wald	11.189	6.454	4.454	8.645	9.398
Gehölze zu Wald	1.874	922	1.006	1.371	941
Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald	258	610	260	224	48
Gewässer zu Wald	1.050	209	276	441	31
Siedlung zu Wald	2.467	1.805	3.035	1.327	703
Sonstiges Land zu Wald	1.066	506	368	276	0
Summe	27.619	15.349	15.047	16.558	14.070

Quelle: (Örtl, 2019)

Als Schlussfolgerung ist hieraus zu ziehen, dass die Flächennutzungsänderung für Produkte von Waldflächen (v. a. Holz) mit Null angesetzt werden kann.

Dies gilt mit Blick auf Holz aus Deutschland. Mit Blick auf internationale Quellen wäre dies ggf. zu differenzieren. In einigen wenigen Ländern liegt der Nettozuwachs an Waldflächen in einem nennenswerten Bereich (z. B. Vietnam, China, Türkei (FAO, 2020)).

3.3.2 Agrarprodukte von Ackerflächen

Mit dem Ansatz der attribuierten Landnutzungsänderung (aLUC) wird die Flächennutzungsänderung durch Agrarprodukte, wie sie durch die LUC-Daten des NIR ausgewiesen sind, über all diese proportional verteilt, da es keine Datengrundlage dafür gibt, dass durch eine bestimmte Feldfrucht mehr zu Flächennutzungsänderung beigesteuert wird als durch andere.

In Tabelle 24 sind auf Basis der Daten der NIR die Landnutzungsänderungen zugunsten und zulasten der Ackerfläche in Deutschland gemittelt über den Zeitraum 2013–2017 aufgeführt. Es zeigt sich, dass die Nettofläche weitgehend konstant geblieben ist, wobei die Zugewinne mittels Grünlandumbruch (31.600 Hektar pro Jahr) durch Verluste an Siedlungsflächen weitgehend kompensiert wurden. Bei einer Ackerlandfläche von 11,772 Mio. Hektar (Destatis, 2019b) liegt der Nettogewinn zulasten von Grünland bei 0,27 %.

Für Ackerfrüchte wird somit pro belegtem Hektar Ackerfläche eine Flächennutzungsänderung von 0,0027 Hektar (27 m²) Grünland angerechnet.

Als Beispiel für ein importiertes Agrarprodukt wird **Palmöl** mitbetrachtet. Nach den Daten der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) liegt der Beitrag der Landwirtschaft an der Umwandlung von Wald in Indonesien und Malaysia (den mit Abstand größten Palmölproduzenten und Importeuren für Deutschland) bei jährlich 3 % bezogen auf die bestehende Landwirtschaftsfläche, gemittelt über die Jahre 2006 bis 2015 (FAOSTAT, 2021). BioEm bezieht sich für Palmöl auf eine Studie der (FAO, 2014), die speziell die Landnutzungsänderung in Indonesien durch Palmölproduktion über den Zeitraum 2000 bis 2010 betrachtet. Dabei wurde eine Umwandlungsrate von jährlich 6 % als Zunahme der Plantagenfläche auf Kosten von tropischem Regenwald und anderen Flächen ermittelt. Um methodisch konsistent mit der Vorgehensweise für die Flächennutzungsänderung für deutsche Agrarprodukte zu sein, wird auf die aktuelleren Daten nach (FAOSTAT, 2021) zurückgegriffen.

Tabelle 24: Jährliche Landnutzungsänderungen zugunsten und zulasten der Ackerfläche in Deutschland nach dem NIR für den Zeitraum 2013-2017.

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	Zu Acker	Aus Acker	Netto	In %
Wald	466	2.949	-2.483	-0,02
Grünland i. e. S.	50.185	18.594	31.591	0,27
Gehölze	401	857	-456	0,00
Terrestrische Feuchtgebiete	0	56	-56	0,00
Gewässer	3	309	-306	0,00
Siedlung	1.078	28.446	-27.368	-0,23
Summen	52.133	51.211	922	0,01

Quelle: (Örtl, 2019)

3.3.3 Grünschnitt, Weideaufwuchs von Grünlandflächen

Wie bei Wald ist auch bei Grünland die Flächennutzungsänderung zugunsten der Grünlandfläche marginal und liegt unter ein Prozent. Umgekehrt jedoch ist die Netto-Entwicklung der Grünlandfläche negativ. Gegenüber allen anderen Flächennutzungsarten verliert Grünland seit 1990 jedes Jahr an Fläche. Daher soll auch für Grünland und die darauf geernteten Erzeugnisse die Flächennutzungsänderung mit Null angesetzt werden.

Tabelle 25: Landnutzungsänderungen zu Gunsten und zu Lasten der Grünlandfläche in Deutschland nach dem NIR für den Zeitraum 2013-2017.

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	Bestand	Zunahme von ...	Abnahme zu ...	Nettoänderung	Netto in %
Grünland i.e.S. zu Wald	5.048.323				
Wald		52.592	-160.773	-108.181	-2,1
Acker		433.122	-1.024.382	-591.260	-11,7

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	Bestand	Zunahme von ...	Abnahme zu ...	Nettoän- derung	Netto in %
Gehölze		22.121	-79.342	-57.221	-1,1
Terrestrische Feuchtgebiete		5.348	-18.597	-13.249	-0,3
Gewässer		21.565	-19.606	1.959	0,0
Siedlung		87.751	-249.148	-161.397	-3,2
Sonstiges Land		14.102	0	14.102	0,3
Summe	5.684.924	-915.247	636.601	1.551.848	-18

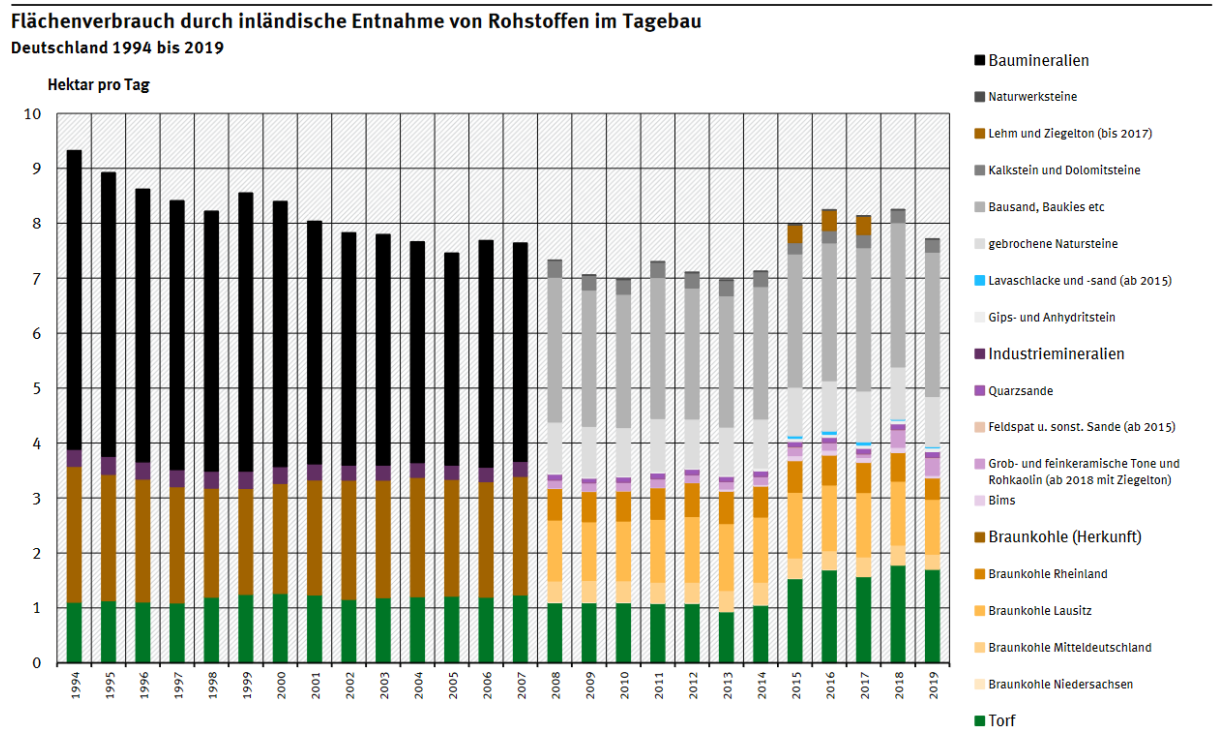
Quelle: (Örtl, 2019)

3.3.4 Mineralische und fossile Rohstoffe von Abbauflächen

3.3.4.1 Gesteine

Nach Berechnungen des (Umweltbundesamt, 2021) auf der Basis von Daten der BGR(-DERA) Berichte zur Rohstoffsituation in Deutschland und des Statistischen Bundesamts (DeStatis) wurde 2019 eine Fläche von 1.590 Hektar neu vom Tagebau für Industrie- und Baumineralien in Anspruch genommen. Im Fünfjahresmittel lag der Wert bei 1.631 Hektar pro Jahr. Darunter dominiert der Bereich Baukies und Bausand mit durchschnittlich 900 Hektar pro Jahr, gefolgt von Natursteinen mit 330 Hektar pro Jahr und Kalk-/Dolomitsteine mit 89 Hektar pro Jahr (siehe Abbildung 8). In Tabelle 26 werden die Werte zur Flächenausdehnung mit den Entnahmemengen verknüpft und daraus die spezifischen Flächennutzungsänderungsfaktoren abgeleitet.

Abbildung 8: Flächenverbrauch durch inländische Entnahme von mineralischen Rohstoffen im Tagebau in Deutschland von 1994 bis 2019



Quelle: Berechnungen des Umweltbundesamtes 2021, Datenquellen: BGR(-DERA) Bericht zur Rohstoffsituation in Deutschland 2019

Quelle: (Umweltbundesamt, 2021)

Tabelle 26: Spezifische Flächennutzungsänderung für ausgewählte Steine und Erden

Gesteine	Jährliche Zunahme an Fläche [ha/a]	Jährliche Abbaumenge [t/a]	Spez. Flächennutzungsänderung [m ² /t]
Bausand, Baukies etc.	901	243.000	0,037
Gebrochene Natursteine	328	213.000	0,015
Kalk- und Dolomitsteine	88,5	57.600	0,015
Lehm- und Ziegelton	124	13.700	0,091
Gips- und Anhydridstein	18,5	3.700	0,05

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu auf Basis von (Umweltbundesamt, 2021)

3.3.4.2 Braunkohle

In Kapitel 3.2.4.2 wurden die Werte zur temporären Flächenbelegung auf der Basis von Daten der (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019) hergeleitet. Diese bietet auch für die Flächennutzungsänderung eine geeignete Grundlage. Die Entwicklung in den Jahren 2010 bis 2019 zeigt Tabelle 27. In diesem Zeitraum nahm die Flächenbelegung für Braunkohle in Deutschland um 6.800 Hektar zu. Im gleichen Zeitraum wurden 1.710 Mio. Tonnen Braunkohle gefördert.

Damit errechnet sich ein Faktor für die Flächennutzungsänderung von ca. 0,04 m²/t.

Auch (Pfluger et al., 2018) haben auf Basis der Kohlenstatistik die spezifische Zunahme an Flächeninanspruchnahme für Braunkohleförderung in Deutschland ermittelt. Sie legen den Zuwachs an Flächeninanspruchnahme (Betriebsfläche und Neunutzung) von 2000 bis 2015 in Höhe von 14.000 Hektar zugrunde und beziehen diese auf ca. 7.000 TWh in der gleichen Zeit geförderte Braunkohle. Somit kommen sie auf einen mittleren spezifischen Zuwachs von ca. 2 Hektar pro TWh. Umgerechnet in Tonnen ergeben sich dafür 0,049 m²/t. Das liegt über dem oben ermittelten Wert, was an der gebremsten Entwicklung in den jüngeren Jahren liegt.

Tabelle 27: Daten zur Bestimmung der Flächennutzungsänderung von einer Tonne Braunkohle

Abbau, Rohstoffförderung	Deutschland	Einheit
Landinanspruchnahme 2010	172.594	ha
Landinanspruchnahme 2019	179.402	ha
Zunahme Landinanspruchnahme (2010–2019)	6.808	ha
Fördermenge (2010–2019):	1.711	Mio. t
Flächennutzungsänderung	0,04	m ² /t

Quelle: (Statistik der Kohlenwirtschaft, 2019), Zusammenstellung ifeu, 2021

3.3.5 Infrastrukturen

Wie bei der temporären Flächenbelegung konzentriert sich auch die Flächennutzungsänderung auf Infrastrukturen des Energiesektors und Verkehrswege. Für den Energiesektor liegt dabei der Fokus auf:

- ▶ Windenergieanlagen (an Land)
- ▶ Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen (PV-FFA)
- ▶ Solarkraftwerken, Standort MENA-Region
- ▶ Übertragungsnetzen

Ein wesentlicher Zubau von thermischen Kraftwerken findet zumindest in Deutschland nicht statt, wie die Daten der Bundesnetzagentur zeigen (Bundesnetzagentur, 2021). Vielmehr zeigt sich ein Netto-Rückbau. Daher wird die mit dieser Infrastruktur verbundene Flächennutzungsänderung der Einfachheit halber mit Null angesetzt.²⁴

3.3.5.1 Windenergieanlagen an Land

Wie bei agrarischen Produkten, denen anteilig der Beitrag zur Landnutzungsänderung von anderen Flächen (z. B. Grünland zu Agrarfläche) angerechnet wird (Ansatz der attribuierten Landnutzungsänderung, aLUC), ist die Errichtung neuer Windenergieanlagen und deren Betrieb mit einer Flächennutzungsänderung verbunden.

Die in Kapitel 3.2.5.1 beschriebenen jährlichen Veränderungen des Bestands im Zehnjahresmittel mit den zugehörigen Veränderungen im Flächenbedarf entsprechen somit Flächennutzungsänderungen. Wie dort bereits ausgeführt, liegt der jährliche Netto-Zuwachs des Bestands bei jährlich 5,0 %, welcher als Flächennutzungsänderung angerechnet wird und fortlaufend angepasst werden muss.

Wie ebenso dort beschrieben wird von einer größeren Fundamentfläche (491 statt 380 m²) für neu zugebaute Anlagen ausgegangen, sonst aber von keinen Veränderungen in der Flächeninanspruchnahme. Dies führt ggf. zu einer leichten Unterschätzung der Flächennutzungsänderung. Die Vergrößerung der Fundamentfläche betrifft auch die im Rahmen des Repowerings (Stilllegung und Ersatz alter Anlagen) brutto zusätzlich zu den netto zugebauten Anlagen. Um dies in der Flächennutzungsänderung zu berücksichtigen, wird das Verhältnis von Brutto- zu Netto-Zubau jeweils im Mittel für den verfügbaren Zeitraum von 2015 bis 2017 aus (AFEG, 2018) gebildet und mit auf die Flächennutzungsänderung durch das Fundament aufgeschlagen.

Da hier die Anzahl zugebauter WEAs betrachtet wird und der Bezug die Energieeinheit MWh im Bestand ist, ist keine Abhängigkeit von einer Leistungssteigerung bei den zugebauten WEAs gegeben, weil sich der spezifische Flächenbestand durch den Zubau nur graduell verändert.

Wie bereits in Kapitel 3.2.5.1 ausgeführt, beträgt der Anteil von WEAs auf Offenland-Flächen bei 83,9 %, diese unterteilt zu ca. 95 % auf Ackerland und zu ca. 5 % auf Grünlandflächen. Dies wird auch für den zukünftigen Zubau so angesetzt. Wie ebenso in Kapitel 3.2.5.1 beschrieben betrug der Zubau an WEA im Wald über die letzten acht Jahre von 2010 bis 2017 im Mittel 16,1 % des gesamten Zubaus an Wald- und Offenlandstandorten (errechnet aus (AFEG, 2018)).

²⁴ Da sich die Flächennutzungsänderung auf die mittlere Entwicklung über die vergangenen zehn Jahre bezieht, fallen in davorliegender Zeit errichtete Infrastrukturen aus der Betrachtung, auch wenn sie bei ihrer Errichtung mit Flächennutzungsänderung einhergingen.

WEAs auf bebauten Flächen belegen keine zusätzlichen Flächen und bedingen somit auch keine Flächennutzungsänderung. Aufgrund des geringen Anteils werden sie hier vernachlässigt. In Tabelle 28 werden die Faktoren für die Flächennutzungsänderung bezogen auf die Energieeinheit kWh im gewichteten Mittel aus WEAs im Wald und auf Offenlandstandorten auf der Basis der vorausgehenden Basisdaten abgeleitet.

Tabelle 28: Flächennutzungsänderung für durch Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen

	Faktoren	Einheit
Offenland		
Flächenbelegung Windenergie (siehe Tabelle 13)	0,854	m ² · 1a / MWh Offenland
Neue Fläche Windenergie pro Jahr (5,0 % x 83,9 % x (Belegung Fläche unversiegelt + Belegung Fläche versiegelt x 1,15 ¹))	0,0375	m ² / MWh ges.
davon auf Ackerland (95 %)	0,0357	m ² / MWh ges.
davon auf Grünland (5 %)	0,0019	m ² / MWh ges.
<i>Flächennutzungsänderung (Offenland)</i>	<i>0,0375</i>	<i>m² / MWh ges.</i>
Wald		
Flächenbelegung Windenergie (siehe Tabelle 13)	1,357	m ² · 1a / MWh Wald
Neue Fläche Windenergie pro Jahr (5,0 % x 16,1 % x (Belegung Fläche unversiegelt + Belegung Fläche versiegelt x 1,12 ²))	0,0112	m ² / MWh ges.
Flächennutzungsänderung (gesamt)	0,0488	m² / MWh ges.

a) Vergrößerungsfaktor durch Fundamentfläche um: $1 + (491/380 - 1) \times (\text{Brutto-Zubau Mittel 2015-2017} / \text{Netto-Zubau Mittel 2015-2017}) \times (\text{Fläche Fundament} / \text{Summe versiegelte Fläche})$

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf eigenen Berechnungen auf den in Abschnitt 3.3.5.1 beschriebenen Grundlagen und den Angaben aus Tabelle 13

3.3.5.2 Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation

Wie bei der Windenergie wird die Flächennutzungsänderung über die jährlichen Veränderungen des Bestands im Zehnjahresmittel mit den zugehörigen Veränderungen im Flächenbedarf abgebildet. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der PV-Anlagen wird hier aber nicht die Anzahl der Anlagen wie bei den WEAs, sondern die installierte Leistung betrachtet. Im Mittel betrug der jährliche Zuwachs an Leistung aus Photovoltaik-Anlagen als Summe aus Dach- und Freiflächenanlagen in den letzten zehn Jahren von 2008 bis 2017 3.800 MWp,²⁵ wobei im Bestand im Mittel im selben Zeitraum 29.000 MWp installiert waren (errechnet aus (AFEG, 2018) und (AGEE-Stat, 2020)). Die für die Ableitung der Flächennutzungsänderung anzurechnende Zuwachsrate errechnet sich daraus zu 13,2 %. Es wird hier vereinfachend angenommen, dass der Zuwachs für Dach- und Freiflächenanlagen in derselben Größenordnung liegt, sodass wie im Bestand nur 30 % davon PV-Freiflächenanlagen zuzurechnen ist, die im Gegensatz zu Dachanlagen eine entsprechende Veränderung ihrer Ausgangsflächen bewirken. Es muss aber bedacht werden, dass

²⁵ MWp: Megawatt Peak, die theoretische Leistung einer PV-Anlage.

die Zuwachsrate insbesondere bei Freiflächen-PV in den letzten zehn Jahren großen Schwankungen unterlegen ist. Ab dem Jahr 2009 wurden die Modulpreise erschwinglich, mit sinkender Förderung ab 2013 sank der Zubau durch sinkende Förderung wieder deutlich ab (Klessmann et al., 2015).

Da die zugebauten PV-Freiflächenanlagen aufgrund gesteigerter Wirkungsgrade einen geringeren spezifischen Flächenbedarf haben als die Anlagen im Bestand, muss die Zuwachsrate weiterhin um den Quotienten aus Fläche/Leistung im Zubau und Fläche/Leistung im Bestand korrigiert werden. Der Wirkungsgrad für monokristalline Siliziumwafer lag im Jahr 2010 noch bei ~15 % und liegt für neu zugebaute Module bei ~18 %. Daraus lässt sich eine Verminderung der Flächeninanspruchnahme auf $15/18 = 83\%$ ableiten. Nach (Kelm et al., 2019) ist bei neu zugebauten Anlagen von einem Flächenbedarf von 1,34 ha/MWp auszugehen gegenüber 2,2 ha/MWp für eine Bestandsanlage aus dem Jahr 2012. Damit würde die Flächeninanspruchnahme auf $1,34/2,2 = 61\%$ absinken. Konservativerweise werden hier aber die 83 % angesetzt.

Die Flächennutzungsänderung bezieht sich auf den Bestand. Eine Vergrößerung des Bestands bewirkt eine positive, eine Verkleinerung eine negative Flächennutzungsänderung, die dem derzeit im Bestand erzeugten Strom anzurechnen ist, ähnlich wie das bei Grünlandumbruch für die Erweiterung von Ackerflächen der Fall ist. Durch eine Bestandsvergrößerung wird auch mehr Strom erzeugt, so dass sich die spezifische Flächenbelegung wiederum nur dadurch verändert, dass die Module effizienter werden. Dies ist in der Ermittlung des zukünftigen Bestands zu berücksichtigen.

Anteile der Ausgangsflächenarten

Wie vorangehend ausgeführt, sind die Vornutzungen der PV-FFA-Flächen sehr vielfältig und somit schwer einheitlich zu bewerten. Auch liegen derzeit wenige detailliert ausgearbeitete Daten zu Flächenanteilen der Vornutzungsarten in konsistenter Weise vor. Über die Ausschreibungen seit 2015 liegen Daten seitens der (BNetzA, 2016) vor, nach welcher 31 % der förderberechtigten Flächen auf Ackerland liegen, davon 23 %-Punkte auf den 110 m-Randstreifen und 8 %-Punkte in benachteiligten Gebieten. Mehr als zwei Drittel machen Konversionsflächen aus. Es sei angemerkt, dass die Gesamtsumme der hier ausgewerteten Fläche mit ausgewiesener Vorflächennutzung sich auf 265 Hektar beschränkt.

Über das Anlagenregister für den Zeitraum von März 2015 bis August 2016 und eine Verschneidung mit dem Digitalen Landschaftsmodell durch das Thünen-Institut liegen weiterhin Daten mit Differenzierung zwischen Acker- und Grünland in (BNetzA, 2016) vor, nach welcher 29 % der Flächen auf Ackerland liegen, 14 % auf Grünland und 57 % auf insbesondere Konversionsflächen. Diese Flächenanteile werden hier angesetzt.

(Kelm et al., 2019) weist auch die Flächenanteile der Ausgangsflächen für den Bestand der PV-Anlagen differenziert nach Konversionsflächen, Ackerflächen auf benachteiligten Gebieten, ehemals landwirtschaftliche Flächen an Verkehrswegen und Sonstigen aus. Die Summe aus obigen Acker- und Grünflächenanteilen im Zubau stimmen recht gut mit Acker- und landwirtschaftlichen Flächen im Bestand überein.

In Tabelle 29 werden die Faktoren für die Flächennutzungsänderung bezogen auf die Energieeinheit MWh auf der Basis der vorausgehenden Basisdaten abgeleitet.

Tabelle 29: Flächennutzungsänderung für durch PV-FFA betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Konversionsflächen

	Faktoren	Einheit
Flächenbelegung PV-FFA (siehe Tabelle 14)	22	m ² 1a / MWh
Neue Fläche PV-FFA pro Jahr (13,2 % x Belegung x 83 %)	2,421	m ² ·/ MWh
davon auf Ackerland (29 %)	0,702	m ² / MWh.
davon auf Grünland (14 %)	0,339	m ² / MWh.
davon auf Konversionsflächen (57 %)	1,38	m ² / MWh.

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf eigenen Berechnungen auf den in Abschnitt 3.3.5.2 beschriebenen Grundlagen und den Angaben aus Tabelle 14)

3.3.5.3 Solarkraftwerke, Standort MENA-Region

Der „Solar Outlook Report 2020“ der „Middle East Solar Industry Association“ (Mesia, 2020) gibt an, dass die Gesamtkapazität für Solarenergie in dieser Dekade um das 25-Fache gestiegen ist, mit ca. 25 GW Anfang 2010 auf für Ende 2019 erwartete 618 GW.

Der globale Statusreport für Erneuerbare Energien 2020 (REN21, 2020) des „Renewable Energy Policy Network for the 21st century“ gibt für die letzte Dekade ein weltweites jährliches Wachstum von 24 % des Marktes für Strom aus solarthermischer Konzentratortechnik (CSP) an. Für das Jahr 2019 wird eine Wachstumsrate von 19 % angegeben, mit dem Hinweis auf einen erneut wachsenden Markt, der sich durch bereits im Bau befindliche Anlagen abzeichnet.

Bei Betrachtung der derzeit im Bau befindlichen Anlagen und der künftig geplanten Anlagen im „Solar Outlook Report 2020“ der „Middle East Solar Industry Association“ wird deutlich, dass in der MENA-Region deutlich mehr PV-Kraftwerke als CSP-Kraftwerke gebaut werden bzw. geplant sind. Ca. 90 % der künftig geplanten Anlagen sind PV-Kraftwerke (anhand gepl. Leistung), die verbleibenden 10 % sind CSP und CSP-PV-Kraftwerke (Kombination aus CSP- und PV-Anlage). 2019 waren in der MENA-Region ca. 50 % der im Bau befindlichen Anlagen PV-Anlagen.

Die Solarenergie hat das höchste durchschnittliche jährliche Wachstum der Stromerzeugung in der MENA-Region zu verzeichnen. Dies ist auf eine erhebliche Zunahme der installierten Kapazität und Produktion der Photovoltaik (PV) von einer niedrigen Ausgangsbasis aus sowie auf den ersten ab 2010 in Betrieb genommenen CSP-Anlagen in dieser Region zurückzuführen (Bryden et al., 2013).

Im „Renewable Status Report“ der MENA-Region 2013 (Bryden et al., 2013) wurden bereits 44 in Planung befindliche Projekte im Bereich Solarenergie mit einer Kapazität von 2.346,75 MW aufgelistet. In (Mesia, 2020) sind künftige CSP/PV-Projekte in der MENA-Region (teils angekündigt, teils bereits in der Ausschreibungsphase) mit ca. 10 GW aufgeführt. Die installierte Kapazität betrug im Zeitraum 2010–2012 im Solarenergiebereich der MENA-Region für PV 380,24 MW und für CSP 182 MW.

Ähnliche Zahlen finden sich in (Mannah et al., 2016). Hier wird die installierte Kapazität in der MENA-Region Ende 2012 für PV mit 182 MW und CSP mit 407,64 MW geschätzt. Das angegebene Potenzial für PV wurde auf mindestens 26,4 GW und für CSP von 39,7 GW abgeschätzt. Die

ambitionierten Ziele in der MENA-Region, wie beispielsweise von Ägypten, das bis 2032 eine Solarkapazität von 16 GW für PV und für 15 GW CSP erreichen möchte, scheinen diese ambitionierten Ziele zu untermauern.

Mögliche Effizienzsteigerung durch technische Entwicklungen

Nach (IRENA, 2019) hat das Aufkommen neuer Zellarchitekturen höhere Wirkungsgrade ermöglicht. Eine wichtige Triebfeder dieses Wandels war das Aufkommen der PERC-Zellen (Passivated Emitter and Rear Cell) und ihre Kompatibilität mit anderen aufkommenden Innovationen, wie z. B. halbgeschnittenen Zellen. Mit Blick auf die Zukunft bezieht sich die wichtigste technologische Verschiebung auf dem Markt auf bifaziale Zellen und Module, die durch die zunehmende Übernahme fortschrittlicher Zellarchitekturen und die Konzentration auf Systemleistungsniveaus vorangetrieben wird.

Es wird erwartet, dass Hochleistungsmodule, sog. bifaziale Module, einen großen Anteil am Markt einnehmen werden, insbesondere bei Projekten im Versorgungsbereich. Bifaziale Module verwenden sowohl die Vorder- als auch die Rückseite des Solarpanels. Die Bodenreflektivität, auch als Albedo-Effekt bezeichnet, erhöht die Energieerzeugung. Unterschiedliche Bodenoberflächen beeinflussen den Wirkungsgrad der Module. Infolgedessen wird bei der Konstruktion von bifazialen Solar-PV-Anlagen versucht, eine minimale Abschattung zu gewährleisten, um von der Rückseite der Module zu profitieren. Die Gewinne bei der Stromerzeugung können mehr als 25 % betragen und zur Optimierung der LCOEs (levelized cost of electricity) beitragen. Die Bifazial-Technologie wird in der Region voraussichtlich zunehmen und wurde bereits im ägyptischen Solarpark in Benban umgesetzt (Mesia, 2020).

Flächennutzungsänderung CSP-Kraftwerke: Solarturmkraftwerk und Parabolspiegel-Kraftwerk Standort MENA-Region

Der wachsende Markt für CSP in der Region Nahost und Nordafrika (MENA) machte Ende 2019 mit 15 Kraftwerken und einer Gesamtleistung von fast 1,8 GW fast 30 % der weltweit in Betrieb befindlichen Kapazität aus (REN21, 2020).

In einem NEEDS-Bericht des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) (Viebahn et al., 2008) zu solarthermischen Kraftwerken werden drei Zukunftsszenarien der Kapazitätsentwicklungen für Solarkraftwerke, u. a. in der MENA-Region, betrachtet. Im „optimistisch-realistischen“ Szenario wird basierend auf (Zervos et al., 2007) von einer Zuwachsrate von 17 % pro Jahr bis zum Jahr 2030 und einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 5,5 % pro Jahr zwischen 2030 und 2050 ausgegangen.

Im „sehr optimistischen“ Verbreitungsszenario wurde eine ehrgeizige Entwicklung der Solarthermie ähnlich der von Windkraftwerken angenommen. Es wurde mit 20–25 % pro Jahr nach 2010 und einer durchschnittlichen Rate von 15 % pro Jahr zwischen 2020 und 2050 gerechnet.

In (Liebich et al., 2020) wurde die zu erwartenden Reduzierung der Fläche pro MWh für CSP-Anlagen für die Jahre 2030 und 2050 betrachtet. Folgende Tabelle 30 gibt hierzu einen Überblick.

Anhand der oben erwähnten Betrachtungen und basierend auf einer durchschnittlichen Flächenbelegung von ca. $11 \text{ m}^2 \cdot 1\text{a} / \text{MWh}$ für Solarenergie aus dem MENA-Raum wäre unter Anwendung des „realistisch-optimistischen Szenarios“ (17 % bis 2030 und 5 % bis 2050) von folgenden Flächennutzungsänderungen auszugehen:

- ▶ bis 2030 eine jährliche Zunahme von ca. $2 \text{ m}^2 / \text{MWh}$
- ▶ 2030 bis 2050 eine jährliche Zunahme von ca. $0,6 \text{ m}^2 / \text{MWh}$

Tabelle 30: Voraussichtliche Entwicklung der temporären Flächenbelegung für CSP-Anlagen am Standort MENA-Region

	Faktoren heute	Faktoren 2030	Faktoren 2050	Einheit
CSP MENA Durchschnittlich	11,2	9,5	9,2	m ² -a /MWh

Quelle: (Liebich et al., 2020)

Der geringere spezifische Flächenbedarf der neu zugebauten Anlagen aufgrund steigender Wirkungsgrade erfordert eine Korrektur der Zuwachsrate. Konservativerweise wird für die MENA-Region hier dieselbe Verminderung der Flächeninanspruchnahme durch Effizienzsteigerung auf 83 % angenommen, wie sie auch für FF-PV in Deutschland angesetzt wurde (siehe hierzu voriges Kapitel). Dies entspricht auch in etwa der Reduzierung der Fläche bis 2030 in Tabelle 30 und führt zu folgenden Werten:

- ▶ bis 2030 eine jährliche Zunahme von ca. 1,6 m²/MWh
- ▶ 2030 bis 2050 eine jährliche Zunahme von ca. 0,5 m²/MWh

In Anbetracht der oben beschriebenen rasanten Entwicklungen im Bereich der Solar-Energie im MENA-Raum sowie der in der DLR Studie „MED-CSP“ (DLR, 2005) untersuchten Machbarkeit dieser Entwicklungen wird hier zum Vergleich auch die Flächennutzungsänderung des „sehr optimistischen Szenarios“ (20–25 % bis 2030 und 15 % bis 2050) aufgeführt:

- ▶ bis 2030 eine jährliche Zunahme von ca. 2,2–2,75 m²/MWh
- ▶ 2030 bis 2050 eine jährliche Zunahme von ca. 1,65 m²/MWh

Unter Berücksichtigung der Effizienzsteigerung auf 83 % würde dies zu folgenden Werten führen:

- ▶ bis 2030 eine jährliche Zunahme von ca. 1,8–2,3 m²/MWh
- ▶ 2030 bis 2050 eine jährliche Zunahme von ca. 1,4 m²/MWh

Basierend auf den obigen Ausführungen wird ein Wachstum von 15 % und eine Effizienzsteigerung auf 83 % angenommen. Demzufolge wird eine Flächennutzungsänderung von 1,4 m²/MWh für die weiteren Berechnungen angesetzt. Dieser Wert ist jedoch aufgrund des dynamischen Wachstums in dieser Region nur bedingt aussagekräftig.

Flächennutzungsänderung Photovoltaik-Kraftwerk, Standort MENA-Region

Obwohl der Anteil von PV-Solarstrom am Stromerzeugungsmix der MENA-Region heute noch relativ gering ist, erfährt die PV aufgrund ihres enormen Potenzials und der kontinuierlich sinkenden Technologiekosten ein rasantes Wachstum. Nach Angaben in (Bryden et al., 2013) betrug die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 2008 bis 2011 mindestens 112 %.

3.3.5.4 Übertragungsnetze

Als Datengrundlage für die Flächennutzungsänderung durch die Entwicklung bei Übertragungsnetzen können die Analysen von (Pfluger et al., 2018) herangezogen werden. Danach verhält

sich der jährliche Zuwachs an Trassenkilometer im Bereich zwischen 0,3 % und 0,7 % gegenüber dem bestehenden Netz. Im Basisszenario wird sogar ein Rückgang prognostiziert (siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Entwicklung der Übertragungsnetze in Deutschland im Vergleich der Szenarien Referenz, RAS und Basis

Oberirdisches Übertragungsnetz [Trassen-km]	2013	2020	2030	2040	2050
Referenz	24.157	24.788	25.964	26.499	26.347
RAS	24.157	24.788	25.963	26.718	26.665
Basis	24.157	24.445	23.583	22.657	22.365

Quelle: (Pfluger et al., 2018)

Szenarien: Referenzszenario: es wird ein „Auslaufen“ der Energiewende unterstellt; RAS = Restriktionsarmes Szenario: geringerer Ausbau der erneuerbaren Energien im Vergleich zum Basisszenario; Basisszenario: es wird eine freie kostenminimierende Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele (80 % Minderung) angestrebt.

Für die hier vorliegende Aufgabenstellung von einem mittleren Ansatz von 0,5 % Zuwachs an Trassenlänge pro Jahr angesetzt. Dieser Zuwachs wird übertragen auf die in Kapitel 3.2.5.5 beschriebene Situation der Belegung, wodurch folgende Werte für die Flächennutzungsänderung ergeben:

- ▶ Zunahme an **Masten** von **0,00007 m²/MWh Strom**.
- ▶ Zunahme an freizuhaltenden Trassen von **0,0025 m²/MWh Strom**

3.3.5.5 Verkehrsflächen

Der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur ist mit einer Flächennutzungsänderung verbunden. Die jährlichen Veränderungen des Bestands im Zehnjahresmittel mit den zugehörigen Veränderungen im Flächenbedarf entsprechen somit Flächennutzungsänderungen. Destatis liefert Zeitreihen für die Flächenerhebung in Deutschland nach der Art der tatsächlichen Nutzung (Destatis, 2019c) anhand welcher sich ein jährlicher Zuwachs ermitteln lässt. Ab dem Berichtsjahr 2016 basiert die Berichterstattung auf dem Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) wodurch der Vergleich zu den Vorjahren beeinträchtigt ist und Berechnung von Veränderungen erschwert werden.

In Tabelle 32 sind die Daten für die Jahre 2008 bis 2018 aufgeführt. Ab 2016 liegen die Daten in detaillierterer Form vor als in den Vorjahren, daher wurden die für die Berechnungen der Flächennutzungsänderung notwendigen Daten anhand der durchschnittlichen prozentualen Aufteilung der Flächen aus den Jahren 2016–2018 linear extrapoliert und grau dargestellt. Auf diese Weise konnten die Straßenverkehrsflächen und Bahnverkehrsflächen für die Jahre vor 2016 ergänzt werden.

Über die durchschnittliche Flächennutzungsänderung der Jahre 2009 bis 2018 wurde die Flächennutzungsänderung im Zehnjahresmittel berechnet und für Straßenverkehrsflächen und Bahnverkehrsflächen in der letzten Spalte von Tabelle 32 dargestellt.

Die Flächennutzungsänderung im Zehnjahresmittel liegt demnach für

- ▶ Straßenverkehrsflächen bei ca. 10,4 km²/a

► Bahnverkehrsflächen bei ca. 0,5 km²/a

Tabelle 32: Datengrundlage zur Berechnung der Flächennutzungsänderung von Straßen -und Bahnverkehr

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	10-JM
Verkehrsfläche gesamt [km ²]	17.856	17.931	17.884	17.923	17.985	18.071	18.108	18.029	18.046	18.047	
Straße, Wege, Platz [km ²]	15.709	15.737	15.666	15.678	15.706	15.749	15.730	16.439	16.461	16.473	
Straßenverkehr [km ²]	9.357	9.397	9.372	9.392	9.425	9.470	9.489	9.479	9.456	9.427	
Anteil Straßenverkehr an Verkehrsfl. ges.	52,4%	52,4%	52,4%	52,4%	52,4%	52,4%	52,4%	52,6%	52,4%	52,2%	
Flächenänderung zum Vorjahr [km ²]	34	39	-25	21	33	45	20	-10	-23	-30	10,41
Weg [km ²]								6.614	6.658	6.698	
Platz [km ²]								346	347	349	
Bahnverkehr [km ²]	1.170	1.175	1.172	1.174	1.178	1.184	1.186	1.192	1.183	1.170	
Anteil Bahnverkehr an Verkehrsfl. Ges.	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	6,5%	
Flächenänderung zum Vorjahr [km ²]	4	5	-3	3	4	6	2	6	-9	-13	0,50
Flugverkehr [km²]								374	376	379	
Schiffsverkehr [km²]								24	26	25	

Quelle: (Destatis, 2019c), ergänzt durch eigene Berechnungen ifeu (grau)

10-JM: Zehnjahresmittel

Die Daten für Straßenverkehr und Bahnverkehr lagen nur für die Jahre 2016–2018 in detaillierter Form vor, die Jahre 2008–2015 wurden anhand der prozentualen Anteile des Straßen- und Bahnverkehrs der Jahre 2016–2018 linear extrapoliert.

Die Werte für die Flächennutzungsänderung der verschiedenen Verkehrsmittel konnten näherungsweise anhand des Verhältnisses zwischen Flächenbelegung und Flächenumwandlung von 4.422 km² zu 10,41 km²/a für Straßenverkehrsflächen und 907 km² zu 0,5 km²/a für Bahnverkehrsflächen ermittelt werden und sind Tabelle 33 und Tabelle 34 zu entnehmen. Im Sinne einer

möglichst konsistenten und konservativen Betrachtungsweise wurden die Gesamtverkehrsflächen für Straßen und Bahnverkehr hier, wie auch für die Ermittlung der Flächenbelegung, aus (Allekotte et al., 2020) verwendet.

Da keine Daten zur Entwicklung der Böschungen über die letzten Jahre verfügbar sind, wurden diese anhand ihrer prozentualen Anteile an der Flächenbelegung auf die Flächennutzungsänderung übertragen.

In Tabelle 33 sind die Flächennutzungsänderungen für Transportmittel des Personenverkehrs aufgeführt. Für den Straßen-, Stadt- und U-Bahn-Verkehr, den Schienenpersonennah- und den Schienenpersonenfernverkehr wurde der Faktor von $5,51E-4$ zur Umrechnung angewendet. Für die Verkehrsmittel des Verkehrsträgers Straße fand der Faktor $2,35E-3$ Anwendung.

Tabelle 33: Flächennutzungsänderung Personenverkehr

Verkehrsmittel	Flächennutzungsänderung Verkehrswege [m ² /Pkm]	Flächennutzungsänderung Böschung [m ² /Pkm]
Pkw	5,02E-06	7,93E-08
Kraftrad	3,62E-06	3,03E-08
Kleinkraftrad	1,01E-06	9,08E-10
Linienbus	1,66E-06	1,41E-08
Fernlinienbus	3,71E-07	6,85E-09
Reisebus	4,12E-07	8,19E-09
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	4,70E-07	2,01E-07
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)	1,30E-06	5,55E-07
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)	6,28E-07	2,68E-07

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

In Tabelle 34 sind die Flächenänderungen für die Verkehrsmittel des Güterverkehrs dargestellt. Den Berechnungen liegen die gleichen Faktoren wie auch für den Straßen- und Schienenverkehr des Personentransportes zugrunde.

Tabelle 34: Flächennutzungsänderung Güterverkehr

Verkehrsmittel	Flächennutzungsänderung Verkehrswege [m ² /tkm]	Flächennutzungsänderung Böschung [m ² /tkm]
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	1,47E-06	3,93E-08
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	5,93E-05	5,96E-07
Güterzug	5,03E-07	2,15E-07

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

3.4 Daten zu Hemerobie

3.4.1 Wald- und Forstflächen

Nach den Ausführungen im Teilbericht I (Kapitel 4.1.4.2) lassen sich zur Hemerobie der Wald- und Forstflächen in Deutschland folgende generischen Daten ableiten:

- ▶ Im Mittel gilt für den Wald insgesamt auf Basis eines Modellansatzes beruhend auf dem Waldzustandsindex (WZI) nach (Welle et al., 2018) (Kapitel 4.1 des Teilberichts I) Hemerobiekategorie IV.
- ▶ Die Verteilung der Klassen im Einzelnen zeichnet sich wie folgt ab:
 - 6,7 % der Waldfläche in Klasse II
 - 10,9 % der Waldfläche in Klasse III
 - 66,5 % der Waldfläche in Klasse IV
 - 15,9 % der Waldfläche in Klasse V
- ▶ Ausgehend von diesen Mittelwerten bzw. mittleren Verteilungswerten ergeben sich für Holzarten über ein System von Bonus- und Minuspunkten die in Tabelle 35 aufgeführten Einstufungen.

Tabelle 35: Mittelwerte und Anteile an Hemerobieklassen für verschiedene Holzarten aus Wald in Deutschland

Holzart	Mittelwert	Anteile Klasse			
		II	III	IV	V
Rotbuche	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Bergahorn	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Spitzahorn	Klasse III	10 %	26 %	64 %	0 %
Esche	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Birke	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Weißbuche	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Weißtanne	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Europäische Lärche	Klasse IV	10 %	26 %	64 %	0 %
Stieleiche	Klasse IV	7 %	11 %	66 %	16 %
Fichte	Klasse V	3 %	6 %	27 %	64 %
Waldkiefer	Klasse V	3 %	6 %	27 %	64 %
Douglasie	Klasse V	3 %	6 %	27 %	64 %

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu basierend auf (Welle et al., 2018)

3.4.2 Ackerflächen

3.4.2.1 Hemerobie von belegten Flächen

Im Kontext Ackerflächen ist die Frage der Zuordnung von Agrarprodukten aus entsprechendem Anbau (ökologisch oder konventionell) in eine Hemerobiekategorie die zentrale Frage. Der im Methodenbericht (Teil I) beschriebene Bewertungskatalog für Ackerland (Kapitel 4.2.3) enthält dazu vier Kriterien mit insgesamt 13 Messgrößen, die für jede konkrete Ackerfläche eindeutig belegt werden können. In den folgenden Erläuterungen wird dargestellt, welche Daten zur Anwendung der Kriterien und Messgrößen auf die einzelnen Agrarprodukte erforderlich sind und welche Hemerobiekategorie die Flächen aufweisen, auf denen z. B. Weizen oder Raps produziert wird.

In Tabelle 36 sind die erforderlichen Datengrundlagen für die Bestimmung der Hemerobie sowie geeignete und hier verwendete Datenquellen differenziert nach Kriterium und Messgröße zusammengestellt.

Tabelle 36: Erforderliche Daten für die Hemerobie von Ackerflächen

Kriterium/Indikator	Messgrößen	Erforderliche Daten ^{a)}	Datenquelle
Kriterium 1: Diversität der Ackerbegleitflora	Messgröße 1: Artenanzahl der Ackerbegleitflora	Artenanzahl im Median pro 100 m ²	(Dedek / Wesche, 2017; Kohlbrecher et al., 2012; Meyer et al., 2013; Meyer / Wesche / et al., 2014)
	Messgröße 2: Existenz seltener Arten	Mittlere Rote Liste Artenanzahl pro 100 m ²	(Gottwald / Steinbachinger, 2017)
Kriterium 2: Strukturdiversität	Messgröße 3: Strukturelemente in der Flur	Beantragte Ökologische Vorrangflächen in ha	(Deutscher Bundestag, 2018)
	Messgröße 3: Strukturelemente in der Flur	Ackerland (auf Bundesebene) in ha	(Destatis, 2018)
	Messgröße 4: Schlaggröße	Mittlere Schlaggrößen in ha auf NUTS1 Ebene	(OneSoil, 2019)
		Von der Feldfrucht kultivierte Fläche in ha auf NUTS1 Ebene	(OneSoil, 2019)
	Messgröße 5: Diversität in der Landschaft	Shannon Evenness Index auf NUTS2 Ebene	(Eurostat, 2019, 2021a)
		Anteil des Ackerlandes an der NUTS2 Region	(Eurostat, 2019, 2021a)
Kriterium 3: Bodenschutz	Messgröße 6a: Intensität der Bodenbearbeitung	Ackerkulturspezifische angewandte Bodenbearbeitungsverfahren	(KTBL, 2020)
	Messgröße 6b: Bodenverdichtung durch Landmaschineneinsatz (gemessen am Dieserverbrauch)	Dieselbedarf pro Feldfrucht in l/ha	(KTBL, 2020)

Kriterium/Indikator	Messgrößen	Erforderliche Daten ^{a)}	Datenquelle
	Messgröße 7: Bodenbedeckung (gemessen am C-Faktor (Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor))	C-Faktoren pro Feldfrucht	(Haller et al., 2020; HLNUG, 2019; Sauer et al., 2017; Wurbs / Steininger, 2011)
	Messgröße 8: Agrodiversität	Flächenanteile der Feldfruchtgruppen an der Deutschen Ackerbaufläche	(Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2020a; b)
Kriterium 4: Stoffeinträge	Messgröße 9: Art der Düngung	Ackerkulturspezifische angewandte Bodenbearbeitungsverfahren	(KTBL, 2020), ifeu interne Quelle
	Messgröße 10: Intensität der Düngung	Ackerkulturspezifische angewandte Bodenbearbeitungsverfahren	(KTBL, 2020), ifeu interne Quelle
	Messgröße 11a: Einsatz von Insektiziden	Behandlungsindex(BI) Insektizide (ausschließlich)	(Kienzle et al., 2018; KTBL, 2020; Roßberg, 2016), ifeu interne Quelle
	Messgröße 11b: Maßnahmen für den Pflanzenschutz (excl. Insektizide)	Behandlungsindex Pflanzenschutz ohne Insektizide	(Kienzle et al., 2018; KTBL, 2020; Roßberg, 2016), ifeu interne Quelle

a) Nomenclature des unités territoriales statistiques (dt.: Nomenklatur der Gebietseinheiten für die Statistik)

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Datengrundlage zu den Messgrößen zur Bestimmung der Hemerobie von Ackerflächen in Form einer Excel-Tabelle entwickelt. Diese enthält die erforderlichen Daten aus Tabelle 36 differenziert nach Agrarprodukt und Messgröße. Mit diesen Daten kann jedes Agrarprodukt einer Wertstufe pro Messgröße zugeteilt werden. Die Gesamtheit dieser Messgrößenergebnisse pro Agrarprodukt ermöglicht wiederum die finale Zuordnung eines Agrarproduktes in eine Hemerobiekategorie (ifeu, 2021a).

Im Hinblick auf die erforderlichen Daten aus Tabelle 36 bestehen einige Herausforderungen bezüglich der Verfügbarkeit generischer Daten. In Kapitel 4.2.3.2 des Teilberichts I wurde erläutert, mit welcher Vorgehensweise dennoch generische Einstufungen hergeleitet werden können. Im Hinblick auf die Datenqualität wird folgend dargestellt wie mit Datenlücken umgegangen wurde:

Wenn für eine Feldfrucht die erforderlichen Daten nicht vorhanden sind, können Daten ähnlicher Feldfrüchte verwendet werden (z. B.: Verwendung von Daten zu Winterweizen für die Feldfrucht Sommerweizen).

Wenn für eine Feldfrucht weder Daten vorliegen noch Daten für ähnliche Feldfrüchte herangezogen werden können, wird der Defaultwert verwendet. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde durch Autoren und Autorinnen ein Defaultwert abgeleitet um eine Gesamtdatengrund-

lage erstellen zu können. Die Ableitung erfolgt anhand statistischer Parameter (Mittelwert, Modus, Median) und an der Orientierung am Weizen, da dieser im Hinblick auf die Fläche die dominanteste Feldfrucht Deutschlands darstellt.²⁶

Die Zusammenstellungen in Abbildung 9 bis Abbildung 12 geben einen Überblick über die Messgrößenergebnisse der Agrarprodukte und sind sogleich Auszüge aus dem entwickelten Excel-Dokument. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Screenshots lediglich einem Ausschnitt der für das Forschungsvorhaben relevanten Feldfrüchte entsprechen. Der Überblick umfasst 17 Feldfrüchte differenziert nach ökologischem und konventionellem Anbau. Aufgrund der Tatsache, dass diese Feldfrüchte der primären Anbaubiomasse für Bioenergie entsprechen, wurden sie als für das Forschungsvorhaben relevant erachtet. Insgesamt beinhaltet das Excel-Dokument 62 Feldfrüchte konventionellen oder ökologischen Anbaus.

Die Messgrößenergebnisse in Spalte MG1 – MG11b in Abbildung 9 bis Abbildung 11 beziehen sich auf die jeweilige Wertstufe. Der Wert von 2 bedeutet folglich, dass in der entsprechenden Messgröße das Agrarprodukt in die Wertstufe 2 gehört, während ein Wert von 5 sich auf die Wertstufe 5 bezieht. Anhand des Beispiels des konventionell angebauten Körnermaises sollen die einzelnen Messgrößenergebnisse genauer verdeutlicht werden:

Konventionell angebauter Körnermais weist in MG1 das Messgrößenergebnis 5 auf (siehe Abbildung 9). Das heißt, für diese Messgröße wurde Mais in die Wertstufe 5 eingeordnet. Der Grund hierfür liegt in der Artenanzahl der Segetalflora. Den Daten von (Dedek / Wesche, 2017; Kohlbrecher et al., 2012; Meyer et al., 2013; Meyer / Hoerber / et al., 2014) zufolge betrug die Artenanzahl im Maisbau auf 100 m² im Median 6. Anhand dieses Wertes erfolgt eine Zuordnung in die Wertstufe 5, da < 10 Ackerbeikrautarten vorhanden sind. Dieser Datenwert bezieht sich auf Untersuchungen im Jahr 2010. In (Dedek / Wesche, 2017; Kohlbrecher et al., 2012; Meyer et al., 2013; Meyer / Hoerber / et al., 2014) sind zusätzlich zu den Daten des Jahres 2010 Daten aus dem Zeitraum 1950 vorhanden. Es wird angenommen, dass die vorhandenen Untersuchungen aus den 1950er Jahren mit dem heutigen ökologischen Anbau gleichzusetzen sind. Folglich stehen mit dieser Datengrundlage sowohl Daten für den konventionellen als auch für den ökologischen Anbau zur Verfügung. Der Datenwert von 6 bezieht sich folglich auf den konventionellen Maisbau.

Aufgrund der mittleren Rote-Liste-Artenanzahl von 0 auf 100 m² (Gottwald / Stein-Bachinger, 2017) wird konventioneller Mais bei Messgröße 2 in die Wertstufe 5 (Keine Existenz von Rote-Liste-Arten) eingeteilt.

Das Messgrößenergebnis von 2 bei MG3 bezieht sich auf Strukturelemente in der Flur. Alle in Deutschland erzeugten Agrarprodukte erhalten für diese Messgröße den Wert 2, da der selektierte Anteil an Ökologischen Vorrangflächen (ÖVF) in Prozent des Ackerlandes für alle in Deutschland kultivierten Feldfrüchte gilt. In Deutschland wurden nach Angaben der (Deutscher Bundestag, 2018) im Jahr 2017 insgesamt ca. 1,37 Millionen Hektar als Ökologische Vorrangfläche (ÖVF) beantragt. Darunter werden ca. 0,26 Millionen Hektar den sogenannten selektierten ÖVF zugerechnet. Weitergehende Erklärungen zu den selektierten ÖVF sind in Kapitel 4.2.3 des Methodenberichts (Teilbericht I) vorzufinden. Anhand der Ackerlandfläche des Jahres 2017 von (Destatis, 2018) kann die selektierte ÖVF in Prozent des Ackerlandes ermittelt werden. Da dieser Wert bei 2,21 % liegt, erfolgt hier eine Zuordnung in Wertstufe 2.

²⁶ Weiterführende Informationen zur Ableitung der Default-Werte ist der Excel-Tabelle zu entnehmen, welche auf der Website von ifeu gGmbH zur freien Verfügung gestellt wird [[ifeu Hemerobietool Ackerland V1.0](#)] (ifeu, 2021a).

Weitergehend wird Mais bei Messgröße 4 in die Wertstufe 4 eingeteilt, da die mittlere Schlaggröße von Mais nach Angaben von (OneSoil, 2019) 7,25 Hektar beträgt. Dadurch fällt Mais in die Wertstufe 4 (mittlere Schlaggröße 7-9 Hektar).

In ähnlicher Art und Weise wie bei Messgröße 3 erhalten alle Feldfrüchte bei Messgröße 5 eine Zuordnung in Wertstufe 3. Der Grund liegt hierfür im klassifizierten Shannon Evenness Index (SHI) der deutschen Agrarwirtschaft, welcher bei 3 liegt. Die Bereitstellung des klassifizierten SHI erfolgt auf Ebene der NUTS 2 Regionen. Ursprünglich sollten die SHI Werte über alle NUTS 2 Regionen Deutschlands gemittelt werden. Da hierbei jedoch auch NUTS 2 Regionen mit sehr geringem Anteil an Agrarwirtschaft in die Berechnung einfließen, wurde festgestellt, dass der Mittelwert nur auf Basis von NUTS 2 Regionen mit einem Agraranteil > 12 % errechnet werden soll. Detaillierte Erklärungen zum Schwellenwert von 12 % sind in Kapitel 4.2.3 des Methodenberichts (Teilbericht I) zu finden. Von den insgesamt 38 NUTS 2 Regionen Deutschlands werden aufgrund der Bedingung des Agraranteils >12 % nur 35 Regionen in die Berechnung integriert. Konkret bedeutet dies, dass die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen nicht miteinbezogen werden.

Für Messgröße 6a wird konventioneller Mais in die Wertstufe 5 eingeordnet (siehe Abbildung 10), da nach (KTBL, 2020) Mais eine primär wendende Bodenbearbeitung erfährt. Mit Hinblick auf die Bodenverdichtung wird Mais bei Messgröße 6b durch den Einsatz von Landmaschinen mit 70 bis < 90 l/ha Diesel (KTBL, 2020) in die Wertstufe 4 eingeteilt.

Gemessen am C-Faktor wird Körnermais bei Messgröße 7 mit einem C-Faktor von 0,34 (Wurbs / Steininger, 2011) der Wertstufe 5 (>0,3) zugeordnet.

MG8 weist bei Körnermais das Messgrößenergebnis 5 auf, da nach der Agrarstrukturerhebung/Landwirtschaftszählung Deutschland 2010 und 2016 der Flächenanteil der Feldfrucht an der Gesamtfläche in der Region 65 % beträgt.

Aufgrund der Art der Düngung, nämlich Kalkammonsalpeter und Diammonphosphat (KTBL, 2020) erfolgt bei Messgröße 9 eine Einteilung des Körnermais in Wertstufe 5 (siehe Abbildung 11). Die Intensität der Düngung (Messgröße 10) von konventionellem Mais beträgt 82,81 kg N/ha, wodurch Körnermais hier ein Messgrößenergebnis von 4 aufweist (75 bis < 100 kg N pro ha).

Bei Messgröße 11a und 11b wird Mais in die Wertstufe 3 eingeteilt, da im konventionellen Maisbau einerseits Insektizide mit einem Behandlungsindex (BI) von 0,02, als auch Pflanzenschutzmittel mit BI 1,9 eingesetzt werden.

Ausgehend von den Messgrößenergebnissen wird der gesamte Mittelwert über alle Kriterien ermittelt (siehe Abbildung 12). Dieser beträgt für konventionellen Körnermais 4,1. Mit diesem Wert wird Körnermais der Hemerobiekategorie VI zugeordnet.

Abbildung 9: Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterien 1 und 2

Ergebnisse für einzelne Feldfrüchte							
Region	Agrarprodukt	Kriterien	Kriterium 1: Diversität der Ackerbegleitflora		Kriterium 2: Strukturdiversität		
		Wirtschaftsart	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5
Deutschland	Körnermais	konventionell	5	5	2	4	3
Deutschland	Sommergerste	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Sommerhafer	konventionell	4	4	2	3	3
Deutschland	Sommerroggen	konventionell	4	2	2	4	3
Deutschland	Sommerweizen	konventionell	5	4	2	5	3
Deutschland	Winterdinkel	konventionell	5	3	2	3	3
Deutschland	Wintergerste	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Winterhafer	konventionell	4	3	2	3	3
Deutschland	Winterroggen	konventionell	4	2	2	4	3
Deutschland	Winterweizen	konventionell	5	4	2	5	3
Deutschland	Futterrübe	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Speisekartoffel	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Stärkekartoffel	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Zuckerrübe	konventionell	5	4	2	4	3
Deutschland	Sonnenblume	konventionell	5	3	2	2	3
Deutschland	Winterraps	konventionell	5	3	2	5	3
Deutschland	Silomais	konventionell	5	5	2	4	3
Deutschland	Körnermais	ökologisch	3	2	2	4	3
Deutschland	Sommergerste	ökologisch	3	2	2	4	3
Deutschland	Sommerhafer	ökologisch	4	2	2	3	3
Deutschland	Sommerroggen	ökologisch	4	2	2	4	3
Deutschland	Sommerweizen	ökologisch	3	2	2	5	3
Deutschland	Winterdinkel	ökologisch	3	2	2	3	3
Deutschland	Wintergerste	ökologisch	4	2	2	4	3
Deutschland	Winterhafer	ökologisch	4	2	2	3	3
Deutschland	Winterroggen	ökologisch	4	1	2	4	3
Deutschland	Winterweizen	ökologisch	3	1	2	5	3
Deutschland	Speisekartoffel	ökologisch	3	3	2	4	3
Deutschland	Stärkekartoffel	ökologisch	3	3	2	4	3
Deutschland	Futterrübe	ökologisch	3	2	2	4	3
Deutschland	Zuckerrübe	ökologisch	3	2	2	4	3
Deutschland	Sonnenblume	ökologisch	3	3	2	2	3
Deutschland	Winterraps	ökologisch	3	1	2	5	3
Deutschland	Silomais	ökologisch	3	2	2	4	3

Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf den in Tabelle 36 aufgeführten Daten

Abbildung 10: Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterium 3

1. SA SW 2. SA SW 3. SA SW 4. SA SW

Ergebnisse für einzelne Feldfrüchte

		Kriterien	Kriterium 3: Bodenschutz			
Region	Agrarprodukt	Wirtschaftsart	MG6a	MG6b	MG7	MG8
Deutschland	Körnermais	konventionell	5	4	5	5
Deutschland	Sommergerste	konventionell	5	4	2	5
Deutschland	Sommerhafer	konventionell	5	4	3	2
Deutschland	Sommerroggen	konventionell	5	4	3	5
Deutschland	Sommerweizen	konventionell	5	4	3	5
Deutschland	Winterdinkel	konventionell	5	4	3	1
Deutschland	Wintergerste	konventionell	5	4	2	5
Deutschland	Winterhafer	konventionell	5	4	3	2
Deutschland	Winterroggen	konventionell	5	4	2	5
Deutschland	Winterweizen	konventionell	5	4	3	5
Deutschland	Futtermübe	konventionell	5	5	5	4
Deutschland	Speisekartoffel	konventionell	5	5	4	4
Deutschland	Stärkekartoffel	konventionell	5	5	4	4
Deutschland	Zuckerrübe	konventionell	5	5	3	4
Deutschland	Sonnenblume	konventionell	5	4	5	5
Deutschland	Winterraps	konventionell	5	3	2	5
Deutschland	Silomais	konventionell	5	5	5	5
Deutschland	Körnermais	ökologisch	5	5	4	5
Deutschland	Sommergerste	ökologisch	5	5	2	5
Deutschland	Sommerhafer	ökologisch	5	4	3	2
Deutschland	Sommerroggen	ökologisch	5	5	3	5
Deutschland	Sommerweizen	ökologisch	5	5	3	5
Deutschland	Winterdinkel	ökologisch	5	4	2	1
Deutschland	Wintergerste	ökologisch	5	4	1	5
Deutschland	Winterhafer	ökologisch	5	4	3	2
Deutschland	Winterroggen	ökologisch	5	4	2	5
Deutschland	Winterweizen	ökologisch	5	4	3	5
Deutschland	Speisekartoffel	ökologisch	5	5	4	4
Deutschland	Stärkekartoffel	ökologisch	5	5	4	4
Deutschland	Futtermübe	ökologisch	5	5	4	4
Deutschland	Zuckerrübe	ökologisch	5	5	3	4
Deutschland	Sonnenblume	ökologisch	5	5	4	5
Deutschland	Winterraps	ökologisch	5	3	2	5
Deutschland	Silomais	ökologisch	5	4	4	5

Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf den in Tabelle 36 aufgeführten Daten

Abbildung 11: Messgrößenergebnisse von Agrarprodukten – Kriterium 4

Ergebnisse für einzelne Feldfrüchte

		Kriterien	Kriterium 4: Stoffeinträge			
Region	Agrarprodukt	Wirtschaftsart	MG9	MG10	MG11a	MG11b
Deutschland	Körnermais	konventionell	5	4	3	3
Deutschland	Sommergerste	konventionell	5	4	5	3
Deutschland	Sommerhafer	konventionell	5	3	3	3
Deutschland	Sommerroggen	konventionell	5	4	3	4
Deutschland	Sommerweizen	konventionell	5	5	3	4
Deutschland	Winterdinkel	konventionell	5	4	5	5
Deutschland	Wintergerste	konventionell	5	5	4	5
Deutschland	Winterhafer	konventionell	5	3	3	3
Deutschland	Winterroggen	konventionell	5	4	3	4
Deutschland	Winterweizen	konventionell	5	5	5	5
Deutschland	Futtermübe	konventionell	5	1	3	4
Deutschland	Speisekartoffel	konventionell	5	5	5	5
Deutschland	Stärkekartoffel	konventionell	5	5	5	5
Deutschland	Zuckerrübe	konventionell	5	5	3	4
Deutschland	Sonnenblume	konventionell	5	4	5	3
Deutschland	Winterraps	konventionell	5	5	5	4
Deutschland	Silomais	konventionell	5	5	3	3
Deutschland	Körnermais	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Sommergerste	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Sommerhafer	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Sommerroggen	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Sommerweizen	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Winterdinkel	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Wintergerste	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Winterhafer	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Winterroggen	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Winterweizen	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Speisekartoffel	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Stärkekartoffel	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Futtermübe	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Zuckerrübe	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Sonnenblume	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Winterraps	ökologisch	2	3	2	2
Deutschland	Silomais	ökologisch	2	3	2	2

Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf den in Tabelle 36 aufgeführten Daten

Abbildung 12: Hemerobieklassenzuordnung von Agrarprodukten anhand der Messgrößenergebnisse

Ergebnisse für einzelne Feldfrüchte			Zuordnung zu Hemerobieklassen	
Region	Agrarprodukt	Kriterien	Mittelwert	Hemerobie-klasse
		Wirtschaftsart		
Deutschland	Körnermais	konventionell	4,1	VI
Deutschland	Sommergerste	konventionell	3,9	V
Deutschland	Sommerhafer	konventionell	3,4	V
Deutschland	Sommerroggen	konventionell	3,6	V
Deutschland	Sommerweizen	konventionell	4,1	VI
Deutschland	Winterdinkel	konventionell	3,7	V
Deutschland	Wintergerste	konventionell	4,1	VI
Deutschland	Winterhafer	konventionell	3,3	V
Deutschland	Winterroggen	konventionell	3,5	V
Deutschland	Winterweizen	konventionell	4,3	VI
Deutschland	Futterrübe	konventionell	3,9	V
Deutschland	Speisekartoffel	konventionell	4,3	VI
Deutschland	Stärkekartoffel	konventionell	4,3	VI
Deutschland	Zuckerrübe	konventionell	4,0	VI
Deutschland	Sonnenblume	konventionell	3,8	V
Deutschland	Winterraps	konventionell	4,0	V
Deutschland	Silomais	konventionell	4,3	VI
Deutschland	Körnermais	ökologisch	3,1	V
Deutschland	Sommergerste	ökologisch	3,0	V
Deutschland	Sommerhafer	ökologisch	2,9	IV
Deutschland	Sommerroggen	ökologisch	3,2	V
Deutschland	Sommerweizen	ökologisch	3,1	V
Deutschland	Winterdinkel	ökologisch	2,6	IV
Deutschland	Wintergerste	ökologisch	3,0	V
Deutschland	Winterhafer	ökologisch	2,9	IV
Deutschland	Winterroggen	ökologisch	2,9	IV
Deutschland	Winterweizen	ökologisch	3,0	IV
Deutschland	Speisekartoffel	ökologisch	3,2	V
Deutschland	Stärkekartoffel	ökologisch	3,2	V
Deutschland	Futterrübe	ökologisch	3,1	V
Deutschland	Zuckerrübe	ökologisch	3,0	V
Deutschland	Sonnenblume	ökologisch	3,1	V
Deutschland	Winterraps	ökologisch	2,8	IV
Deutschland	Silomais	ökologisch	3,1	V

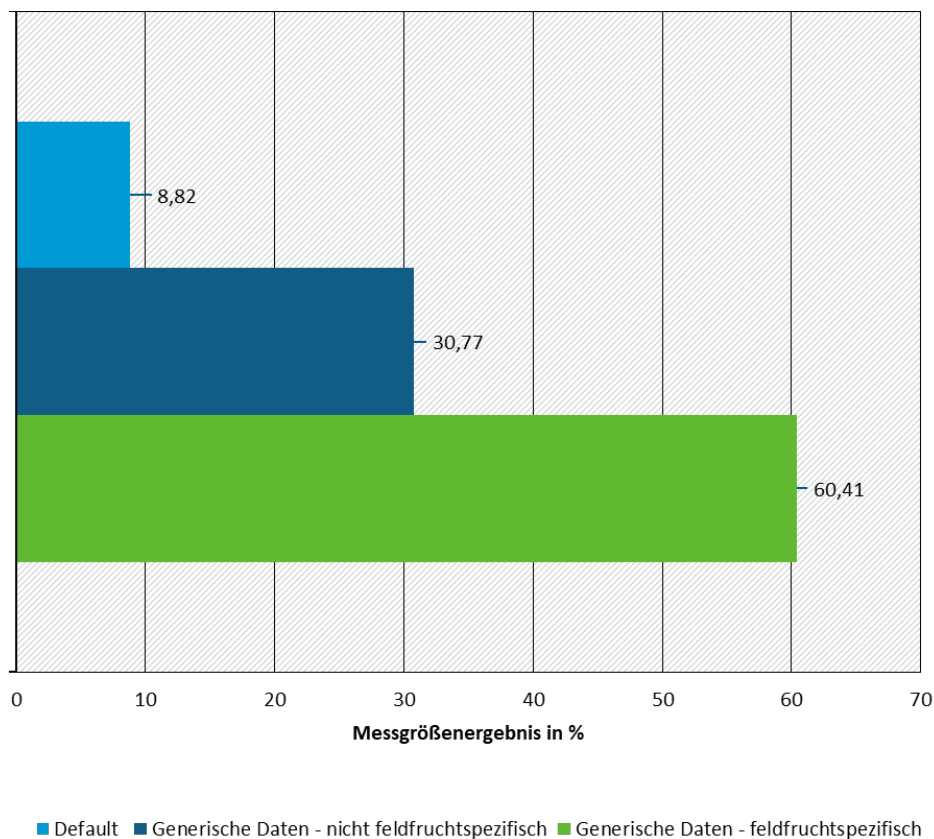
Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf den in Tabelle 36 aufgeführten Daten

Eine detailliertere Analyse der Datenqualität insbesondere der Datenlücken ist in Abbildung 13 gegeben. Insgesamt liegen für dieses Forschungsvorhaben 442 Messgrößenergebnisse vor. Diese entsprechen dem grau eingefärbten Bereich in Abbildung 9 bis Abbildung 11. Ca. 60 % der Messgrößenergebnisse basieren auf vorhandenen generischen Daten, welche feldfruchtspezifisch vorliegen. Diese Daten umfassen auch von spezifischen Daten abgeleitete generische Daten und von ähnlichen Feldfrüchten herangezogene Daten. Weitergehend gehen ca. 31 % der Messgrößenergebnisse auf eine generische Datengrundlage zurück, welche eine Differenzierung nach Feldfrüchten nicht zulässt. Lediglich 9 % der Messgrößenergebnisse basieren auf Defaultwerten. Diese sind zwar mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, allerdings können diese Defaultwerte als robust erachtet werden, da sie zum einen statistisch hergeleitet wurden und sich zum anderen an den dominierenden Feldfrüchten orientieren. Grundsätzlich kann keine Differenzierung

der Datenqualität zwischen konventioneller und ökologischer Landwirtschaft ausgemacht werden. Vielmehr bestehen Datenunsicherheiten primär bei sehr spezifischen Messgrößen wie beispielsweise der Artenanzahl des Ackerbeikrauts (Messgröße 1).

Vonseiten der Autorinnen und Autoren wird empfohlen, zukünftig die Messgrößenergebnisse mit Defaultwerten und nicht feldfruchtspezifischen generischen Daten einer Validierung zu unterziehen und, sobald neue Daten vorliegen, die vorhandene Datensammlung zu aktualisieren. Weitergehend wird darauf verwiesen, dass sich diese Datengrundlage ausschließlich auf den deutschen Agrarraum bezieht. Um eine Anwendung des Flächenrucksacks auch auf internationaler Ebene gewährleisten zu können, ist eine Erweiterung der Datengrundlage um europäische und außereuropäische Agrarräume unumgänglich.

Abbildung 13: Qualität der Datengrundlage für die Hemerobiebewertung von Ackerland



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

Abschließend bleibt die Frage bestehen, welche Hemerobie beziehungsweise welche Bandbreite an Hemerobieklassen der mittlere deutsche Acker aufweist. Hierzu wurde folgendermaßen vorgegangen:

- ▶ Ermittlung der primären Flächenanteile pro Hauptnutzungsart/Kulturart nach (Destatis, 2020b) an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche,
- ▶ Ermittlung eines Mittelwertes für die entsprechenden Hauptnutzungsarten/Kulturarten, dieser deckt die Bandbreiten an Hemerobieklassen innerhalb jeder Agrarproduktgruppe ab,
- ▶ Darstellung der Bandbreite an Hemerobieklassen des mittleren deutschen Ackers und

- Ableitung eines Mittelwertes für den deutschen Acker, welcher zukünftig vor allem im Kontext der Flächennutzungsänderung Anwendung findet.

Den Angaben von (Destatis, 2020b, 2021b) zufolge, setzt sich die Ackerfläche Deutschlands folgendermaßen zusammen (Tabelle 37):

Tabelle 37: Flächenanteile der deutschen Ackerfläche für die Hauptnutzungsarten sowie deren Hemerobiklasse

Hauptnutzungsart/ Kulturart nach Destatis	Anbaufläche in Mio. ha	Anbaufläche in %	Hemerobiemittelwert pro Agrarproduktgruppe
Ackerland	11,7	100	
Getreide zur Körnergewinnung (Weizen etc., inkl. Körnermais)	6	52,14	V
Hülsenfrüchte zur Körnergewinnung (Ackerbohnen, Sojabohnen etc.)	0,2	1,91	V
Hackfrüchte (Kartoffeln, Zuckerrüben, Futterrüben etc.)	0,7	5,70	VI
Gartenbauerzeugnisse auf dem Ackerland	0,14	1,22	keine Angabe möglich ^{a)}
Handelsgewächse (Winterraps, Sonnenblumen, Sommerraps etc.)	1,05	8,97	V
Pflanzen zur Grünernte (Silomais)	3,1	26,46	VI

a) hierfür liegen keine Daten zur Ermittlung der Hemerobie vor

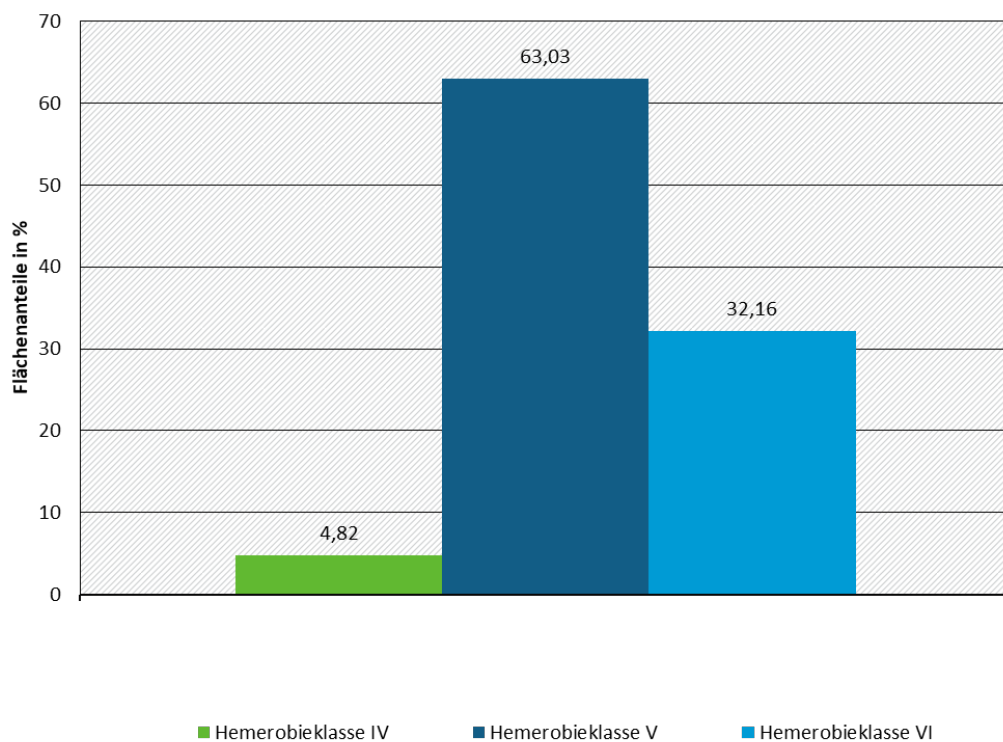
Quellen: Eigene Tabelle 2021, basierend auf (Destatis, 2020b, 2021b) für die Anbaufläche und den in im Text aufgeführten Daten für die Hemerobie)

Die Flächenanteile nach Hauptnutzungsarten nach Destatis beinhalten keine Differenzierung in konventionellen und ökologischen Anbau. Aufgrund der Tatsache, dass der ökologische Landbau mit 1,6 Mio. Hektar (Destatis, 2021b) nur einen sehr geringen Anteil der gesamtwirtschaftlich genutzten Fläche von 18 Mio. Hektar einnimmt, werden in Tabelle 37 die Flächenanteile von (Destatis, 2020b) mit den Hemerobiedaten des konventionellen Anbaus verknüpft.

Wie Tabelle 37 zu entnehmen ist, setzt sich der mittlere deutsche Acker primär aus Getreidebau zur Körnergewinnung (52 %), Pflanzen zur Grünernte (26 %), Handelsgewächsen (9 %) und Hülsenfrüchten zur Körnergewinnung (2 %) zusammen. Weitergehend zeigt Tabelle 37, dass der Großteil (63,0 %) der Ackerfläche die Hemerobiklasse V aufweist. Lediglich 32,2 % der Ackerfläche belegen Flächen der Hemerobiklasse VI. Es wird davon ausgegangen, dass die verbleibenden 4,82 % der Hemerobiklasse IV zugerechnet werden können. Diese umfasst dann zum Beispiel auch weitere Flächen unter ökologischem Anbau.

Abbildung 14 gibt diese Bandbreiten an Hemerobi Klassen auf der deutschen Ackerfläche wieder.

Abbildung 14: Bandbreite an Hemerobieklassen des mittleren deutschen Ackers



Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

Ausgehend von der Tatsache, dass mehr als 63 % der Ackerfläche Hemerobiekategorie V zuzurechnen sind (Abbildung 14) und der Modus aller Hemerobiewerte der gesamten Datensammlung 5 beträgt, wird für den mittleren deutschen Acker die Hemerobiekategorie V angenommen.

Für das aus Indonesien und Malaysia importierte Agrarprodukt Palmöl lassen sich die Kriterien und Messgrößen gleichfalls, in manchen Messgrößen zumindest cursorisch, anwenden. Dies wird in Tabelle 38 zusammengestellt. Mit der aufgeführten Punktevergabe wird ein Mittelwert von 3,4 erreicht, mit welchem die Palmölplantage der Hemerobiekategorie V zugeordnet wird.

3.4.2.2 Hemerobie der von Flächennutzungsänderung betroffenen Flächen

Bezüglich der **Flächennutzungsänderung** wurde in Kapitel 3.3.2 bereits festgestellt, dass für die Landwirtschaftsflächen in Deutschland praktisch ausschließlich Grünland betroffen ist. Im anschließenden Kapitel wird die Hemerobie von Grünlandflächen in Deutschland bewertet.

Der Wald, der im Beispiel Palmöl durch die Ausbreitung der Plantagen betroffen ist, wird hier als Primärwald ausgewiesen. Dies entspricht der Hemerobiekategorie I und dem Charakterisierungsfaktor 0, d. h. die Hemerobie der genutzten Fläche fließt ohne Abzug in die Wirkungsabschätzung ein.

Tabelle 38: Einschätzung der Hemerobie von Palmölplantagen anhand der Kriterien und Messgrößen

Kriterium	Messgrößen	Einschätzung	Wertgruppe
Kriterium 1: Diversität der Ackerbegleitflora	Messgröße 1: Artenanzahl der Ackerbegleitflora	Artenzahl weit über 40; (Dauerplantage, spontane Vegetation zugelassen) dennoch Einschränkung, weil hoher Artenreichtum in dieser Ecoregion generell sehr hoch	2
	Messgröße 2: Existenz seltener Arten	Mittlere Einschätzung	3
Kriterium 2: Strukturdiversität	Messgröße 3: Strukturelemente in der Flur	Starke Monotonie der Plantagenstruktur	5
	Messgröße 4: Schlaggröße	Sehr große Einheiten	5
	Messgröße 5: Diversität in der Landschaft	Plantagen sind landschaftsprägend	5
Kriterium 3: Bodenschutz	Messgröße 6: Intensität der Bodenbearbeitung	Boden wird in Dauerplantage kaum bearbeitet	1
	Messgröße 7: Bodenbedeckung (gemessen am C-Faktor (Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor))	Hoher (dauerhafter) Bedeckungsgrad	1
	Messgröße 8: Agrodiversität	Monokultur	5
Kriterium 4: Stoffeinträge	Messgröße 9: Art der Düngung	Einsatz von Mulchmaterial, biogene Reststoffe sowie Mineraldünger	3
	Messgröße 10: Intensität der Düngung	Nach Daten von BioEm liegt Palmöl im Bereich 75 bis < 100 kg N pro ha	4
	Messgröße 11a: Einsatz von Insektiziden	Insektizide werden eingesetzt	5
	Messgröße 11b: Maßnahmen für den Pflanzenschutz (exkl. Insektizide)	Einsatz anderer Pflanzenschutzmittel unüblich (z. T. Rodentizide)	3

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

3.4.3 Grünlandflächen

Anwendung des Bewertungskatalogs für Grünland

Das Bewertungssystem für Grünland enthält vier Kriterien mit insgesamt 11 Messgrößen, die für jede konkrete Grünlandfläche belegt werden können. Lediglich bei Messgröße 1 und 2 sind Schätzungen unumgänglich, da bis dato die erforderlichen Daten nicht vorliegen. Allerdings sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass zukünftig im Rahmen des Monitorings zu High Nature Value Farmland (HNV Farmland), welches durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) ausgeführt wird, Daten zu Arten verfügbar sein werden, die zukünftig bei der Bewertung von Acker- und Grünlandflächen verwendet werden könnten. Aufgrund der Tatsache, dass der Bewertungskatalog für Grünland einer Synthese des Bewertungskatalogs für Ackerland und zusätzlichen Informationen von (Hartmann, 2019) entspricht, sind neben den erforderlichen Daten, die auch für die Bewertung von Ackerland erforderlich sind, zusätzliche Daten teils spezifischen Charakters notwendig (Messgröße 8 & 9). Für diese bestehen bis dato keine generischen Daten. Aufgrund ihres spezifischen Charakters wird hier mit Annahmen vorgegangen. Beispielsweise wird für eine Grünlandfläche, wie in Tabelle 40 dargestellt, angenommen dass es sich um eine 2-Schnitt-Nutzung handelt, wodurch bei Messgröße 8 ein Messgrößenergebnis von 2 vorliegt.

In Tabelle 39 sind die erforderlichen Datengrundlagen für die Bestimmung der Hemerobie sowie geeignete und hier verwendete Datenquellen differenziert nach Kriterium und Messgröße zusammengestellt.

Tabelle 39: Erforderliche Daten für die Hemerobie von Dauergrünlandflächen

Kriterium/Indikator	Messgrößen	Erforderliche Daten	Datenquelle
Kriterium 1: Diversität der Flora	Messgröße 1: Artenvielfalt in der Flur	Artenanzahl im Median pro 100 m ²	Schätzungen, da aktuell noch keine Datenquelle (Stand 12.2020)
	Messgröße 2: Existenz seltener Arten	Mittlere Rote-Liste-Artenanzahl pro 100 m ²	Schätzungen, da aktuell noch keine Datenquelle (Stand 12.2020)
Kriterium 2: Strukturdiversität	Messgröße 3: Strukturelemente in der Flur	Beantragte Ökologische Vorrangflächen in ha	(Deutscher Bundestag, 2018)
	Messgröße 3: Strukturelemente in der Flur	Ackerland (auf Bundesebene) in ha	(Destatis, 2018)
	Messgröße 4: Schlaggröße	Mittlere Schlaggrößen in ha auf NUTS1 Ebene	(OneSoil, 2019)
	Messgröße 4: Schlaggröße	Von Grünland kultivierte Fläche in ha auf NUTS1 Ebene	(OneSoil, 2019)
	Messgröße 5: Diversität in der Landschaft	Shannon Evenness Index auf NUTS2 Ebene	(Eurostat, 2019, 2021a)
	Messgröße 5: Diversität in der Landschaft	Anteil des Ackerlandes an der NUTS2 Region	(Eurostat, 2019, 2021a)
	Messgröße 6: Intensität der Bewirtschaftung	Daten zur Bewirtschaftungsintensität	Festlegung

Kriterium/Indikator	Messgrößen	Erforderliche Daten	Datenquelle
Kriterium 3: Bewirtschaftung/Bodenschutz	Messgröße 7: Bodenbedeckung	C-Faktor des Grünlandes	(HLNUG, 2019)
	Messgröße 8: Schnitthäufigkeit/Beweidung	Daten zur Schnitthäufigkeit/Besatzdichte	Schätzung, da spezifisch
Kriterium 4: Stoffeinträge	Messgröße 9: Art der Düngung	Ackerkulturspezifische angewandte Bodenbearbeitungsverfahren	Schätzung, da spezifisch
	Messgröße 10: Intensität der Düngung	Stickstoffbedarfswerte in kg N/ha	(BMJV, 2017)
	Messgröße 11: Pflanzenschutzmittel	Behandlungsindex	(Spycher / Daniel, 2013)

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu

Nach Anwendung der erforderlichen Daten aus Tabelle 39 auf das Bewertungssystem für Dauergrünland (siehe auch Kapitel 4.2.4 im Teilbericht I Methoden) und der Festlegung entsprechender Annahmen für Messgröße 1, 2, 8 und 9 liegen die Messgrößenergebnisse aus Tabelle 40 vor.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- ▶ MG 1 und MG2: In (Krause et al., 2014) variieren die Artenanzahlen im Jahr 2008 von 13–26 Arten. Allerdings beziehen sich diese Aufnahmen auf eine Fläche von 16–20 m². Für die Darstellung des mittleren Dauergrünlandes wird angenommen, dass bei Untersuchung einer größeren Fläche eine Artenanzahl >25 Arten erreicht werden kann. Folglich wird das mittlere Dauergrünland der Wertstufe 3 (26–35 Arten auf 100 m²) zugeordnet. Für Messgröße 2 sind bis dato keine Daten vorliegend, daher wird auch hier von einem mittleren Artenzahl-spektrum ausgegangen.
- ▶ MG8: 2-Schnitt-Nutzung²⁷
- ▶ MG9: Dominanz von festem Wirtschaftsdünger

Tabelle 40: Wertstufen nach den einzelnen Messgrößen für Grünland

Messgröße	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Hemerobie
Grünland	3	3	2	3	3	1	1	2	3	5	1	IV

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu)

Legt man die spezifische Flächenbelegung aus Kapitel 0 und den Charakterisierungsfaktor von 0,0625 für Klasse IV zugrunde, so ergibt sich als generischer Mittelwert für das Naturfernepotenzial (NFP, ausgedrückt in der Einheit m² aF-Äq · 1a, wobei aF-Äq für „Artifizielle-Fläche-Äquivalent“ steht)²⁸:

- ▶ 0,22 m² aF-Äq · 1a pro m² Grünland insgesamt

²⁷ Das Messgrößenergebnis 2 für Messgröße 8 ist daher passend, da es sowohl für zweischürige Mager- oder Feuchtwiesen als auch für eine Mähweide gilt (siehe Bewertungskatalog).

²⁸ Eine allgemeine Formel zur Berechnung des NFP auf Basis von Flächenbelegungsdaten und Hemerobieklassen findet sich im Teilbericht I Kapitel 3.3.1.

Zusätzliche Datengrundlagen

Parallel zur Bestimmung der Hemerobie von Grünland mit dem Bewertungskatalog wurde eine weitergehende Analyse von Datengrundlagen vorgenommen, da verglichen mit Ackerland für Grünland nochmals weit weniger konkrete Daten vorliegen, mit denen die Kriterien und Messgrößen (siehe Teilbericht I Kapitel 4.2.4) auf bundesweiter Ebene ohne Annahmen hinterlegt werden können. Anhaltspunkte für den ökologischen Zustand des Grünlands in Deutschland können jedoch auch aus dem Monitoring zum HNV-Farmland (Hünig / Benzler, 2017) gewonnen werden. Die neusten Hochrechnungsergebnissen des (BfN, 2018) zeigen für das Jahr 2017 folgende Situation:

- ▶ Der hochgerechnete Anteil HNV-Farmland an der Landwirtschaftsfläche liegt bei 11,4 %, absolut bei 2,35 Mio. Hektar.
- ▶ Der Grünlandanteil macht dabei mit 5,2 %-Punkten knapp die Hälfte aus (1,02 Mio. Hektar),²⁹ differenziert in die drei HNV-Qualitätsstufen verteilt sich dies wie folgt:
 - Grünland I (äußerst hoher Naturwert): 1,3 %-Punkte bzw. 255.000 Hektar oder 25 % des HNV-Grünlands
 - Grünland II (sehr hoher Naturwert): 1,9 %-Punkte bzw. 373.000 Hektar oder 37 % des HNV-Grünlands
 - Grünland III (mäßig hoher Naturwert): 2,0 %-Punkte bzw. 392.000 Hektar oder 38 % des HNV-Grünlands
- ▶ Von einer Gesamtgrünlandfläche von 4,715 Mio. Hektar (Destatis, 2019a) entspricht die Summe HNV-Grünland ca. 22 %.

Das bedeutet umgekehrt, dass 78 % des Dauergrünlands in Deutschland nicht den Kriterien für HNV-Farmland entsprechen.

Weitere Hinweise zur Qualität von hochwertigem Grünland bewegen sich unterhalb dieser 22-%-Grenze, wie z. B.:

- ▶ Von Destatis als „ertragsarmes Dauergrünland“ sind 187.000 Hektar ausgewiesen; entspricht 4 % des Gesamtgrünlands.
- ▶ Von Destatis als unter ökologischem Anbau sind 689 Hektar Grünland ausgewiesen; entspricht knapp 14 % des Gesamtgrünlands).
- ▶ Von den FFH-Gebieten in Deutschland nimmt Grünland eine Fläche von 739.156 Hektar ein, das entspricht 15,1 % des Gesamtgrünlands (DVL, 2017). Nach (Becker et al., 2014) sind diese Flächen im Übrigen in einem schlechten Zustand.

Insgesamt weist (Becker et al., 2014) darauf hin, dass ertragsoptimierte Intensivwiesen und Mähweiden gegenüber den artenreichen, aber ertragsärmeren extensiven Grünlandflächen einen immer höheren Flächenanteil einnehmen.

²⁹ Zur Ergänzung: 3,8 %-Punkte fallen auf Strukturelemente, 2,4 %-Punkte fallen auf andere Nutzflächen, darunter auch 0,9 %-Punkte auf Ackerflächen.

Dies wird bestätigt durch Auswertungen in **Baden-Württemberg** (Briemle et al., 1999; Elsässer, 2015), wonach Veränderungen des Flächenanteils von unterschiedlichen Grünlandbeständen in Baden-Württemberg von 1950 bis 2000 analysiert wurden. Waren 1950 noch 35 % des Grünlands als extensiv und artenreich zu werten (ein- bis maximal zweischürig) und 55 % in einem Bereich mittelintensiver Nutzung (zwei- bis dreischürig), darunter 20 %-Punkte Feuchtwiesen, so zeigt sich die Situation in 2000 wie folgt:

- ▶ 16 %: Extensiv, d. h. ein- bis maximal zweischürig, Typus: Goldhaferbergwiesen, Bergwiesen, Magerweiden, Salbeiglatthaferwiesen, Nasswiesen.
- ▶ 9 % mittelintensiv, d. h. zwei- bis dreischürig, Typus: Glatthafertalwiesen, Feuchtwiesen.
- ▶ 75 % intensiv, d. h. drei- bis sechschürig, Typus: Vielschnitt- und Mähweiden (55 %), artenarme Fuchsschwanzwiesen, Intensivfettweiden (je 10 %).

Die Verhältnisse spiegeln die obere Betrachtung wider, wonach hochwertiges Grünland in einem Bereich von 14 % bis 22 % anzutreffen ist.

Auch Untersuchungen aus **Bayern** mit ca. 6.100 Vegetationsaufnahmen zeigen, dass die höheren Intensitätsklassen bei Grünland zumeist dominieren. So unterscheidet die LfL (Kuhn et al., 2011) Wiesen (74 % des Grünlands in Bayern) in vier und Weiden inklusive Mähweiden und Almen (26% des Grünlands in Bayern) nach Großvieheinheiten in sechs Intensitätsklassen. Insgesamt lässt sich darauf bei auf folgende Anteile schließen:

- ▶ sehr geringe Nutzungsintensität: 3%
- ▶ geringe Nutzungsintensität: 13%
- ▶ mittlere Nutzungsintensität: 67 %
- ▶ hohe Nutzungsintensität 17 %

Auf der anderen Seite ist durch die Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen auch ein Trend zur Extensivierung zu erwarten. Am Beispiel von **Thüringen** (Hochberg et al., 2013) lassen sich hier in der Tat positive Verschiebungen erkennen:

- ▶ vom „produktiven Grünland“: relativ artenarmer, ertragsfähiger Pflanzenbestand mit qualitativ hochwertigem Futter, bei einer jährlich 3- bis 4-maligen Mahd, optimale Düngung, d. h. Entzugsausgleich: 19 % im Jahr 2010.
- ▶ zu einem „Extensivgrünland“: „suboptimale Düngungs- und Nutzungsintensität“, d. h. 2–3 Aufwüchse jährlich, mehrere Kennarten, ein mittleres Ertragsniveau mit Futterbiomasse mittlerer Qualität: 50 % im Jahr 2010
- ▶ Und weiter zu einem „Biotopgrünland“ ist mit vielen, naturschutzfachlich besonders wertvollen Arten, ohne Nährstoffzufuhr (außer über Weideexkrementen), in der Regel eine 1–2-malige Mahd jährlich, mit sehr eingeschränkter Verwertbarkeit: 31 % im Jahr 2010.

Konkret hat sich in den Jahren 1987 bis 2006 der Flächenanteil von Dauergrünland-Pflanzengesellschaften von 49 % auf 65 % entwickelt. Dazu hat sich auch die Anzahl an Dauergrünland-Pflanzengesellschaften von 37 % auf 58 % entwickelt.

Nicht für alle Bundesländer liegen solche Untersuchungen vor. Im grünlandreichen Niedersachsen beispielweise antwortete die Landesregierung im Jahr 2019 im Rahmen einer Anfrage aus dem Landtag auf die Frage, wie sich die Gesamtfläche von extensiv genutztem Grünland sowie von mesophilem Grünland seit 2003 im Land entwickelt habe, mit: „Dazu liegen keine landesweiten Daten vor. Aufgrund der vorliegenden Informationen ist allerdings von einem Rückgang auszugehen“ (ML Niedersachsen, 2019).

Aus den vorangehenden Darstellungen wird im Folgenden eine Einschätzung darüber getroffen, wie sich eine generische Verteilung von Grünland auf Hemerobieklassen verhält. Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- ▶ Der Trend bei den HNV-Farmland-Flächen ist in der Tendenz rückläufig.
- ▶ Durch Agrarumweltmaßnahmen und Länderprogramme ist eine Tendenz zur Extensivierung (von hoher zu mittlerer Intensität) zu erwarten.
- ▶ Wiesen weisen in der Tendenz eine höhere Artenvielfalt auf als Weiden.
- ▶ Es bleiben große Unsicherheiten durch fehlende Daten aus mehreren Ländern.

Tabelle 41 fasst die beschriebenen, überaus heterogenen Datengrundlagen und daraus gefolgerten Verteilungen auf die Hemerobieklassen zusammen. Das Vorgehen der Autorinnen und Autoren ist dabei stark vereinfacht: Die drei für Grünland korrespondierenden Hemerobieklassen (III, IV, V) werden den drei in den Quellangaben differenzierten Einstufungsgruppen eins zu eins zugeordnet. Aus der sehr unterschiedlichen Verteilung der drei Klassen je nach Bundesland, werden generische Anteile für Grünland insgesamt gemittelt (z. B. Klasse III mit 22 %, je 16 % in Baden-Württemberg und Bayern und 31 % in Thüringen wird ein Gesamtmittel von 20 % eingeschätzt). Dass bei der Differenzierung zwischen Wiese und Weiden nochmals eine Verschiebung zu höheren Klassen bei Wiesen zulasten der Weiden getroffen wird, ist eine Einschätzung, die die höheren Anteile von Wiesen in den Klassen mit geringerer Intensität und höherer Artenvielfalt in den oben angeführten Quellangaben widerspiegelt.

Tabelle 41: Einstufung von Grünland in die Hemerobieklassen anhand zusätzlicher Datenquellen

	Geringe Intensität, hohe Artenvielfalt	Mittlere Intensität und Artenvielfalt	Hohe Intensität, geringe Artenvielfalt
HNV-Farmland ^{a)}	22 %	-	-
Baden-Württemberg ^{b)}	16 %	9 %	75 %
Bayern ^{c)}	16 %	67 %	17 %
Thüringen ^{d)}	31 %	50 %	19 %
Einschätzung der Autorinnen und Autoren zur Hemerobiekategorie	III	IV	V
Grünland insgesamt	20 %	40 %	40 %
Wiesen insgesamt	25 %	40 %	35 %
Weiden insgesamt	15 %	45 %	40 %

Quellen: a) (BfN, 2018), b) (Elsässer, 2015; Hochberg et al., 2013; Kuhn et al., 2011)

Legt man die spezifische Flächenbelegung aus Kapitel 0 und die Charakterisierungsfaktoren (0,25 für Klasse V, 0,125 für Klasse IV und 0,0625 für Klasse III) zugrunde, so ergeben sich als generische Mittelwerte für das Naturfernepotenzial:

- ▶ $0,28 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1 \text{ a pro m}^2 \text{ Grünland insgesamt}$
- ▶ $0,24 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1 \text{ a pro m}^2 \text{ Wiese}$
- ▶ $0,286 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1 \text{ a pro m}^2 \text{ Weide}$

Synthese aus der Bewertung mit dem Bewertungskatalog für Grünland und den zusätzlichen Datenquellen

Die Ergebnisse der Bewertung mittels Bewertungssystem und zusätzlichen Datenquellen decken sich insofern, dass sowohl für die Bewertung mit Bewertungskatalog als auch durch die weitergehende Analyse eine Dominanz der Hemerobiekategorie IV im Grünland ausgemacht werden kann. Es wird angenommen, dass das mittlere deutsche Grünland sich mit den Annahmen, die Tabelle 40 zugrunde gelegt wurden, deckt. Dadurch wird dem mittleren deutschen Grünland die Hemerobiekategorie IV zugewiesen. Für den Fall, dass eine detailliertere Aufschlüsselung der Hemerobiekategorien erforderlich ist, können die Ergebnisse aus den zusätzlichen Datenquellen verwendet werden.

3.4.4 Brachflächen

Das Wesen von Brachflächen ist es, dass sie nicht genutzt werden. Dennoch gibt es Anwendungsbereiche, in denen sie im Rahmen einer Ökobilanz für Produkte oder Dienstleistungen zu berücksichtigen sind. Z. B. bedarf es für die Windenergie und Freiland-PV sowie für Verkehrswege einer Bewertung der Hemerobie von unversiegelten, brachlandartigen Rand-, Zwischen- oder in sonstiger Weise funktionell in Anspruch genommenen Flächen. Für eine Auswahl solcher Flächen werden durch generische Anwendung des Kriterienkatalogs in Teilbericht I, Kapitel 4.4.2 die entsprechenden Hemerobiekategorien abgeleitet. Die in Tabelle 42 enthaltene Auswahl umfasst:

- ▶ befahrbare, geschotterte Flächen (z. B. Kranstellfläche einer Windkraftanlage)
- ▶ Grünflächen unter und zwischen Freiflächen-PV-Anlagen (PV-FFA)
- ▶ Rand- und Mittelstreifen von Verkehrswegen (insbesondere Autobahnen)
- ▶ Militärische Konversionsflächen

Die Einstufung erfolgt auf der Basis einer gutachterlichen Einschätzung durch die Autorinnen und Autoren, wobei auch Eindrücke von Vorortbegehungen solcher Flächen einfließen. So ist die Vegetation einer geschotterten Kranstellfläche spärlich bis fast fehlend (Wertgruppe 5). Ebenso verhält es sich mit seltenen Arten und der Struktur (es liegt im Wesen der Kranstellfläche plan eben und völlig strukturlos zu sein. Andererseits sind die Flächen gegenüber landwirtschaftlichen Schlägen eher im mittleren Bereich (Wertgruppe 3). Ein Eintrag von Stoffen (Düngung, Pestizide) findet nicht statt. Dagegen sind die Böden von ehemaligen Militärfeldern oft stark mit Kampfstoffen u.a. kontaminiert und werden daher hier aufgrund dieser aus früherer Nutzung bestehenden Einträgen in Wertgruppe 5 eingeteilt. Andererseits finden sich auf den ansonsten oft recht unberührten Flächen vergleichsweise hohe Artenzahlen (Wertgruppe 2) und dabei durchaus auch einzelne seltene Arten (Wertgruppe 3). Die Einschätzung der Grünflächen unter PV-FFA erfolgt ebenfalls anhand von Einzelbegehungen seitens der Autorinnen und Autoren. Da

hier eine große Variationsbreite gegeben ist, wird hier eine eher konservative Einschätzung gegeben, die zu einer Hemerobiekategorie V führt, die dem ungünstigen Fall der drei möglichen Klassen für Grünland entspricht. Sollten sich solche Flächen durch systematische Erhebungen als eher hochwertiges Grünland erweisen, wäre diese Einschätzung zu korrigieren.

Tabelle 42: Anwendung der Kriterien und Messgrößen auf beispielhafte brachlandartige Flächen; die Zahlen entsprechenden Wertgruppen von 1 (= geringe Hemerobie) bis 5 (= hohe Hemerobie).

Kriterium	Messgröße	Kranstellfläche WEA	Grünflächen (PV-FFA)	Rand-Mittelstreifen Straße	militärische Konversionsfläche
Diversität der Flora	1. Artenvielfalt	5	4	3	2
	2. seltene Arten	5	5	5	3
Struktur-Diversität	3. Struktur der Fläche	5	4	2	5
	4. Größe der Fläche	3	4	4	2 bis 3 ^{a)}
Bodenschutz Stoffeinträge	5. Bodenbearbeitung	5	3	3	2
	6. Bodenbedeckung	5	2 bis 3 ^{a)}	4	1 bis 2 ^{a)}
	7. Düngung, PSM, sonst. ökotox. Stoffe	1	1	5	5
Mittelwerte	Kriterium 1	5	4,5	4,0	2,5
	Kriterium 2	4,0	4,0	3,0	3,75
	Kriterium 3	3,7	2,2	4,0	2,8
Durchschnitt		4,2	3,6	3,7	3,0
Hemerobiekategorie		VI (Tendenz V)	V	V	V (Tendenz IV)

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

a) Einstufungen die über zwei Gruppen hinweg reichen, werden mit dem Mittel aus beiden Gruppen belegt.

3.4.5 Rohstoffabbauflächen

3.4.5.1 Gesteine, Mineralstoffe

Für folgende Arten von Gesteinen wurden die Kriterien und Messgrößen aus dem Teilbericht I Methoden, Kapitel 4.3.3, generisch angewandt:

- ▶ Festgestein (Kalkstein u. a.),
- ▶ Lockergestein (Sande und Kiese), trockener Abbau und
- ▶ Lockergestein (Sande und Kiese), nasser Abbau.

Das Ergebnis dieser Anwendung ist in Tabelle 43 zusammengestellt. Daraus ergibt sich, dass für den Abbau von Naturstein in Deutschland als generischer Wert die Hemerobioklasse VI zugewiesen werden kann. Damit sind Natursteinbrüche sowie Kies- und Sandabbauflächen gegenüber versiegelten Flächen als weniger naturfern einzustufen.

Tabelle 43: Anwendung der Kriterien und Messgrößen auf Abbauflächen von Natursteinen

Kriterium	Messgröße	Festgestein	Lockergestein trocken (Sande und Kiese)	Lockergestein nass (Sande und Kiese)
1: Schwere des Eingriffs	1. Kapazität Fördermaschinen [m³/h]	200 m³/h ^{a)} Wert: 2	5.000 m³/h (entspricht Nassgewinnung) Wert: 2	5.000 m³/h ^{b)} Wert: 2
	2. Jährlicher Abbau pro Lagerstätte [t/a]	200.000 – 1 Mio t/a ^{c)} Wert: 2	90.000 – 200.000 t/a ^{c)} Wert: 2	90.000 – 200.000 t/a ^{c)} Wert: 2
	3. Eingriff in den Wasserhaushalt	Wert: 2^{d)}	Wert: 2^{d)}	Wert: 1^{d)}
	4. Verkipfung	ca. 20 % ^{e)} Wert: 2	ca. 20 % ^{e)} Wert: 2	keine ^{d)} Wert: 1
	Durchschnitt der Messgrößen 1-4	2,00	2,00	1,50
2: Biotopentwicklung	5. Biotopwert-Wertstufe	Potentiell II (Sohle: II, Abbruchwand: II) ^{f)} Wert: 2	Potentiell I (Sandgrube: I, Abbruchwand: II) ^{f)} Wert: 3	Potentiell II (Baggersee im Abbau) ^{f)} Wert: 2
	6. Ausbildung von Kleinbiotopen und Möglichkeit der Sukzession	Wert: 1^{d)}	Wert: 2^{d)}	Wert: 2^{d)}
	7. Hochwertigkeit der natürlichen Entwicklung ohne menschlichen Eingriff	Wert: 1^{d)}	Wert: 2^{d)}	Wert: 2^{d)}
	8. Wichtigkeit für den Biotopverbund	Sehr hoch ^{g)} Wert: 1	Mittel ^{g)} Wert: 2	Mittel (sehr hoch: Auenbiotop, mittel/gering: See) ^{g)} Wert: 2
	Durchschnitt der Messgrößen 5-8	1,25	2,25	2,00
3: Dauerhaftigkeit des Eingriffs	9. Schädliche Hinterlassenschaften vor Ort	Wert: 2^{h)}	Wert: 2^{h)}	Wert: 2^{h)}
	10. Renaturierungspotenzial	Wert: 1^{d)}	Wert: 1^{d)}	Wert: 1^{d)}

Kriterium	Messgröße	Festgestein	Lockergestein trocken (Sande und Kiese)	Lockergestein nass (Sande und Kiese)
	<i>Durchschnitt der Messgrößen 9–10</i>	1,50	1,50	1,50
Summe der Durchschnittswerte aller Kriterien	Summe	4,75	5,75	5,00
	Hemerobiekategorie	VI	VI	VI

Quellen: Eigene Tabelle 2021, ifeu basierend auf:

- a) (Buja, 2013; PATZER VERLAG GmbH & Co. KG, 2014)
- b) (Buja, 2013; Patzold et al., 2008)
- c) (LAGB Sachsen-Anhalt, 2012; LUNG, 2006; MWVLW, 2015; Werner et al., 2013)
- d) gutachterliche Einschätzung der Autorinnen und Autoren
- e) (ISTE, 2020)
- f) (Küpfer, 2016; Vogel / Breunig, 2005)
- g) (IUS Weisser und Ness, 1999)
- h) gutachterliche Einschätzung der Autorinnen und Autoren basierend auf (Buja, 2013)

In Tabelle 44 werden die Hemerobieklassen der Gesteine mit den Sachbilanzdaten verbunden.³⁰

Tabelle 44: Hemerobieklassen der Gesteine für die Sachbilanzdaten ausgewählter Natursteine

Spezifische Flächenbelegung/ Nutzungskategorie	Fläche unter Abbau [m ² *1a/t]	Abraumhalden und Schutthalden [m ² *1a/t]	Lagerhalden [m ² *1a/t]	Fahrwege [m ² *1a/t]	Betriebsgebäude, Aufbereitungsanl., Förderungstechnik [m ² *1a/t]
Hemerobiekategorie	VI	VI	VII	VI	VII
Bausand, Baukies etc.	0,037	0,003	0,019	0,041	0,096
Gebrochene Natursteine	0,015	0,003	0,008	0,017	
Kalk- und Dolomitsteine	0,015	0,003	0,008	0,017	
Lehm- und Ziegelton	0,091	0,003	0,046	0,100	
Gips- und Anhydritstein	0,050	0,003	0,025	0,055	
Bims, Trass und Tuffstein	0,221	0,003	0,110	0,243	

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu nach (Andruleit et al., 2017)

³⁰ Weiterführende Informationen zur Ableitung der Default-Werte ist der Excel-Tabelle zu entnehmen, welche auf der Website von ifeu gGmbH zur freien Verfügung gestellt wird (ifeu, 2021b).

3.4.5.2 Braunkohle

Die durch den Braunkohletagebau belegten Flächen sind durchgängig hochgradig devastiert und somit vollständig artifiziell. Die Anwendung des Bewertungsrasters auf Braunkohle führt auf die Hemerobiekategorie VII.

3.4.5.3 Metallerze

Wie beim Braunkohletagebau sind auch die für Metallerzabbau belegten Flächen durchgängig hochgradig devastiert und somit vollständig artifiziell. Sie werden in die Hemerobiekategorie VII eingestuft.

3.4.6 Infrastrukturflächen

3.4.6.1 Windenergieanlagen an Land

Hemerobie der belegten Flächen

In Kapitel 3.2.5.1 wurden die spezifischen Flächenbelegungen für die Stromerzeugung in Windenergieanlagen (WEA) zusammengestellt.

Die belegten Flächen sind zum Teil versiegelt (Fundament des Turms, Trafostationen, 50 % der Zuwegungsfläche), zum Teil bracheartig mit beispielweise geschotterten Flächen (50 % der Zuwegungsfläche, Kranstellplatz). Bei WEA im Wald kommen noch Flächen hinzu, die aus betrieblichen Gründen innerhalb eines bestimmten Radius baumfrei gehalten werden müssen.

Es gilt somit für drei unterschiedliche Flächentypen die Hemerobie zu definieren:

1. **Versiegelte Flächen:** Hier gilt die kategorische Zuordnung zu Hemerobiekategorie VII.
2. **Bracheartige Flächen:** Mit Blick auf die im Teilbericht I „Methoden“ beschriebenen Kriterien zur Bestimmung der Hemerobie von Brachflächen (siehe dort Kapitel 4.4.2) stellen diese monotonen, nahezu vegetationslose Flächen eine sehr geringe Wertigkeit dar. Eine eindeutige Zuordnung in die Hemerobiekategorie VI kann damit begründet werden.
3. **Baumfrei gehaltene Fläche im Wald:** die übliche Forstnutzung ist hier stark eingeschränkt, somit ist die Zurechnung dieser Flächen zur Belegung durch die WEA im Wald gerechtfertigt. Eine Waldentwicklung wird hier durch regelmäßige Eingriffe verhindert. Damit begründet sich eine Zuordnung in die für Waldsysteme niedrigste Hemerobiekategorie V.

In Kombination mit den Flächenbelegungsdaten ergeben sich somit für eine MWh Strom mittels WEA die in Tabelle 45 zusammengestellten Werte zu Naturfernepotenzialen.

Tabelle 45: Naturfernepotenziale für die Flächenbelegung durch eine Megawattstunde Windenergie

Technischer Parameter	Faktoren Bestand	Faktoren zugebaute Anlagen	Einheit	Hemero- bieklasse
Flächenbelegung Offenland (93,4 % im Jahr 2017; 96,2 % im Bestandsmittel 2010-2017)				
Summe versiegelte Flächen (Fundament, Trafostationen, 50 % der Zuwegungsfläche)	0,261	0,142	m ² ·1a /MWh	VII
Summe „bracheartiger Flächen“ (50 % der Zuwegungsfläche, Kranstellplatz)	0,592	0,286	m ² ·1a /MWh	VI
Summe Flächen als NFP	0,558	0,285	m² aF-Äq.·1a / MWh	
Flächenbelegung Wald (6,6 % im Jahr 2017; 3,8 % im Bestandsmittel 2010-2017)				
Summe versiegelte Flächen (Fundament, Trafostationen, 50 % der Zuwegungsfläche)	0,335	0,178	m ² ·1a /MWh	VII
Summe „bracheartiger Flächen“ (50 % der Zuwegungsfläche, Kranstellplatz)	0,667	0,322	m ² ·1a /MWh	VI
Baumfrei gehaltene Fläche	0,355	0,172	m ² ·1a /MWh	V
Summe Flächen als NFP	0,757	0,381	m² aF-Äq.·1a / MWh	
Summe NFP Windenergie gesamt (bei 96,2 % Offenland bzw. 93,4 % Offenland)	0,565 bzw. 0,571		m² aF-Äq.·1a / MWh	

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf Tabelle 13 und den Angaben dazu in Kapitel 3.2.5.1 und diesem Kapitel.

Hemerobie der von Flächennutzungsänderung betroffenen Flächen

In Kapitel 3.3.5.1 finden sich die entsprechenden Angaben zu Flächennutzungsänderung. Für Windenergie ist in den vergangenen Jahren ein bedeutender Zubau erfolgt und wird auch im Zuge der Energiewende weiter erfolgen.

Hier ist die entscheidende Frage, welche Hemerobiekategorie die dafür in Anspruch genommenen Ausgangsflächen aufweisen.

Wie bereits in Kapitel 3.2.5.1 ausgeführt, liegen die mit WEAs belegten Offenland-Flächen zu ca. 95 % auf Ackerland und zu ca. 5 % auf Grünlandflächen. Weniger als 1 % stehen auf bereits bebauten Flächen (z.B. Mülldeponien oder andere Bauwerke). Dies wird auch für den zukünftigen Zubau so angesetzt.

In Tabelle 46 sind die Anteile der von Flächennutzungsänderung für Windenergie betroffenen Flächen zusammengestellt. WEAs auf bebauten Flächen belegen keine zusätzlichen Flächen und bedingen somit auch keine Flächennutzungsänderung. Aufgrund des geringen Anteils werden sie hier vernachlässigt. Die Einteilung in die Hemerobieklassen folgt den Einschätzungen aus den Kapiteln 3.4.1 (Wald), 3.4.2 (Ackerland) und 0 (Grünland). Auf Basis der Daten in Tabelle 46 werden in Tabelle 47 die Faktoren für die Flächennutzungsänderung durch eine MWh Windenergie abgeleitet. Dabei wird das gewichtete Mittel von WEAs im Wald und auf Offenlandstandorten als Naturfernepotenzial (NFP) gebildet.

Tabelle 46: Von Flächennutzungsänderung für Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen nach Hemerobieklassen

	Zubau	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V	Klasse VI	Klasse VII
Anteil Offenland	83,9 %						
Anteil Ackerfläche an Offenland	95 %	-	-	4 %	64 %	32 %	-
Anteil Grünland an Offenland	5 %	-	-	100 %	-	-	-
Anteil Waldfläche	16,1 %	7 %	11 %	66 %	16 %	-	-

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, Zubau nach eigenen Ausführungen dazu in Kapitel 3.2.5.1 und 3.3.5.1; Verteilung auf die Hemerobieklassen nach Kapitel 3.4.2 (Ackerflächen), Kapitel 0 (Grünland) und Kapitel 3.4.1 (Wald))

Tabelle 47: Naturfernepotenziale für die Flächennutzungsänderung durch Windenergie betroffene Anteile von Acker-, Grünland- und Waldflächen

	Faktoren	Einheit
Offenland		
Neue Fläche Windenergie (5,0 %*83,9 %*(Belegung Fläche VI+Belegung Fläche VII*1,15 ^a))	0,0375	m ² / MWh ges
Als NFP	0,0119	m ² aF-Äq./ MWh ges
Ackerland (95%) als NFP (Anteile nach Tabelle 46)	0,0357 0,0116	m ² / MWh ges m ² aF-Äq. / MWh ges
Grünland (5%) als NFP (Anteile nach Tabelle 46)	0,00188 0,00024	m ² / MWh ges m ² aF-Äq. / MWh ges
Wald		
Neue Fläche Windenergie (5,0 %*16,1 %*(Belegung (Fläche V+VI)+Belegung Fläche VII*1,12 ¹))	0,0112	m ² / MWh ges
Als NFP	0,00641	m ² aF-Äq. / MWh ges
Wald als NFP (Anteile nach Tabelle 46)	0,00148	m ² aF-Äq./ MWh ges
Summe NFP der insg. belegten Fläche (bei 96,2 % bzw. 93,4 % Offenland)	0,565 bzw. 0,571	m ² aF-Äq.·1a / MWh ges
Summe NFP der insg. umgewandelten Fläche (Summe NFP Ackerland, Grünland, Wald)	0,0133	m² aF-Äq./ MWh ges
Summe NFP der nach Umwandlung belegten Fläche (Summe Neue Fläche Windenergie Offenland und Wald als NFP)	0,0315	m² aF-Äq./ MWh ges
NFP der Flächennutzungsänderung (Differenz der beiden Zeilen darüber)	0,0182	m² aF-Äq. / MWh ges

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf Tabelle 28, den Ausführungen in Kapitel 3.3.5.1 bzw. 3.2.5.1 und Tabelle 46.

a) Vergrößerung durch Fundamentfläche um: $1+(491/380-1)*(Brutto-Zubau\ Mittel\ 2015-2017/Netto-Zubau\ Mittel\ 2015-2017)*(Fläche\ Fundament/Summe\ Fläche\ VII)$

3.4.6.2 Freiflächen-PV (PV-FFA), deutsche Situation

Hemerobie der belegten Flächen

Wie unter Kapitel 3.2.5.2 ausgeführt, können die mit PV-FFA belegten Flächen sehr unterschiedlich sein (Agrarflächen, Konversionsflächen, Deponien). Dementsprechend variieren auch die Flächenqualitäten der in Betrieb befindlichen Anlagen. Dazu kommen technische Aspekte, wie unterschiedliche Beschattungsintensitäten je nach Reihenabstand der Module, oder ob sie feststehend oder nachführend sind (Mover).

In einer Studie des BfN im Jahr 2009 untersuchten (Herden et al., 2009) 99 PV-Freiflächenanlagen. Sie lagen zu 50 % auf Ackerland, zu etwa 20 % auf militärischer Konversionsfläche. Grünland und versiegelte Flächen (inkl. Deponien) lagen bei jeweils 9 % - Grünland ist demnach nur marginal betroffen. Die Vornutzung ist v.a. für die Flächennutzungsänderung (siehe weiter unten) von Relevanz. Die nicht versiegelten Flächen, ob Acker oder Militärgelände, werden generell zu Grünflächen umgewandelt. Eine Offenhaltung durch Beweidung oder Mahd ist erforderlich zur Vermeidung von Beschattung durch aufwachsende Vegetation sowie aus Gründen des Brandschutzes (Herden et al., 2009). Nach (Kelm et al., 2019) liegen 64 % des Bestands auf Konversionsflächen und sonstigen baulichen Anlagen, 19 % auf Ackerflächen und 16 % entlang von Verkehrswegen auf hauptsächlich Ackerflächen. Eine Unterscheidung in Acker- und Grünflächen ist nicht möglich. In (BNetzA, 2016) werden die Ausgangsflächen der von März 2015 bis August 2016 in Betrieb genommenen Anlagen über eine Auswertung des Thünen-Instituts mithilfe des Digitalen Landschaftsmodells weiter in Acker- und Grünflächen differenziert. Demnach handelt es sich zu 57 % um andere Landnutzung (v.a. Konversionsflächen), zu 29 % um Ackerland und zu 14 % um Grünland. Hier wird letztere Vorflächenverteilung für PV-FFA angenommen.

Die Naturqualität der unter PV-FFA aus Ackerland zu entwickelten Grünflächen kann nach (Herden et al., 2009) ebenfalls nicht einheitlich bewertet werden. In Einzelfällen entwickeln sich vergleichsweise artenreiche Habitats, in anderen Fällen bleibt die Vegetation arm, z. B. bei zu starker baulicher Verdichtung des Unterbodens.

Berücksichtigt man die Kriterien und Messgrößen für die Hemerobie von Grünland (vgl. Kapitel 0), wäre die Fläche in einem Bereich von Klasse IV anzusiedeln (typische Einstufung für Extensivgrünland). Aufgrund der anlagebedingten Störfaktoren Beschattung und Änderung der Beregnungsbedingungen sind hier jedoch Abstriche gerechtfertigt. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wird daher

- ▶ die beschattete Fläche als Klasse VI und
- ▶ die Zwischenräume als Klasse V

eingestuft. Dies führt zu den in Tabelle 48 aufgeführten Faktoren.

Mit einer geringeren Abstandsfläche würde der spezifische Flächenbedarf sinken, dafür aber die Flächenqualität der Zwischenräume abnehmen und umgekehrt. Im Einzelfall können sowohl Zwischenräume als auch die direkt überdeckten Flächen einen höheren Naturwert ausweisen.

Tabelle 48: Naturfernepotenzial der Flächenbelegung durch PV-FFA bezogen auf eine MWh Strom

	Faktoren	Einheit	Hemerobiekategorie	Charakterisierungsfaktor (CF)
Gesamtfläche für PV-FFA	22	m ² ·1a /MWh		
Versiegelung	0,66	m ² ·1a /MWh	VII	CF 1
Überschirmte Fläche	7,04	m ² ·1a /MWh	VI	CF 0,5
Zwischenraumfläche	14,3	m ² ·1a /MWh	V	CF 0,25
Naturfernepotenzial NFP	7,76	m² aF-Äq.·1a /MWh		

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf Tabelle 14 und den Angaben dazu in Kapitel 3.2.5.2 und diesem Kapitel.

Hemerobie der von Flächennutzungsänderung betroffenen Flächen

Nach Kapitel 3.3.5.2 und den obigen Ausführungen in diesem Kapitel liegen die PV-FFA v.a. auf ehemaligen Konversions-, Acker- und Grünlandflächen.

Ackerflächen liegen bevorzugt in „benachteiligten Gebieten“ gemäß (BMJV, 2021), d.h. sie werden häufig bereits eher weniger intensiv genutzt. Ihre Weiterbewirtschaftung würde sonst ja kaum in Frage stehen. Somit wäre hier von einer gegenüber dem gewichteten Mittel für Ackerfläche niedrigeren Hemerobie-Klasse auszugehen.

In Abweichung zur mittleren Situation der Ackerflächen in Deutschland (siehe Kapitel 3.4.2) wird hier als konservativer Ansatz 20 % Klasse IV und 80 % Klasse V zu Grunde gelegt. Eine Umwandlung von Ackerflächen der Hemerobiekategorie VI (das ist in der Regel hoch intensiv genutzte Ackerfläche) wird in Einzelfällen gegeben sein, hier aber nicht angenommen.

Auch die 110-m-Randstreifen an Autobahnen und Schienenwegen sind nach den Daten der (BNetzA, 2016) nahezu ausschließlich Ackerflächen. Hier ist nicht notwendigerweise anzunehmen, dass es sich um weniger intensiv genutzte Flächen als im Bundesdurchschnitt handelt. Der Ansatz lautet hier: 4 % Klasse IV, 64 % Klasse V und 32 % Klasse VI.

Aus der Relation „benachteiligte Gebiete“/“Randstreifen“ (23 %-Punkte auf den 110-m-Randstreifen und 8 %-Punkte in benachteiligten Gebieten nach Auswertung von (BNetzA, 2016), s. Kapitel 3.3.5.2) ergibt sich damit ein gewichteter Mix von:

- ▶ 8 % Klasse IV
- ▶ 68 % Klasse V
- ▶ 24 % Klasse VI

Für **Grünland** werden die mittleren Verhältnisse analog zur Windenergie in Deutschland angesetzt. Es sind dies, wie in Kapitel 3.4.6.1 dargestellt, 100 % Klasse IV.

Konversionsflächen sind weitaus vielfältiger. Hier sind teilversiegelte bis hin zu stark devas-tierten Flächen enthalten, andererseits sind viele militärische Liegenschaften aufgrund der Ab-geschiedenheit und teilweisen Naturbelassenheit Sonderstandorte, die wertvolle Sekundärle-bensräume oder Rückzugsgebiete für viele gefährdete Arten darstellen (Herden et al., 2009).

In Kapitel 3.4.4 (Hemerobie von Brachflächen) wird ein Defaultwert für militärische Konversi-onsflächen abgeleitet. Dieser entspricht einer Einstufung in Klasse V, wobei eine Tendenz in Richtung Klasse IV besteht.

In Tabelle 49 werden die Faktoren für die Flächennutzungsänderung als Naturfernepotenzial (NFP) auf der Basis der vorausgehenden Basisdaten abgeleitet.

Tabelle 49: NFP-Faktoren für die Flächennutzungsänderung für PV-FFA betroffene Anteile von Ackerland, Grünland und Konversionsflächen

	Faktoren	Einheit
Umgewandelte Fläche (PV-FFA)		
13,2 % der Belegung, (siehe Tabelle 48)	2,421	m ² / MWh
als NFP	0,853	m ² aF-Äq./ MWh
Fläche vor Umwandlung		
Ackerland (29 %) (8 % Klasse IV, 68 % Klasse V, 24 % Klasse VI)	0,702	m ² / MWh
als NFP	0,210	m ² aF-Äq. / MWh
Grünland (14 %) (100 % Klasse IV)	0,339	m ² / MWh
als NFP	0,042	m ² aF-Äq. / MWh
Konversionsflächen (57 %) (100 % Klasse V)	1,38	m ² / MWh
als NFP	0,345	m ² aF-Äq. / MWh
Summe NFP der insg. umgewandelten Fläche	0,598	m ² aF-Äq./ MWh
NFP der Flächennutzungsänderung	0,256	m ² aF-Äq./ MWh

Quelle: (Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf Tabelle 29, den Ausführungen in Kapitel 3.3.5.2 bzw. 3.2.5.2 und diesem Kapitel)

3.4.6.3 Solarkraftwerke, Standort MENA-Region

Für Landnutzungsformen im klimatischen Bereich von natürlichen Wüsten und Halbwüsten wurden bislang keine spezifischen Kriterienkataloge zur Einstufung in Hemerobieklassen erstellt. Das Grundprinzip der Hemerobie als Maß der Eingriffsintensität des Menschen in Ökosysteme lässt sich jedoch analog zu den Kriterien und Messgrößen von Landnutzungen bzw. Arten der Flächenbelegungen gemäßiger Klimazonen, wie in Teilbericht I eingehend beschrieben, übertragen. Für die Bewertung von Solar-Anlagenflächen in der MENA-Region für das Fallbeispiel „grüner“ Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe, Standort MENA-Region (siehe Kapitel 3 im Teilbericht II), wurden beispielhaft eine Solaranlage in Marokko (Quarzazate) und eine Solaranlage in Ägypten (Benban) anhand der vorhandenen Umweltverträglichkeitsuntersuchungen (EcoConServe, 2016; Jokadar / Ponte, 2012) betrachtet und Hemerobieklassen zugewiesen.

In Tabelle 50 wird in Anlehnung an das auch für PV-FFA in Deutschland verwendete Klassifizierungsschema für Brachflächen (siehe Kapitel 3.4.4), eine grobe Zuordnung in Hemerobieklassen vorgenommen. Angepasst an die Gegebenheiten der MENA-Region werden überschirmte Flächen sowie die Rand- und Zwischenflächen bewertet. Versiegelte Flächen werden generell der Klasse VII zugeordnet.

Wie für die anderen Systeme erfolgt die Zuteilung zu einer Hemerobiekategorie über die Mittelwertbildung innerhalb der Kriterien und über die Kriterien ausgehend von Wertpunkten (1 bis 5) je Messgröße. Schließlich werden die Werte den vorgesehenen Hemerobieklassen zugeteilt.

Wie in Kapitel 3.2.5.3 ausgeführt, setzt sich die Flächenbelegung für Solarenergie aus der MENA-Region folgendermaßen zusammen, nachfolgend ergänzt um die Hemerobiekategorie:

- ▶ Versiegelte Fläche (Verankerungen, Gebäude, Solarturm, direkte Zugangsstraßen, u. Ä.)
→ Hemerobiekategorie VII
- ▶ Übershirmte (beschattete) Fläche (Übershirmung durch Heliostaten, Parabolrinnen und Solarpaneele)
→ Hemerobiekategorie VI (siehe Tabelle 50)
- ▶ Rand- und Zwischenflächen (Flächen zwischen den übershirmten Flächen, Randbereiche, unbetonierte Zuwegungen, u. Ä.)
→ Hemerobiekategorie VI (siehe Tabelle 50)

Tabelle 50: Vereinfachte beispielhafte Einordnung einer Wüstenfläche in Kriterien und Messgrößen

Kriterium	Messgröße	übershirmte Flächen; Solaranlage MENA-Region	Rand- u. Zwischenflächen; Solaranlage MENA-Region
Diversität der Flora	1. Artenvielfalt	4-5	4
	2. seltene Arten	5	4-5
	Mittelwert	4,8	4,3
Strukturdiversität	1. Größe der Fläche	5	5
	2. Struktur der Fläche	4-5	3-4
	Mittelwert	4,8	4,3
Bodenschutz und Stoffeinträge	1. Bodenbearbeitung	4-5	3-4
	2. Bodenbedeckung	4-5	4
	3. Pestizide/Herbizide	3-4	3
	Mittelwert	4,2	3,5
Durchschnitt der Mittelwerte aller Kriterien		4,6	4,0
Hemerobiekategorie		VI	VI

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, eigene Einschätzungen ifeu, basierend auf Angaben in (EcoConServe, 2016; Jokadar / Ponte, 2012)

Die Einstufung erfolgt auf der Basis einer gutachterlichen Einschätzung durch die Autorinnen und Autoren und wird vor dem Hintergrund der Eingriffsstärke als plausibel erachtet, auch wenn für diesen Landschaftstyp bislang kein auf differenzierten Analysen angepasster Messgrößenkatalog entwickelt wurde. Es bleibt zu beachten, dass es sich um potenzielle Auswirkungen handelt, die hier, wie in ökobilanziellen Bewertungen generell, eher konservativ im Sinne der

Erhaltung der Natur, betrachtet werden. Im Folgenden werden die Begründungen für die getroffenen Einstufungen genauer erläutert.

Sollten sich die betrachteten Flächen durch systematische Erhebungen als anders einzustufen erweisen, wäre diese Einschätzung zu korrigieren.

Erläuterungen zur Bewertung basierend auf einem Solarkomplex in Marokko (Quarzazate) und einer Solaranlage in Ägypten (Benban) anhand der zugehörigen oben erwähnten Umweltverträglichkeitsuntersuchungen:

Eine direkte Übertragung der Messgrößen ist insbesondere für die Kriterien zur Diversität schwierig, da es sich bei den betroffenen Naturräumen um teilweise nahezu vegetationslose Wüstengebiete handelt, andererseits durchaus eine relativ hohe Artenvielfalt und Strukturdiversität vorherrscht. Auch die Bebauung kann sehr unterschiedlich sein: sie reicht von Flächen, in denen zuvor strukturreiches Land vollkommen eingeebnet wird, bis zu Anlagen, die teilweise um kleine Wasserläufe gebaut werden.

Die **Ausgangslage** am Projektstandort in der marokkanischen Geröllwüste vor der Bebauung durch den Solarpark Quarzazate kann in etwa mit der Hemerobiekategorie II beschrieben werden, da es sich um weitestgehend ungestörte und unbebaute Natur handelte, die dennoch Spuren der menschlichen Nutzung aufweist, es sich folglich nicht um gänzlich unberührte Natur (Kategorie I) handelt (EcoConServe, 2016).

Auf Grundlage der Geomorphologie sowie der Bodenzusammensetzung und Oberflächenentwässerungsmuster wurden insgesamt drei verschiedene Lebensraumtypen und mehrere verschiedene Ökotypen ermittelt. Die Spannweite im zu bebauenden Gebiet reichte von spärlicher Besiedelung mit sukkulenten Arten auf felsigen Plateaus bis zu Steilhängen, auf denen das Niveau der Biomasse und der Biodiversität relativ hoch sein konnte (insbesondere in Gebieten, in denen sich das Wasser vorübergehend ansammeln konnte oder entlang der Ränder der Entwässerungsmuster) (EcoConServe, 2016).

Die **Eingriffe zur Errichtung der Solaranlagen** gehen mit umfassenden Erdbewegungen einher. Die Aushubmethoden sind dabei abhängig von den Bodenverhältnissen und der Tiefe der Stiftungen. Erdaushub wird nach Möglichkeit wiederverwendet. Pfahlgründungstechniken sind von den Bodenbedingungen abhängig und können gebohrte, eingegossene und/oder Ramm-pfähle sein. Aushubmaterial wird so kurz wie möglich auf der Halde gelagert und, sobald ein Gebiet wieder mit Bodenmaterial aufgefüllt ist, in kurzer Zeit verdichtet. Die Höhe von aufgeschütteten Böschungen und Hängen soll reduziert werden und, wo möglich, soll die natürliche Vegetation auf Hängen und Böschungen wiederhergestellt werden. Geotechnische Untersuchungen deuten darauf hin, dass eine allgemeine Bodenverbesserung unwahrscheinlich ist. Es wird jedoch erwartet, dass sich eine Bodenverdichtung auf lokale Bereiche beschränkt, in denen „weiche Stellen“ für den Straßenbau und die Verfüllung der Fundamente angetroffen werden. Teils werden Muster des Regenwasserabflusses verändert und Wasserläufe umgeleitet. Dies kann möglicherweise zu einem erhöhten Erosions- und Überschwemmungsrisiko flussabwärts führen. (EcoConServe, 2016; Jokadar / Ponte, 2012).

Diese Aspekte sind zu beachten bezüglich der Einschätzung zu **Bodenschutz** (Bodenbearbeitung und Bodenbedeckung).

Bezüglich der **Diversität der Flora** (Artenvielfalt und seltene Arten) und der **Strukturdiversität** ist zu beachten, dass die intensive Bearbeitung des Bodens auf den Bebauungsflächen vorerst keine Vegetation erwarten lässt. Erst nach erfolgreichen Ausgleichsmaßnahmen zur ökologischen Renaturierung vor Ort mit einheimischer Vegetation ist wieder Bewuchs in den Randbereichen zu erwarten. Die Pflanzung großer Bäume oder Sträucher vor Ort wird nicht empfohlen,

da dies Vögel, Reptilien und andere Tiere an den Standort locken könnte was wiederum zu einer erhöhten Mortalität führen könnte. Daher beschränkt sich die Bepflanzung auf die krautigen Arten, die derzeit an diesem Standort vorkommen. (EcoConServe, 2016; Jokadar / Ponte, 2012).

Die **Größe der Flächen** für die Anlagen liegt nach Angaben in (Ristau, 2020) im Bereich von 1.800 ha für die Anlage Quarzazate in Marokko, und in (EcoConServe, 2016) werden als Planungsgröße für die Anlage Benban in Ägypten 3.700 ha angegeben. Damit begründen sich auch hohe Hemerobiewertzahlen, was die Flächengröße betrifft.

Stoffeinträge (Pestizide, Herbizide und andere ökotoxische Stoffe) spielen ebenfalls eine Rolle. So wird für die beiden Bebauungsgebiete (Quarzazate und Benban) der Einsatz von Pestiziden/Herbiziden erwähnt, jedoch ohne Mengenangabe und Häufigkeit. Es ist zu erwarten, dass eine natürliche Vegetationsentwicklung in der Nähe von elektrischen Anlagen durch regelmäßige Eingriffe, vor allem als Brandschutzmaßnahme, verhindert wird (EcoConServe, 2016; Jokadar / Ponte, 2012).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Eingriff durch mögliche Abtragungen, Einebnungen, Bodenverdichtungen, Umleitungen kleinerer fließender Gewässer, dauerhafter Entfernung von Pflanzen etc. einen starken Eingriff in die Natur darstellt, der die Einstufung in Hemerobiekategorie VI für die überschilderten sowie für die Zwischen- und Randflächen rechtfertigt.

Hemerobie der temporären Flächenbelegung

Das Naturfernepotenzial der Flächenbelegung eines CSP-Kraftwerks (Solarturmkraftwerk und Parabolspiegel-Kraftwerk) mit Standort MENA-Region kann nachfolgender Tabelle 51 entnommen werden.

Tabelle 51: Abschätzung des Naturfernepotenzials für CSP-Kraftwerke am Standort MENA-Region

Solarthermische Kraftwerke MENA-Region	Anteil an Anlagenfläche	Faktoren	Einheit	Hemerobiekategorie, Charakterisierungsfaktor (CF)
Mittelwert Gesamtfläche CSP	100%	11	$m^2 \cdot 1a / MWh$	
Versiegelte Fläche	6%	0,7	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VII, CF 1
Überschilderte Fläche	27%	3,0	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VI, CF 0,5
Zwischenraum- und Randflächen	68%	7,6	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VI, CF 0,5
Naturfernepotenzial NFP		6,0	$m^2 \cdot aF \cdot \ddot{A}q \cdot 1a / MWh$	

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (AFDB, 2014; KfW, 2021; Pfahl et al., 2017; Ristau, 2020) sowie auf Satellitenbilddatenauswertungen

Das Naturfernepotenzial der Flächenbelegung eines Photovoltaik-Kraftwerks mit Standort MENA-Region kann Tabelle 52 entnommen werden.

Tabelle 52: Abschätzung des Naturfernepotenzials für ein PV-Kraftwerk am Standort MENA-Region

PV-Kraftwerk MENA-Region	Anteil an Anlagenfläche	Faktoren	Einheit	Hemerobiekategorie, Charakterisierungsfaktor (CF)
Gesamtfläche PV-Anlage		11,5	$m^2 \cdot 1a / MWh$	
Versiegelte Fläche	5%	0,6	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VII, CF 1
Überschirmte Fläche	32%	3,7	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VI, CF 0,5
Zwischenraum- und Randflächen	63%	7,3	$m^2 \cdot 1a / MWh$	VI, CF 0,5
Naturfernepotenzial NFP		6,0	$m^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1a / MWh$	

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Herden et al., 2009; Masen, 2019; Ponte / Wade, 2016; Ristau, 2020)

Als Naturfernepotenzial ergeben sich somit etwa $6 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1a / MWh$ für Solarenergie aus der MENA-Region.

Hemerobie der Flächennutzungsänderung

In Kapitel 3.3.5.3 werden die Überlegungen zur Flächennutzungsänderung von CSP- und PV-Anlagen in der MENA-Region ausgeführt.

Aus Vereinfachungsgründen wird für die Hemerobie eine durchschnittliche Flächennutzungsänderung von 15 % für CSP-Anlagen angenommen, was unter Berücksichtigung der Effizienzsteigerungen zu einer versiegelten Fläche von $0,084 \text{ m}^2 / MWh$ mit Hemerobiekategorie VII, einer überschirmten Fläche von $0,38 \text{ m}^2 / MWh$ mit Hemerobiekategorie VI und einem Rand- und Zwischenflächenbereich von $0,95 \text{ m}^2 / MWh$ mit Hemerobiekategorie VI führt. Wie zuvor beschrieben, wird der Ausgangsfläche die Hemerobiekategorie II zugewiesen. Durch Ermittlung der Differenz zwischen hemerobiebewerteter bearbeiteter Fläche und der hemerobiebewerteten Ausgangsfläche ergibt sich ein Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung von $0,7 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} / MWh$.

3.4.6.4 Übertragungsnetze

Wie in Kapitel 3.2.5.5 ausgeführt, setzt sich die **temporäre Flächenbelegung** für das Übertragungsnetz zusammen aus

- ▶ den Mastfüßen, die mit $0,014 \text{ m}^2 \cdot a / MWh$ Strom konservativ als vollständig versiegelt angerechnet werden, d.h. in **Hemerobiekategorie VII** und
- ▶ die freizuhaltenen Trassen durch Waldgebiete mit einer Flächenbelegung von $0,5 \text{ m}^2 \cdot a / MWh$ Strom; analog zur Windenergie im Wald wird hierfür eine Zuordnung in die für Waldsysteme niedrigste **Hemerobiekategorie V** getroffen, da eine natürliche Waldentwicklung durch regelmäßige Eingriffe verhindert wird.

Als Naturfernepotenzial ergeben sich folglich mit $0,15 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot a / MWh$ Strom für das Übertragungsnetz.

In Analogie wird dies auf die **Flächennutzungsänderung** übertragen, für die, wie in Kapitel 3.3.5.4 ausgeführt, ein mittlerer jährlicher Zuwachs an Trassenlänge von 0,5 % angesetzt wird.

Für die versiegelten Bereiche (Masten) sind die 0,00007 m²/MWh Strom ebenfalls in **Hemerobiekategorie VII**, ebenso die freizuhaltenen Trassen (Waldgebiete) mit 0,0025 m²/MWh Strom in **Hemerobiekategorie V** einzuordnen.

3.4.6.5 Verkehrsflächen

Wie in Abschnitt 3.2.5.6 bereits ausgeführt, sind Verkehrsflächen, wie sie für den Transport von Gütern und Dienstleistungen beansprucht werden, stets versiegelt und daher grundsätzlich in Klasse VII einzustufen. Dies gilt auch für Bahntrassen, auf denen Aufwuchs dauerhaft verhindert wird, und unter welchen vielfach Drainagen installiert sind.

Hinzu kommen weitere Flächen wie begrünte Mittelstreifen und Randstreifen, die ursächlich mit den Verkehrsflächen begründet sind und keiner anderweitigen Nutzung zur Verfügung stehen.³¹ Sie sind jedoch nicht mit einer versiegelten Fläche gleichzusetzen. Wie den Ausführungen zu Brachflächen zu entnehmen ist, werden Böschungsflächen (begrünte Mittelstreifen und Randstreifen) in Klasse V eingestuft.

Für die einzelnen Transportarten ergeben sich damit die in Tabelle 53 (Personenverkehr) und Tabelle 54 (Güterverkehr) zusammengestellten Naturfernepotenzialwerte. Die schweren Nutzfahrzeuge (SNF) beinhalten sowohl alle Lastkraftwägen (LKW) >3,5 t als auch Last- und Sattelzüge.

Tabelle 53: Flächenbelegung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr

Verkehrsmittel	Flächenbelegung Verkehrsfläche (Klasse VII) [m ² · a/Pkm]	Flächenbelegung Böschung, Mittelstreifen (Klasse V) [m ² · a/Pkm]	Naturfernepotenzial (NFP) ^{a)} [m ² aF-Äq. · 1a/Pkm]
Pkw	0,00213	0,0000337	0,00214
Kraftrad	0,00154	0,0000129	0,00154
Kleinkraftrad	0,000429	0,000000386	0,000429
Linienbus	0,000706	0,00000601	0,000708
Fernlinienbus	0,000157	0,00000291	0,000158
Reisebus	0,000175	0,00000348	0,000176
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	0,000852	0,000365	0,000943
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)	0,00236	0,00101	0,00261
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)	0,00114	0,000486	0,00126

a) Das Naturfernepotenzial (NFP) ergibt sich durch Multiplikation mit dem Charakterisierungsfaktor der jeweiligen Klasse (VII = 1; V = 0,25) und Addition dieser Ergebnisse von Verkehrsweg und Böschung. Ausführungen hierzu siehe Kapitel 3.2.5.6

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

³¹ Grundsätzlich besteht hier eine Nutzungskombination mit Freiflächen-PV. Dies sollte bei späterer Aktualisierung der Datengrundlagen berücksichtigt werden.

Tabelle 54: Flächenbelegung Transportart Güterverkehr

Verkehrsmittel	Flächenbelegung Verkehrsfläche (Klasse VII) [m ² · a/tkm]	Flächenbelegung Böschung/Mittelstreifen (Kl. V) [m ² · a/tkm]	Naturfernepotenzial (NFP) ^{a)} [m ² aF-Äq. · 1a/tkm]
Schwere Nutzfahrzeuge	0,000623	0,0000167	0,000627
Leichte Nutzfahrzeuge	0,0252	0,000253	0,0253
Güterzug	0,000912	0,000389	0,00101

a) Das Naturfernepotenzial (NFP) ergibt sich durch Multiplikation mit dem Charakterisierungsfaktor der jeweiligen Klasse (VII = 1; V = 0,25) und Addition dieser Ergebnisse von Verkehrsweg und Böschung.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

Hemerobie der Flächennutzungsänderung

Wie in Kapitel 3.3.5.5 beschrieben, ist der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur mit einer Flächennutzungsänderung verbunden. Der Datenerhebungsaufwand zur Ermittlung der Ausgangsfläche wäre, wie im nachfolgenden Kapitel 3.4.7 beschrieben, zu groß. Daher wird der Fläche, die der Flächennutzungsänderung aufgrund dieser Nutzung vorausgeht der mittlere Hemerobie-Mix der Fläche Deutschlands, mit einem aggregierten Charakterisierungsfaktor von 0,318, zugewiesen. Die ermittelten Ergebnisse sind den nachfolgenden Tabelle 55 und Tabelle 56 zu entnehmen.

Tabelle 55: Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung mit Allokationsvariante B: Transportart Personenverkehr

Verkehrsmittel	Hemerobiebewer- tete Ausgangsfläche (mittlerer Hemerobie-Mix Deutschland) [m ² aF-Äq./Pkm]	Hemerobiebewer- tete bearbeitete Flä- che (Verkehrswege und Böschungen) [m ² aF-Äq./Pkm]	Naturfernepoten- zial der Flächennut- zungsänderung ^{a)} [m ² aF-Äq./Pkm]
Pkw	1,62E-06	5,04E-06	3,42E-06
Kraftrad	1,16E-06	3,63E-06	2,47E-06
Kleinkraftrad	3,21E-07	1,01E-06	6,88E-07
Linienbus	5,33E-07	1,67E-06	1,13E-06
Fernlinienbus	1,20E-07	3,72E-07	2,52E-07
Reisebus	1,34E-07	4,14E-07	2,81E-07
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	2,13E-07	5,20E-07	3,07E-07
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)	5,90E-07	1,44E-06	8,49E-07
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)	2,85E-07	6,95E-07	4,10E-07

a) Das Naturfernepotenzial (NFP) der Flächennutzungsänderung ergibt sich durch Differenz der hemerobiebewerteten bearbeiteten Fläche und der hemerobiebewerteten Ausgangsfläche.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

Tabelle 56: Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung mit Allokationsvariante B: Transportart Güterverkehr

Verkehrsmittel	Hemerobiebewertete Ausgangsfläche (mittlerer Hemerobie-Mix Deutschland) [m ² aF-Äq./tkm]	Hemerobiebewertete bearbeitete Fläche (Verkehrswege und Böschungen) [m ² aF-Äq./tkm]	Naturfernepotenzial der Flächennutzungsänderung ^{a)} [m ² aF-Äq./tkm]
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	4,79E-07	1,48E-06	9,97E-07
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	1,90E-05	5,94E-05	4,04E-05
Güterzug	2,28E-07	5,56E-07	3,28E-07

a) Das Naturfernepotenzial (NFP) der Flächennutzungsänderung ergibt sich durch Differenz der hemerobiebewerteten bearbeiteten Fläche und der hemerobiebewerteten Ausgangsfläche.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu, basierend auf (Allekotte et al., 2020)

3.4.7 Hemerobie für von Flächennutzungsänderung betroffene Flächen

Während Kapitel 3.3 die quantitativen Daten zur Flächennutzungsänderung enthält und Kapitel 3.4 die Hemerobie der durch die Flächennutzungsänderung belegten Flächen beschreibt, bedarf es zudem einer Einordnung der Hemerobie der Flächen vor der Flächennutzungsänderung.

Für einzelne Fälle ist dies bereits erfolgt, z. B. für Ackerflächen, deren Flächennutzungsänderung fast ausschließlich zu Lasten von Grünland geht, oder für Windenergie an Land und Freiland-PV, da sich auch hier die Ausgangsflächen konkret definieren lassen (siehe Kapitel 3.3.5.1 und 3.3.5.2).

Für andere Flächen wie Braunkohleabbau oder Verkehrsflächen dagegen lässt sich dies nicht konkret definieren bzw. wäre der Datenerhebungsaufwand dazu sehr groß. Der Ansatz hier soll vielmehr auf die mittlere Situation der Flächen in Deutschland Bezug nehmen. Die Fläche, die der Flächennutzungsänderung aufgrund dieser Nutzungen vorausgeht, wird der mittlere Hemerobie-Mix der Flächen Deutschlands zugewiesen. Dieser mittlere Mix ist in Tabelle 57 dargestellt. Die Daten für diesen Komplex inklusive der Herleitung und Berechnung finden sich in Tabelle 58.

Tabelle 57: Flächenanteile in Deutschland für die Definition der mittleren von Flächennutzungsänderung betroffenen Fläche

Art der Flächenbelegung	Absolute Fläche [1000 ha]	Flächenanteil [%]	Hemerobie (CF)	Erläuterungen
Wald	10.658	32,5	0,132	Mittlerer Wert, siehe Kapitel 3.4.1
Ackerland	11.672	35,6	0,325	Mittlerer Wert, siehe Kapitel 3.4.2
Grünland	4.729	14,4	0,125	Mittlerer Wert, siehe Kapitel 0
andere Vegetationsflächen ^{a)}	610,7	1,9	0,125	CF-Faktor konservativ eingeschätzt.
Siedlungsfläche (versiegelter Anteil) ^{b)}	2.169	6,6	1	Siehe Kapitel 3.4.6.5
Siedlungsfläche (teilw. unversiegelter Anteil) ^{c)}	1.135	3,5	0,5	CF-Faktor konservativ eingeschätzt
Verkehrsflächen	1.806	5,5	1	Mittlerer Wert, siehe Kapitel 3.4.6.5
Sonstige Fläche				
Gesamtheit (nur Landfläche)	32.780	100	0,318	

a) Überwiegend relativ natürliche Flächen wie Heiden, Moore, Gehölze

b) Wohnbaufläche, Gewerbe-/Industriefläche, Bergbauflächen, Halden;

c) Fläche gemischter Nutzung, besonderer funktionaler Prägung, Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche

Quelle: (Destatis, 2019c, 2020c; d)

Tabelle 58: Hemerobie für von Flächennutzungsänderung betroffene Flächen; Auswahl deckt die Daten für die Fallbeispiele (siehe Teilbericht II) ab

Art der Flächenbelegung	Umwandlungsrate	vorheriger Zustand Hemerobieklasse, CF	Erläuterungen
Wald (Deutschland)	keine	entfällt	Siehe Kapitel 3.3.1
Ackerland (Deutschland)	0,0027 m ² pro m ²	Grünland; Klasse IV; 0,125	Siehe Kapitel 3.3.2, 3.3.3, 3.4.2, 0
Palmölplantagen (Indonesien)	0,03 m ² pro m ²		
Grünland (Deutschland)	keine	Entfällt	Siehe Kapitel 3.3.3
Abbau Mineralstoffe (Deutschland) - Bausand, Baukies	0,000037 m ² pro kg		Siehe Kapitel 3.3.4.1, 3.4.1, 3.4.2, 0

Art der Flächenbelegung	Umwandlungsrate	vorheriger Zustand Hemerobieklasse, CF	Erläuterungen
Braunkohleabbau (Deutschland)	0,00004 m ² pro kg	Deutscher Flächenmix CF: 0,318	Siehe Kapitel 3.3.4.2 Siehe Tabelle 57
Steinkohleabbau (global)	0,00007 m ² pro kg	Annahme: Ausbau der Fläche in entlegenen natürlichen Regionen (Klasse II): CF: 0,03	
Erdöl-, Erdgasförderung (global)	Keine Daten	Annahme: Ausbau der Fläche in entlegenen natürlichen Regionen (Klasse II): CF: 0,03	
Windenergie an Land (Deutschland)	0,0000488 m ² pro kWh	Offenland 83,9 % mit 95 % Ackerfläche (Klassenmix, CF 0,325) und 5 % Grünland (Klasse IV, CF 0,125); Wald 16,1 % (Klassenmix, CF 0,132) Mix-CF: 0,286	Siehe Kapitel 3.3.5.1
PV-FFA (Deutschland)	0,0024 m ² pro kWh	Spezifisch (Klassenmix) CF: 0,247	Siehe Kapitel 3.3.5.2
Solkraftwerke (MENA)	0,0014 m ² pro kWh	Annahme: Ausbau der Fläche in entlegenen natürlichen Regionen (Klasse II): CF: 0,03	Siehe Kapitel 3.3.5.3
Übertragungsnetz (Deutschland)	0,00000257 m ² pro kWh	Überwiegend Wald (Klassenmix) CF: 0,136	Siehe Kapitel 3.3.5.4
Verkehrsflächen (Deutschland)		Deutscher Flächenmix CF: 0,318	Siehe Kapitel 3.3.5.5

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu

4 Vorschläge von Basisdaten für Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen

Die Ableitung der Basisdaten erfolgt mit besonderem Blick auf die Flächen- und Raumbeanspruchung für die Fallbeispiele aus dem Teilbericht II. Folgende Fallbeispiele wurden im Rahmen der Studie untersucht und sind im erwähnten Teilbericht II dargestellt:

- ▶ Stromerzeugung in Deutschland (1 MWh Stunde, mittlerer Netzmix sowie erneuerbarer Strom),
- ▶ „grüner“ Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe (jeweils 1 MJ),
- ▶ Bautechnisches Tragelement (10 m Spannweite für Hochbau),
- ▶ Personen-Transport (100 Personen-Kilometer, nur Antriebsenergie).

Die identifizierten generischen Daten und die selbst abgeleiteten Defaultwerte aus Kapitel 3.2 – 3.4 werden zu einer Gesamt-Datengrundlage an Basisdaten in Tabelle 59 und Tabelle 60 zusammengeführt.

Tabelle 59: Basisdaten für Flächenrucksäcke A) Flächenbelegung

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Holz						
Holz, unspezifisch	unspezifisch	m ³	1.510	IV	100 (Mittel)	0,125
				II	7	
				III	5	
				IV	81	
				V	7	
Holz, Buche	unspezifisch	m ³	1.540	IV	100 (Mittel)	0,125
				II	10	
				III	26	
				IV	64	
Holz, Eiche	unspezifisch	m ³	4.590	IV	100 (Mittel)	0,125
				II	7	
				III	5	
				IV	81	
				V	7	
	unspezifisch	m ³	4.330	IV	100 (Mittel)	0,125

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Holz, sonst. Laubholz, heimische Arten				II	10	0,099
				III	25	
				IV	64	
Holz, Fichte	unspezifisch	m ³	695	V	100 (Mittel)	0,25
				II	3	0,198
				III	6	
				IV	27	
				V	64	
Holz, Waldkiefer	unspezifisch	m ³	1.830	V	100 (Mittel)	0,25
				II	3	0,195
				III	6	
				IV	27	
				V	64	
Holz, Weißtanne	unspezifisch	m ³	1.200	IV	100 (Mittel)	0,125
				II	10	0,099
				III	25	
				IV	64	
Holz, Europ. Lärche	unspezifisch	m ³	1.980	IV	100 (Mittel)	0,125
				II	10	0,099
				III	25	
				IV	64	
Holz, Douglasie	unspezifisch	m ³	1.860	V	100 (Mittel)	0,25
				II	3	0,198
				III	6	
				IV	27	
				V	64	
Agrarprodukte						
Futtermübe	konventionell	kg	0,11	V	100	0,25
Kartoffeln	konventionell	kg	0,22	VI	100	0,5

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Körnermais	konventionell	kg	1,02	VI	100	0,5
Silomais	konventionell	kg	0,23	VI	100	0,5
Sommerackerbohne	konventionell	kg	2,54	V	100	0,25
Sommererbsen	konventionell	kg	2,9	V	100	0,25
Sommergerste	konventionell	kg	1,69	V	100	0,25
Sommerhafer	konventionell	kg	2,25	V	100	0,25
Sommerweizen	konventionell	kg	1,69	VI	100	0,5
Sonnenblume	konventionell	kg	3,38	V	100	0,25
Wintergerste	konventionell	kg	1,45	VI	100	0,5
Winterraps	konventionell	kg	2,86	V	100	0,25
Winterroggen	konventionell	kg	1,69	V	100	0,25
Winterroggen (Ganzpflanzensilage)	konventionell	kg	0,25	V	100	0,25
Winterweizen	konventionell	kg	1,27	VI	100	0,5
Winterweizen (Ganzpflanzensilage)	konventionell	kg	0,25	VI	100	0,5
Zuckerrübe	konventionell	kg	0,17	VI	100	0,5
Dinkel mit Spelz	ökologisch	kg	3,38	IV	100	0,125
Futterrübe	ökologisch	kg	0,22	V	100	0,25
Körnermais	ökologisch	kg	1,75	V	100	0,25
Silomais	ökologisch	kg	0,32	V	100	0,25
Sommerackerbohne	ökologisch	kg	2,9	IV	100	0,125
Sommererbsen	ökologisch	kg	3,38	IV	100	0,125
Sommergerste	ökologisch	kg	3,38	V	100	0,25
Sommerhafer	ökologisch	kg	3,38	IV	100	0,125

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Sommerroggen (Futterroggen)	ökologisch	kg	2,54	V	100	0,25
Sommerweizen	ökologisch	kg	2,54	V	100	0,25
Sonnenblume	ökologisch	kg	3,38	V	100	0,25
Speisekartoffel	ökologisch	kg	0,4	V	100	0,25
Wintergerste	ökologisch	kg	2,54	V	100	0,25
Winterraps (Zwischenfrucht)	ökologisch	kg	0,24	IV	100	0,125
Winterroggen	ökologisch	kg	2,54	IV	100	0,125
Winterroggen (Futterroggen)	ökologisch	kg	2,54	IV	100	0,125
Winterweizen	ökologisch	kg	2,54	IV	100	0,125
Winterweizen (Ganzpflanzensilage)	ökologisch	kg	0,38	IV	100	0,125
Zuckerrübe	ökologisch	kg	0,2	V	100	0,25
Grünland	unspezifisch	kg	1,74	IV	100	0,125
Grünland, Wiesen	unspezifisch	kg	1,58	IV	100	0,125
Grünland, Weiden	unspezifisch	kg	1,73	IV	100	0,125
Grünland	extensiv	kg	2	III	100	0,0625
Grünland Ökolandbau	ökologisch	kg	1,11	IV	100	0,125
Palmölplantage (Indonesien, Malaysia)	unspezifisch	kg (Rohpalmöl)	2,63	V	100	0,25
Mineralische Rohstoffe						
Bausand, Baukies	unspezifisch	kg	0,000196	VI VII	41 59	0,79
Gebrochene Natursteine	unspezifisch	kg	0,000152	VI VII	31 69	0,84

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Kalk- und Dolomitsteine	unspezifisch	kg	0,000152	VI	31	0,84
				VII	69	
Lehm- und Ziegelton	unspezifisch	kg	0,000349	VI	59	0,7
				VII	41	
Gips- und Anhydridstein	unspezifisch	kg	0,000242	VI	50	0,75
				VII	50	
Bims, Trass und Tuffstein	unspezifisch	kg	0,000686	VI	70	0,65
				VII	30	
fossile Rohstoffe						
Braunkohle	unspezifisch	kg	0,00498	VII	100	1
Steinkohle (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	0,00321	VII	100	1
Steinkohle Russland (Tagebau und untertage)	unspezifisch	kg	0,0027	VII	100	1
Steinkohle USA (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,003725	VII	100	1
Steinkohle Kolumbien (Tagebau und untertage)	unspezifisch	kg	0,003725	VII	100	1
Steinkohle Australien (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,003725	VII	100	1
Steinkohle Südafrika (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,003725	VII	100	1
Erdöl (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	0,0000096	VII	100	1
Erdöl Russland (an Land)	unspezifisch	kg	0,0000147	VII	100	1

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Erdöl Nigeria (an Land)	unspezifisch	kg	0,0000147	VII	100	1
Erdgas (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	0,0000069	VII	100	1
Eisenerz (46%)	unspezifisch	kg	0,00012	VII	100	1
Eisenerz (63%)	unspezifisch	kg	0,00119	VII	100	1
Erneuerbare Energien ^{a)}						
Windenergie an Land (Deutschland Mix aus Offenland und Wald)	Bestand (96,2% Offenland im Mittel von 2010-2017 bzw. 93,4% im Jahr 2017)	MWh	0,873 bzw. 0,887	Offenland: VII VI Wald: VII VI V	69 31 25 49 26	0,647 bzw. 0,643
Windenergie Offenland (Deutschland)	Bestand	MWh	0,854	VII VI	31 69	0,653
Windenergie Offenland (Deutschland)	Zugebaute Anlagen	MWh	0,428	VII VI	33 67	0,666
Windenergie Wald (Deutschland)	Bestand	MWh	1,357	VII VI V	25 49 26	0,558
Windenergie Wald (Deutschland)	Zugebaute Anlagen	MWh	0,671	VII VI V	26 48 26	0,568
PV-Freiflächenanlage (Deutschland)	unspezifisch	MWh	22	VII VI V	3 32 65	0,353

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Solarthermiekraftwerk (MENA) ^{b)}	unspezifisch	MWh	11,3	VII VI	6 94	0,53
PV-Freiflächenanlage (MENA) ^{b)}	unspezifisch	MWh	11,5	VII VI	5 95	0,525
Transporte Personenverkehr						
Personenkraftwagen (Pkw)	unspezifisch	Pkm	2,16E-03	VII V	98 2	0,99
Kraftrad	unspezifisch	Pkm	1,55E-03	VII V	99 1	0,99
Kleinkraftrad	unspezifisch	Pkm	4,29E-04	VII V	99,9 0,1	0,999
Linienbus	unspezifisch	Pkm	7,12E-04	VII V	99 1	0,99
Fernlinienbus	unspezifisch	Pkm	1,60E-04	VII V	98 2	0,99
Reisebus	unspezifisch	Pkm	1,78E-04	VII V	98 2	0,99
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	unspezifisch	Pkm	1,22E-03	VII V	70 30	0,78
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)	unspezifisch	Pkm	3,37E-03	VII V	70 30	0,78
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)	unspezifisch	Pkm	1,63E-0	VII V	70 30	0,78

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächenbelegung [m ² · a/ Bezugseinheit]	Hemerobie	Prozentualer Anteil [%]	Aggregierter Charakterisierungsfaktor
Transport Güterverkehr						
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	unspezifisch	tkm	6,40E-04	VII V	97 3	0,98
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	unspezifisch	tkm	2,54E-02	VII V	99 1	0,99
Güterzug	unspezifisch	tkm	1,30E-03	VII V	70 30	0,78

a) Daten für Strom ab Erzeugung, ohne Übertragungsnetz

b) Was den Bereich halbnatürlicher Flächen im Randbereich oder auch im Ausgangszustand der Flächen angeht, besteht hier noch Forschungsbedarf, um den Ansatz zu konsolidieren. Siehe hierzu Kapitel 3.4.6.3

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu basierend auf Berechnungen/Informationen des jeweiligen Datenkapitels

Tabelle 60: Basisdaten für Flächenrucksäcke B) Flächennutzungsänderung

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemerobie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemerobie der umgewandelten Fläche
Holz					
Holz, unspezifisch	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,124
Holz, Buche	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,099
Holz, Eiche	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,124
Holz, sonst. Laubholz, heimische Arten	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,099
Holz, Fichte	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,25 (Mittel) 0,198
Holz, Waldkiefer	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,25 (Mittel) 0,195
Holz, Weißtanne	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,099
Holz, Europ. Lärche	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,125 (Mittel) 0,099
Holz, Douglasie	unspezifisch	m ³	0	trifft nicht zu	0,25 (Mittel) 0,198
Agrarprodukte					
Futtermübe	konventionell	kg	0,0003	0,125	0,25
Kartoffeln	konventionell	kg	0,0006	0,125	0,5
Körnermais	konventionell	kg	0,0028	0,125	0,5
Silomais	konventionell	kg	0,0006	0,125	0,5
Sommerackerbohne	konventionell	kg	0,0069	0,125	0,25

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemerobie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemerobie der umgewandelten Fläche
Sommererbsen	konventionell	kg	0,0078	0,125	0,25
Sommergerste	konventionell	kg	0,0046	0,125	0,25
Sommerhafer	konventionell	kg	0,0061	0,125	0,25
Sommerweizen	konventionell	kg	0,0046	0,125	0,5
Sonnenblume	konventionell	kg	0,0091	0,125	0,25
Wintergerste	konventionell	kg	0,0039	0,125	0,5
Winterraps	konventionell	kg	0,0077	0,125	0,25
Winterroggen	konventionell	kg	0,0046	0,125	0,25
Winterroggen (Ganzpflanzensilage)	konventionell	kg	0,0007	0,125	0,25
Winterweizen	konventionell	kg	0,0034	0,125	0,5
Winterweizen (Ganzpflanzensilage)	konventionell	kg	0,0007	0,125	0,5
Zuckerrübe	konventionell	kg	0,0005	0,125	0,5
Dinkel mit Spelz	ökologisch	kg	0,0091	0,125	0,125
Futterrübe	ökologisch	kg	0,0006	0,125	0,25
Körnermais	ökologisch	kg	0,0047	0,125	0,25
Silomais	ökologisch	kg	0,0009	0,125	0,25
Sommerackerbohne	ökologisch	kg	0,0078	0,125	0,125
Sommererbsen	ökologisch	kg	0,0091	0,125	0,125
Sommergerste	ökologisch	kg	0,0091	0,125	0,25
Sommerhafer	ökologisch	kg	0,0091	0,125	0,125

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemerobie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemerobie der umgewandelten Fläche
Sommerroggen (Futterroggen)	ökologisch	kg	0,0069	0,125	0,25
Sommerweizen	ökologisch	kg	0,0069	0,125	0,25
Sonnenblume	ökologisch	kg	0,0091	0,125	0,25
Speisekartoffel	ökologisch	kg	0,0011	0,125	0,25
Wintergerste	ökologisch	kg	0,0069	0,125	0,25
Winterraps (Zwischenfrucht)	ökologisch	kg	0,0006	0,125	0,125
Winterroggen	ökologisch	kg	0,0069	0,125	0,125
Winterroggen (Futterroggen)	ökologisch	kg	0,0069	0,125	0,125
Winterweizen	ökologisch	kg	0,001	0,125	0,125
Winterweizen (Ganzpflanzensilage)	ökologisch	kg	0,001	0,125	0,125
Zuckerrübe	ökologisch	kg	0,0005	0,125	0,25
Grünland	unspezifisch	kg	0	trifft nicht zu	0,125
Grünland, Wiesen-schnitt	unspezifisch	kg	0	trifft nicht zu	0,125
Grünland, Weiden	unspezifisch	kg	0	trifft nicht zu	0,125
Grünland	extensiv	kg	0	trifft nicht zu	0,0625
Dauergrünland Öko-landbau	ökologisch	kg	0	trifft nicht zu	0,125
Mineralische Rohstoffe					
Bausand, Baukies	unspezifisch	kg	0,000037	0,318	0,79

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemerobie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemerobie der umgewandelten Fläche
Gebrochene Natursteine	unspezifisch	kg	0,000015	0,318	0,84
Kalk- und Dolomitsteine	unspezifisch	kg	0,000015	0,318	0,84
Lehm- und Ziegelton	unspezifisch	kg	0,000091	0,318	0,7
Gips- und Anhydritstein	unspezifisch	kg	0,000005	0,318	0,75
Bims, Trass und Tuffstein	unspezifisch	kg	0,000221	0,318	0,65
Fossile Rohstoffe					
Braunkohle	unspezifisch	kg	0,000004	0,318	1
Steinkohle (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	0,000009	0,318	1
Steinkohle Russland (Tagebau und untertage)	unspezifisch	kg	0,000008	0,0625 ^{b)}	1
Steinkohle USA (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,000009	0,0625 ^{b)}	1
Steinkohle Kolumbien (Tagebau und untertage)	unspezifisch	kg	0,000097	0,0625 ^{b)}	1
Steinkohle Australien (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,000083	0,0625 ^{b)}	1
Steinkohle Südafrika (Tagebau)	unspezifisch	kg	0,000094	0,0625 ^{b)}	1
Erdöl (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	k. A. ^{a)}		1
Erdöl Russland (an Land)	unspezifisch	kg	k. A. ^{a)}		1
Erdöl Nigeria (an Land)	unspezifisch	kg	k. A. ^{a)}		1
Erdgas (Mix Einsatz in Deutschland)	unspezifisch	kg	k. A. ^{a)}		1

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemero-bie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemero-bie der umgewandelten Fläche
Eisenerz (46%)	unspezifisch	kg	0,0000021	0,0625 ^{b)}	1
Eisenerz (63%)	unspezifisch	kg	0,000031	0,0625 ^{b)}	1
Erneuerbare Energien					
Windenergie an Land (Deutschland Mix aus Offenland und Wald) = Summe aus Flächennutzungsänderung im Offenland und Wald	Zuwachs im Mittel von 2010–2017 bezogen auf Bestand im Mittel von 2010–2017 (96,2% Offenland, 3,8% Wald)	MWh	Offenland:	0,315	0,666
			0,0375		
			Wald:	0,132	0,568
			0,0112		
Windenergie Offenland (Deutschland)	Zuwachs im Mittel von 2010–2017 im Offenland bezogen auf Bestand im Mittel von 2010–2017 im Offenland (Anteil 96,2%)	MWh	0,0390	0,315	0,666
Windenergie Wald (Deutschland)	Zuwachs im Mittel von 2010–2017 im Wald bezogen auf Bestand im Mittel von 2010–2017 im Wald (Anteil 3,8%)	MWh	0,2957	0,132	0,568
PV-Freiflächenanlage (Deutschland)	unspezifisch	MWh	2,4	0,247	0,353
Solarthermie-kraftwerk (MENA)	unspezifisch	MWh	1,4 ³²⁾	0,03125	0,53

³² Die Flächennutzungsänderung in der MENA-Region ist geprägt durch ein stark dynamisches Wachstum, und die ermittelten Werte sind daher nur bedingt aussagekräftig.

Ausgangsstoff	Bewirtschaftungsart/Anmerkungen	Bezugseinheit	Flächennutzungsänderung [m ² / Bezugseinheit]	Aggregierter CF für die Hemerobie der Ausgangsfläche	Aggregierter CF für die Hemerobie der umgewandelten Fläche
Transporte Personenverkehr					
Personenkraftwagen (Pkw)	unspezifisch	Pkm	5,10E-06	0,318	0,99
Kraftrad	unspezifisch	Pkm	3,65E-06	0,318	0,99
Kleinkraftrad	unspezifisch	Pkm	1,01E-06	0,318	0,999
Linienbus	unspezifisch	Pkm	1,68E-06	0,318	0,99
Fernlinienbus	unspezifisch	Pkm	3,78E-07	0,318	0,99
Reisebus	unspezifisch	Pkm	4,20E-07	0,318	0,99
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	unspezifisch	Pkm	6,71E-07	0,318	0,78
Schienenpersonennahverkehr (Eisenbahn)	unspezifisch	Pkm	1,86E-06	0,318	0,78
Schienenpersonenfernverkehr (Eisenbahn)	unspezifisch	Pkm	8,96E-07	0,318	0,78
Transport Güterverkehr					
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	unspezifisch	tkm	1,51E-06	0,318	0,98
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	unspezifisch	tkm	5,99E-05	0,318	0,99
Güterzug	unspezifisch	tkm	7,17E-07	0,318	0,78

- a) Die einschlägigen Datenquellen liefern hierzu keinerlei Angaben. Auch wenn in den entsprechenden Förderregionen von Erdöl und Erdgas eine Ausweitung wahrscheinlich ist, sind aufgrund der geringen spezifischen Flächenbelegungsfaktoren die spezifischen Flächennutzungsänderungen als niedrig anzunehmen; in den Fallbeispielen sind sie daher mit Null angesetzt.
- b) Für Steinkohle und Eisenerzabbau in Importländern wird die Umwandlung einer vergleichsweise naturnahen Fläche unterstellt. Mit der Annahme der Hemerobiekategorie III (CF von 0,0625) wird gegenüber dem Zustand der Nutzung (Kategorie VII, CF 1) eine ausreichend hohe Differenz geschaffen, die sich im Falle einer Unterschätzung (sei es Kategorie II oder I) nicht mehr wesentlich vergrößert.

Quelle: Eigene Tabelle 2021, ifeu basierend auf Berechnungen/Informationen des jeweiligen Datenkapitels

5 Daten zur Normierung

Wie im Methodenbericht (Teilbericht I, siehe Kapitel 2.2.4 und 5.5) beschrieben, stellt die sogenannte Normierung nach ISO 14044 einen optionalen Bestandteil der Wirkungsabschätzung dar. Sie dient zur Einschätzung der relativen Signifikanz der Indikatorergebnisse (Schmitz / Paulini, 1999) und ist daher ein wesentlicher Schritt zur Unterstützung der Auswertung bzw. Interpretation von Ökobilanzergebnissen.

Wie in Kapitel 5.5 des Teilberichts I beschrieben, ist es üblich, Normierungsfaktoren als „Pro-Kopf-Last“ auszudrücken, d. h. die Gesamtlast (z. B. Treibhausemissionen, Eutrophierung oder eben auch die Flächenbelegung) eines Bezugsraums (z. B. Deutschland, die EU27 oder die Welt) wird durch dessen Bevölkerungszahl geteilt. Die Pro-Kopf-Lasten werden auch als Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) bezeichnet, mit denen die unterschiedlichen Wirkungskategorien in einer einheitlichen Größe normiert werden können.

Das Joint Research Center (JRC) bietet Normierungsfaktoren bzw. EDW für eine Vielzahl an Wirkungskategorien auf globaler Ebene an (Sala et al., 2017b). Jedoch enthalten diese weder Faktoren für Flächenbelegung, noch für Flächennutzungsänderung. Daher werden im Rahmen dieses Vorhabens entsprechenden Faktoren ermittelt.

5.1 Normierung der temporären Flächenbelegung

In Tabelle 61 sind die Basisdaten für die Normierung von temporärer Flächenbelegung für Deutschland zusammengestellt. Für die Anteile der einzelnen Landnutzungskategorien werden die seitens des Umweltbundesamts an das UNFCCC übermittelten Daten für den Sektor LULUCF³³ zugrunde gelegt. Für die einzelnen Landnutzungskategorien sind die entsprechenden Hemerobielen bzw. Klassenanteile nach den Ermittlungen in diesem Vorhaben zugeordnet. Mit den sich daraus ergebenden Charakterisierungsfaktoren wird für die Gesamtbelegung daraus das Gesamt-Naturfernepotenzial für Deutschland in Hektar aF-Äq. errechnet.

Tabelle 61: Basisdaten für die Normierung von temporärer Flächenbelegung für Deutschland

Landnutzungskategorien	Belegung in [1000 ha]	Hemerobielenklasse	Charakterisierungsfaktor	Belegung charakterisiert [1000 ha aF-Äq.]
Wald / Forst	10.997	II: 6,7%; III 10,9%; IV 66,5%; V 15,9%	0,132	1.449
Ackerland	12.657	IV 3,6%; V 64%; VI 32%	0,325	4.107
Grünland	6.772	IV 100 %;	0,125	847
Feuchtgebiete	738	IV 100 %	0,125	92
Siedlungsflächen	4.590	V: 50%; VII: 50%	0,625	2.869
Sonstige Flächen	37	V: 50%; VII: 50%	0,625	23
Summe	35.790			9.387

Quelle: (United Nations, 2020), Berechnungen ifeu auf der Basis der Daten in diesem Bericht

³³ LULUCF: Land use, land-use change and forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)

Teilt man die Summen in Tabelle 61 durch die Einwohnerzahl von 83,1 Mio. (Eurostat, 2021b), erhält man die entsprechenden EDW:

- ▶ Temporäre Flächenbelegung, nicht charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 4.312 \text{ m}^2 \cdot 1a$
- ▶ Temporäre Flächenbelegung, charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 1.131 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.} \cdot 1a$

5.2 Normierung der Flächennutzungsänderung

In Tabelle 62 sind die Basisdaten für die Normierung von Flächennutzungsänderung für Deutschland zusammengestellt. Auch hier werden die seitens des Umweltbundesamts an das UNFCCC übermittelten Daten für den Sektor LULUCF – in diesem Fall, die Daten für die Landnutzungsänderung – zugrunde gelegt. Hier stellt sich die Normierung etwas komplexer dar, da die Referenzgröße die Differenz zwischen vorher und nachher abbildet. Diese Differenz stellt für den **nicht charakterisierten** Fall die Netto-Änderung gleichen Vorzeichens dar. In Tabelle 62 ist das der Summenbetrag von 42.190 Hektar pro Jahr. Teilt man diesen Wert durch die Einwohnerzahl von 83 Mio. (Eurostat, 2021b), erhält man den entsprechenden EDW:

- ▶ Flächennutzungsänderung, nicht charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 5,08 \text{ m}^2$

Es sei hier angemerkt, dass der nicht charakterisierte Fall der Flächennutzungsänderung hier nur informativ dargestellt wird, da er für die Auswertung der Ökobilanz keine Rolle spielen sollte.

Für den **charakterisierten** Fall werden die Daten zur Flächennutzungsänderung jeweils in Form der Nettoänderungen je Flächennutzungsart aufgeführt und den entsprechenden Hemerobieklassen und daraus abgeleitet den Charakterisierungsfaktoren zugeordnet, woraus sich die für die Gesamtbelegung in Hektar aF-Äq. umgerechnet ergeben.

Tabelle 62: Basisdaten für die Normierung von Flächennutzungsänderung für Deutschland

	Nettozunahme [ha /a]	Nettoabnahme [ha /a]	Charakteri- sierungsfak- tor	Nettozunahme [ha aF.-Äq. /a]	Nettoabnahme [ha aF.-Äq. /a]
Wald / Forst	10.850		0,132	1.430	
Ackerland		-33.330	0,325		-10.820
Grünland		-8.230	0,125		-1.030
Feuchtgebiete	2.980		0,125	370	
Siedlungsflächen	28.360		1	28.360	
Andere Flächen		-630	1		-160
Summe	42.190	-42.190		30.200	-12.000
Änderung				18.200	

Quelle: (United Nations, 2020) ; Berechnungen ifeu auf der Basis der Daten in diesem Bericht

Teilt man die Differenz der charakterisierten Summen zu Nettoab- und -zunahme in Tabelle 62 (das sind 18.200 ha aF-Äq. /a) durch die Einwohnerzahl von 83,1 Mio. (Eurostat, 2021b), erhält man den entsprechenden EDW:

- ▶ Flächennutzungsänderung, charakterisiert: $1 \text{ EDW} = 2,2 \text{ m}^2 \text{ aF-Äq.}$

6 Fortschreibung und Einbettung in Datenbanken

6.1 Vorgehenskonzept

Mit der Erstellung der vorliegenden Arbeit und insbesondere diesem Teilbericht wurde eine erste Ausgangsbasis für eine umfassende Datengrundlage geschaffen, um

- ▶ temporäre Flächenbelegung,
- ▶ Flächennutzungsänderung (auf der Basis eines attributiven Ansatzes) und
- ▶ ein Qualitätsmaß für die Flächen (Hemerobie)

in einem insgesamt konsistenten Ansatz zu verbinden.

In diesem Bericht wurden die einzelnen Datenquellen zu diesen Informationen differenziert dargestellt. Dadurch wird nicht nur Transparenz, sondern auch die Möglichkeit der regelmäßigen Fortschreibung sichergestellt.

6.1.1 Vorgeschlagene Vorgehensweise zu Datenpflege und -aktualisierung

Die Vorgehensweise sollte diesem Prioritätenmuster folgen:

1. Produkte (bzw. deren Rohstoffe oder Produktionsprozesse), die in **besonderem Maße flächenrelevant** sind:

Konkret betrifft dies insbesondere Produkte aus agrarischer und forstlicher Flächennutzung. Für diese bedarf es einer möglichst hohen Differenzierung und Granularität. Hier muss die Datengrundlage in besonderem Maße robust und repräsentativ sein.

Daher sind **amtliche Quellen** (Agrarstatistiken, Inventare) als Grundlage für die temporäre Flächenbelegung und die Flächennutzungsänderung zu bevorzugen.

Eine Aktualisierung der Daten kann mit vergleichsweise überschaubarem Aufwand durchgeführt werden, da Fortschreibungen von vielen amtlichen Statistiken (Agrarstatistiken, NIR) jährlich erstellt werden.

Die Bundeswaldinventur weist längere Zyklen auf, hier sind aber auch nur langfristige Änderungen in den Zahlen zu erwarten.

Daten zur Hemerobie bedürfen ebenfalls lediglich einer Überprüfung in längeren Perioden.

Hier wird vorgeschlagen, die Daten

- a. zur temporären Flächenbelegung und zur Flächennutzungsänderung im Fünfjahres-Zyklus zu aktualisieren.
- b. zur Hemerobie nach fünf bis zehn Jahren einer groben Revision zu unterziehen und in notwendigen Fällen anzupassen.

2. Produkte und Dienstleistungen, die einer **sehr dynamischen Entwicklung** unterliegen:

Hierunter fallen auch solche, die nicht mit Anbaubiomasse einhergehen, sondern z. B. Anlagen zur **Erzeugung erneuerbaren Stroms** (WEA, PV-FFA) sind, da sich durch die Steigerung der Effizienz auch die spezifische Flächenrelevanz in raschem Tempo verändert. Die Aktualität der Daten sollte ebenfalls in kürzeren Zyklen überprüft werden. Die Überarbeitung sollte hier wie unter Punkt 1 empfohlen erfolgen.

3. Für Produkte, deren **Flächenrelevanz deutlich hinter der von Anbaubiomasse** steht, und die keine besondere (flächenbezogene) Dynamik in der Entwicklung ihrer Produktionsprozesse aufweisen:

Für diese Produkt- bzw. Prozessgruppen können grundsätzlich längere Aktualisierungszyklen angesetzt werden.

Vielfach bilden etablierte Ökobilanzdatenbanksysteme die Datenquellen zu temporärer Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung. Empfohlen wurden vielfach Daten aus ecoinvent zur Vervollständigung der Gesamtdatengrundlage. Diese Datenbanken bzw. deren Datensätze werden ebenfalls in gewissen Zyklen aktualisiert. Hier empfiehlt es sich in Abständen von fünf bis zehn Jahren zu überprüfen, ob hier neue Datensätze eingestellt wurden.

Bezüglich der Hemerobie ist nicht davon ausgehen, dass sich die Einschätzungen ändern werden.

6.1.2 Einschätzung des Aufwands der Datenpflege und -aktualisierung

Die Daten, wie sie in Tabelle 59 und Tabelle 60 zusammengestellt sind, stammen, wo immer möglich, aus amtlichen Quellen. Für eine Fortschreibung der Datensätze wäre der Idealfall, eine direkte Verknüpfung zwischen den Datenquellen und den Tabellen für den Flächenrucksack herzustellen. Dies wird jedoch in vielen Fällen, in denen die Datensätze komplex zusammengesetzt sind und jeweils eine eigenständige Analyse der Sachzusammenhänge erfordern, nicht so einfach realisierbar sein.

Unter Berücksichtigung der oben vorgeschlagenen Vorgehensweise lässt sich der Aufwand der Datenpflege und -aktualisierung wie folgt einschätzen:

► Holzprodukte:

- Prüfung der Daten zu temporärer Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung für Produkte aus Forstbiomasse.

Die Erstellung der Daten der 4. Bundeswaldinventur (BWI) soll nach (BMEL, 2021) bis Ende 2022 abgeschlossen sein. Die Anpassung der Daten kann daher ungefähr ab dem Jahr 2026 erfolgen.

Der Aufwand ist aufgrund der hohen Differenzierung der BWI-Daten vergleichsweise gering und wird auf eine Woche bis wenige Wochen geschätzt.

- Die Auswertung der BWI-4-Daten zur Bestimmung der Hemerobie wird vermutlich etwas aufwendiger.

Abgeschätzt werden ein Monat bis maximal zwei Monate.

► Agrarprodukte:

- Zur temporären Flächenbelegung stehen die amtlichen Statistiken des BMEL (Ernteträger) und Destatis sowie Eurostat für den europäischen Raum zur Verfügung.

Dies gilt für die Flächennutzungsänderung mit den Nationalen Inventarberichten (NIR) gleichermaßen.

Die Aktualisierung (im fünfjährigen Zyklus) wird auf einen Monat bis maximal zwei Monate geschätzt.

- Zur Hemerobie der Agrarflächen spezifisch für unterschiedliche Anbauprodukte bedarf es einer aktualisierten Fachliteraturrecherche, wobei die Mehrzahl der Quellen bereits in Kapitel 3.4.2 und 0 ausgewiesen ist.
Auch hier wird für die Aktualisierung (im fünfjährigen Zyklus) ein Aufwand von zwei Monaten geschätzt.
- ▶ Anlagen zur Erzeugung erneuerbaren Stroms (WEA, PV-FFA):
 - Zur temporären Flächenbelegung ist eine Fachliteraturrecherche erforderlich, für die Flächennutzungsänderung eine Überprüfung der Ausbaustatistiken. Beide Datenbereiche lassen sich gut verfügbar machen. Die Aktualisierung (im fünfjährigen Zyklus) wird auf einen Monat geschätzt.
 - Daten zur Hemerobie ergeben sich im Wesentlichen aus den Arbeiten zu Agrarflächen und erfordern keinen Zusatzaufwand.
 - Bei über andere Datenbanken (v. a. (ecoinvent, 2020)) abgedeckte Produkte spielen zwei Faktoren die entscheidende Rolle:
 1. Die im Rahmen dieses Projekts zusammengestellten Daten verstehen sich nur exemplarisch. Eine vollständige Bestückung aller Datensätze einer „kompletten“ Datenbank würde einen durchaus größeren Aufwand bedeuten. Dafür würde es einen Datenimport erfordern. Grob eingeschätzt wären hierfür bis zu zwei Monate erforderlich, wobei dies zweckmäßigerweise in Kombination mit dem Aufbau bzw. dem Neuaufbau der entsprechenden Referenzdatenbank (ProBas 2.0 (Umweltbundesamt, 2015)) erfolgen könnte und somit der Aufwand durch Synergismen reduziert würde.
 2. Diese Datenbankübertragung wäre bis auf Weiteres nur einmalig erforderlich, da davon ausgegangen wird, dass die entsprechenden Basisdaten bezüglich Fläche keiner großen Dynamik unterliegen und der Update-Bedarf eher gering eingeschätzt wird, sobald die Datenbank einmal komplettiert ist.

Die Datenpflege und -aktualisierung selbst sollte angesichts der umfassend dargestellten Quellen und Beschreibung der Datenentwicklung einfach auf Fachkräfte mit Kenntnis im Umgang mit derartigen Daten und der Materie der Flächennutzung übertragbar sein. Dies könnten beispielsweise Expertinnen und Experten des Umweltbundesamts aus den jeweiligen Fachgebieten sein. Für Teilbereiche, für die sich dies nicht als zweckmäßig erweisen sollte, könnten solche Lücken durch ein Sachverständigengutachten gefüllt werden.

6.1.3 Geeignete Datenbanksysteme für die Einbettung der Daten des Flächenrucksacks

Derzeit wird die UBA-eigene Datenbank ProBas zu einer nationalen Referenzdatenbank fortentwickelt. Hierfür dient das Forschungsvorhaben „Fortentwicklung von ProBas zu einer nationalen Datenbank zur Bewertung von Ressourcen“ (FKZ: 3717 35 304 0). Dieses folgt den Grundgedanken, für Ökobilanzen sicherzustellen, dass ProBas 2.0:

- ▶ Schlüsselprozesse (Energiebereitstellung, Transport, Entsorgung) für Deutschland enthält, die qualitätsgesichert und abgestimmt sind und als verbindliche Informationsquelle für geeignete Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Solche Referenzdaten sollten den Informationsbestand des Umweltbundesamtes nutzen und mit diesem konsistent sein.

- ▶ als Bibliothek aller Prozessdaten, die in aktuellen Arbeiten für öffentliche Auftraggeber in Deutschland erzeugt werden, dient.
- ▶ die bisherige Fokussierung auf Emissionen im Bereich Ressourcen ausweitet und detailliertere Informationen zu Rohstoffcharakteristika, Wassernutzung und Flächennutzung ausweist.

Zu allen drei Punkten können die Daten des vorliegenden Projekts unmittelbar beitragen.

Nach dem laufenden UBA-Projekt zur Fortentwicklung von ProBas zu ProBas 2.0 soll der Datenimport in der Weise ermöglicht werden, sodass von LCA-Softwaretools oder einfach auch Excel-Templates Daten direkt in das System einspeist werden können.

6.2 Datenlücken

Das vorliegende Projekt hat eine umfassende Grundlage für eine konsistente Datenbank zu Flächendaten für Güter und Dienstleistungen erstellt. Es lag nicht im Umfang der Aufgabenstellung, eine vollständige Datengrundlage für jegliche Prozesse zu erstellen. Vielmehr können die hier entwickelten Datensätze zu temporärer Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung sowie Hemerobie als Ausgangsbasis für eine solche Gesamtdatenbank dienen.

Folgende Lücken gilt es noch zu füllen:

▶ Agrarbereich:

- Es sind Daten hinterlegt für die Hauptfeldfruchtarten; die Gesamtheit an Feldfruchtarten, inklusive der Sonderkulturen wie beispielsweise KUP, ist nicht hinterlegt, kann aber in vielen Fällen ergänzt werden.
- Die Datensätze beziehen sich vorwiegend auf den deutschen Raum; Daten zu Agrarprodukten aus dem globalen Kontext lassen sich:
 1. bzgl. temporärer Flächenbelegung gut anhand von Ertragsdaten (z. B. (FAOSTAT, 2019)) ergänzen.
 2. bzgl. Flächennutzungsänderung anhand der nationalen Emissionsinventarberichte (NIR), ergänzt durch Daten der FAO (ebenfalls (FAOSTAT, 2019)), für nicht berichtspflichtige Länder verwenden.

Der Satz an Kriterien und Messgrößen für Landwirtschaft erfordert eine Überprüfung auf Übertragbarkeit bzw. Anpassung an andere Regionen der Welt;

Es ist dabei von Vorteil, dass die Eingriffsintensität durch den Menschen (Hemerobie), ein vom Prinzip her globales Maß darstellt und unabhängig von der geografischen Lage gilt.

- Es sind daher noch generische Datensätze für Agrarprodukte von außerhalb des mitteleuropäischen Raumes zu definieren.

▶ Forstbereich:

Hier gilt Ähnliches wie für die Datensituation für Agrarprodukte:

- Die generischen Daten für spezifische Holzsortimente wären zu erweitern.
- Die generischen Daten für Holz aus anderen Regionen der Welt sind zu definieren.

- Der Ansatz zum WZI erfordert eine Überprüfung auf Übertragbarkeit an andere Regionen der Welt.
- ▶ Datenlücken aufgrund noch bestehender methodischer Lücken (Siehe hierzu auch Teilbericht I Kapitel 6):
 - Bisher gibt es keinen Ansatz, wie temporäre Flächenbelegung und Hemerobie auf Wasserflächen (Binnengewässer wie Meer) anzuwenden ist. Dies ist jedoch relevant für z. B.:
 1. Strom aus Wasserkraft (Stauseen, Talsperren, Speicherseen)
 2. Strom aus Offshore-Windenergieanlagen
 3. Fischerei und AquakulturenAnsatzmöglichkeiten bestehen hier bereits, insbesondere für Wasserlaufkraftwerke (Thrän et al., 2020). Es bedarf noch einer konzeptionellen Einbindung in den Ansatz zur temporärer Flächenbelegung sowie Hemerobie.
 - Es stellt sich die Frage, ob analog zur Flächenwirkung auch Raumwirkung als Komponente in den Flächenrucksack integriert werden kann. Diese Frage stellt sich:
 1. Für Wasserkörper, die im vorangehenden Punkt zunächst nur mit dem Aspekt der Wasserfläche adressiert werden; die Dreidimensionalität kann aber gerade bei der Bewertung von Fischerei von größerer Bedeutung sein als die Gewässerfläche.
 2. Für Veränderungen von unterirdischem Raum, wie z. B. Fracking von Schiefergas oder Tiefengeothermie.
 3. Für oberirdische Raumwirkungen durch Windenergieanlagen an Land wie auf See.

7 Quellenverzeichnis

- AFDB (2014): Ouarzazate Solar Complex Project - Phase II. *Project appraisal report*, African Development Bank (AFDB); ONEC. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/MOROCCO-AR_-_Ouarzazate_Solar_Complex_Project_Phase_II_-_12_2014.pdf (abgerufen am 12.11.2020).
- AFEG (2018): Wind - D - Daten und Fakten zur Entwicklung Erneuerbarer Energien in einzelnen Bundesländern - Föderal Erneuerbar Bundesländer mit neuer Energie. <https://www.federal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/wind> (abgerufen am 30.12.2020).
- AGEE-Stat (2020): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 1990-2019. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Allekotte, M.; Bergk, F.; Biemann, K.; Deregowski, C.; Knörr, W.; Althaus, H.-J.; Sutter, D. (2020): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Texte ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Amprion (2020): Trassenpflege: Biotop entlang der Leitungen. In: *Trassenpflege*. <https://www.amprion.net/Mensch-und-Umwelt/Biotopmanagement/Trassenpflege/> (abgerufen am 23.12.2020).
- Andruleit, H.; Elsner, H.; Homberg-Heumann, D.; Huy, D.; Meßner, J.; Pein, M.; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Szurlies, M.; Wehenpohl, B.; Wilken, H. (2017): Deutschland – Rohstoffsituation 2016. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- AusLCI (2011): The Australian Life Cycle Inventory Database Initiative (AusLCI). <http://www.auslci.com.au/index.php/Datasets> (abgerufen am 05.05.2021).
- de Baan, L.; Alkemade, R.; Koellner, T. (2013): Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 18, No.6, pp. 1216–1230.
- BAFA (2016): RohölinfO Oktober 2016 (Rohölimporte). *Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)*, https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Rohoel/2016_10_rohloelinfo.html (abgerufen am 18.05.2021).
- Becker, N.; Emde, F.; Jessel, B.; Kärcher, A.; Schuster, B.; Seifert, C. (2014): BfN Grünland-Report: Alles im Grünen Bereich? Bundesamt für Naturschutz, Bonn. S. 34. https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- BfN (2018): Anteil der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert (HNVF-Anteil) an der Agrarlandschaftsfläche Deutschlands in den Jahren 2009 bis 2017 in Prozent. *Bundesamt für Naturschutz (BfN)*, https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/monitoring/Dokumente/HNV_Farmland_Bundeswerte_Stand_2017_10_2018.xlsx_1.pdf (abgerufen am 07.04.2021).
- BMEL (2016): Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin. https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/BMEL_BWI_Bericht_Ergebnisse_2012_RZ02_web-4.pdf (abgerufen am 20.12.2020).
- BMEL (2020): Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) 2019. Reihe: Daten-Analysen Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin. S. 35. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/EQB-1002000-2019.pdf> (abgerufen am 30.12.2020).
- BMEL (2021): Vierte Bundeswaldinventur wirft ihre Schatten voraus – kein Aprilscherz. *Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)*, <https://www.bundeswaldinventur.de/> (abgerufen am 06.04.2021).

- BMI (2021): ÖKOBAUDAT: Datensätze für Bauprodukte. *Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI)*, <https://www.oekobaudat.de/> (abgerufen am 03.05.2021).
- BMJV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV)*, https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/anlage_4.html (abgerufen am 20.04.2020).
- BMJV (2021): EEG 2017: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien.
- BMVI (Ed.) (2015): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. In: *BMVI-Online-Publikation*. Vol. 08/2015.
- BMWi (2020a): Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin. S. 88. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 29.12.2020).
- BMWi (2020b): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20 (abgerufen am 15.12.2020).
- BNetzA (2016): Bericht über die Flächeninanspruchnahme für Freiflächenanlagen nach § 36 Freiflächenausschreibungsverordnung (FFAV). Stand: Dezember 2016. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn. S. 19. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/PV-Freiflaechenanlagen/Bericht_Flaecheninanspruchnahme_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 30.12.2020).
- Bofinger, S.; Callies, D.; Scheibe, M.; Saint-Drenan, Y.-M.; Rohrig, K. (2012): Potenzial der Windenergienutzung an Land. Studie in Auftrag des Bundesverband WindEnergie (BWE). Bundesverband WindEnergie e.V., Berlin. S. 24. https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/03-naturschutz/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Brandão, M.; Milà i Canals, L. (2013): Global characterisation factors to assess land use impacts on biotic production. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 18, No.6, pp. 1243–1252.
- Briemle, G.; Eckert, G.; Nussbaum, H. (1999): Wiesen und Weiden. In: KONOLD / BÖCKER / HAMPICKE: *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege*. Ecomed-Verlag, Landsberg.
- Bryden, J.; Riahi, L.; Zissler, R. (2013): MENA Renewables Status Report. Abu Dhabi International Renewable Energy Conference (ADIREC), Abu Dhabi. S. 21. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/MENA_2013_lowres.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Buja, H. O. (2013): Ingenieurhandbuch Bergbautechnik: Lagerstätten und Gewinnungstechnik. Beuth Verlag.
- Bundesnetzagentur (2021): Zu- und Rückbau konventioneller Kraftwerke. *Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen*, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerkliste/Veroeff_ZuUndRueckbau_2021_1.xlsx?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 18.05.2021).
- Chaudhary, A.; Brooks, T. M. (2018a): Land Use Intensity-Specific Global Characterization Factors to Assess Product Biodiversity Footprints. In: *Environmental Science and Technology*. Vol. 52, No.9, p. 5094–5104.

- Chaudhary, A.; Brooks, T. M. (2018b): Land Use Intensity-Specific Global Characterization Factors to Assess Product Biodiversity Footprints. In: *Environmental Science and Technology*. Vol. 52, No.9, p. 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. In: *Environmental Science & Technology*. Vol. 50, No.6, pp. 2782–2795.
- Dedek, M.; Wesche, K. (2017): Die Segetalflora der Oberlausitz im Wandel – heutige Situation im Vergleich zu historischen Daten von Max Militzer. In: *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz*. Vol. 25, pp. 83–106.
- Destatis (2018): Land- und Forstwirtschaft. In: *Statistisches Jahrbuch Deutschland und Internationales*. Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. S. 34.
- Destatis (2019a): Dauergrünland nach Art der Nutzung im Zeitvergleich. In: *Feldfrüchte und Grünland*. Statistisches Bundesamt (Destatis), <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/zeitreihe-dauergruenland-nach-nutzung.html> (abgerufen am 29.12.2020).
- Destatis (2019b): Land- und Forstwirtschaft. In: *Statistisches Jahrbuch 2019*. Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden.
- Destatis (2019c): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/bodenflaechennutzung-2030510187004.pdf;jsessionid=A83C90309FDF716B2E1FCEEF49DF0A7E.live732?_blob=publicationFile (abgerufen am 24.03.2020).
- Destatis (2019d): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Wachstum und Ernte - Feldfrüchte -. Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. S. 71. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Publikationen/Downloads-Feldfruechte/feldfruechte-august-september-2030321192094.pdf?_blob=publicationFile (abgerufen am 30.12.2020).
- Destatis (2020a): Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich. *Statistisches Bundesamt (Destatis)*, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.html> (abgerufen am 30.12.2020).
- Destatis (2020b): Ackerland nach Hauptnutzungsarten und Kulturarten. In: *Feldfrüchte und Grünland*. Statistisches Bundesamt (Destatis), <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/ackerland-hauptnutzungsarten-kulturarten.html> (abgerufen am 15.12.2020).
- Destatis (2020c): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. In: *Flächennutzung*. Statistisches Bundesamt (Destatis), <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaechen-insgesamt.html> (abgerufen am 30.12.2020).
- Destatis (2020d): Landwirtschaftliche Bodennutzung, Anbau auf dem Ackerland. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Publikationen/Bodennutzung/anbau-ackerland-vorbericht-2030312208004.pdf?_blob=publicationFile (abgerufen am 20.12.2020).

- Destatis (2021a): Feldfrüchte und Grünland. In: *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Statistisches Bundesamt (Destatis)*, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/_inhalt.html#sprg238402 (abgerufen am 23.12.2020).
- Destatis (2021b): Ökologischer Landbau in Deutschland: Ackerland und Dauergrünland. In: *Feldfrüchte und Grünland. Statistisches Bundesamt (Destatis)*, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/oekologisches-dauergruen-ackerland.html> (abgerufen am 15.12.2020).
- Deutsche Windguard (2019): Veröffentlichungen. <https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html> (abgerufen am 15.12.2020).
- Deutscher Bundestag (2018): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Dr. Gesine Löttsch, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 19/1037 – Greening in der Agrarförderung im Jahr 2017.
- DLR (2005): MED-CSP Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region. Final Report. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Stuttgart. S. 285. https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/MED-CSP_complete_study.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- DLR (2007): AQUA-CSP Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. Final Report. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Stuttgart. S. 279. <https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/aqua-csp/AQUA-CSP-Full-Report-Final.pdf> (abgerufen am 30.12.2020).
- DVL (2017): Natura 2000 und landwirtschaftliche Betriebe Fakten und Hintergründe. Deutscher Verband für Landschaftspflege. https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Fachpublikation_Natura_2000_und_landwirtschaftliche_Betriebe.pdf (abgerufen am 23.12.2020).
- EcoConServe (2016): Benban 1.8GW PV Solar Park. Strategic Environmental and Social Assessment. Final Report. Cairo, Egypt. <https://www.eib.org/attachments/registers/65771943.pdf> (abgerufen am 30.12.2020).
- ecoinvent (2020): Ecoinvent3: Ökobilanz-Datenbanken. <https://www.ecoinvent.org/database/database.html> (abgerufen am 15.12.2020).
- Elsässer, M. (2015): Grünlandnutzung in Baden-Württemberg – von MEKA bis FAKT, von extensiv bis intensiv. In: *Tagungsband*. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW), Aulendorf. S. 10.
- Energy Systems Argonne National Laboratory (2020): The Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model (GREET Model). <https://greet.es.anl.gov/> (abgerufen am 30.12.2020).
- Europäische Kommission (2018): European Platform on Life Cycle Assessment: The Life Cycle Data Network (LCDN). <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/> (abgerufen am 30.12.2020).
- Eurostat (2019): LUCAS - Land use and land cover survey - Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey#The_LUCAS_survey (abgerufen am 04.10.2019).
- Eurostat (2021a): Hintergrund - NUTS - Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik. <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/nuts/background> (abgerufen am 07.04.2021).
- Eurostat (2021b): Einwohnerzahl. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/help/first-visit/tgm> (abgerufen am 07.04.2021).

- exiobase (2015): EXIOBASE: a global, detailed Multi-Regional Environmentally Extended Supply-Use Table (MR-SUT) and Input-Output Table (MR-IOT). <https://www.exiobase.eu/> (abgerufen am 30.12.2020).
- FA Wind (2017a): Analyse der Ausbausituation der Windenergie an Land im Herbst 2017. Fachagentur Windenergie an Land, Berlin. S. 23. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Zubauanalyse_Wind-an-Land_Herbst_2017.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- FA Wind (2017b): Entwicklung der Windenergie im Wald - Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Windenergiestandorte auf Waldflächen in den Bundesländern. Fachagentur Windenergie an Land, Berlin. S. 45. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA-Wind_Analyse_Wind_im_Wald_04-2017.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- FA Wind (2017c): Überblick zu den Abstandsempfehlungen in den Bundesländern zur Ausweisung von Windenergiegebieten. Fachagentur Windenergie an Land.
- FA Wind (2020): Entwicklung der Windenergie im Wald – Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Windenergiestandorte auf Waldflächen in den Bundesländern. Fachagentur Windenergie an Land, Berlin. S. 51. https://www.dstgb.de/dstgb/Homepage/Schwerpunkte/Windenergie/Aktuelles/Analyse%20der%20Windenergie%20im%20Wald/FA-Wind_Analyse_Wind_im_Wald_5Auflage_2020.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- FAO (2014): Pilot testing of GBEP sustainability indicators for bioenergy in Indonesia. Environment and natural resources management working paper Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (2020): Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. FAO, Rome, Italy.
- FAOSTAT (2019): Crops. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (abgerufen am 20.04.2021).
- FAOSTAT (2021): Daten. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (abgerufen am 16.11.2020).
- Federal Statistical Office of the Swiss Confederation (2014): Input-Output Tables (IOT): a detailed description of an economy's circular flow of goods and services and therefore constitute an important tool in empirical economic research and structural analyses. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/national-economy/input-output.html> (abgerufen am 05.05.2021).
- 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. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 20, No.11, pp. 1511–1527.
- Fehrenbach, H.; Köppen, S.; Markwardt, S.; Vogt, R. (2016): Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm). TEXTE Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Fehrenbach, H.; Rettenmaier, N.; Reinhardt, G.; Busch, M. (2019): Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Fläche bzw. Naturraum in Ökobilanzen. In: *ifeu Hintergrundpapiere*.
- Frauendorf, J. (2002): Entwicklung und Anwendung von Fernerkundungsmethoden zur Ableitung von Wasserqualitätsparametern verschiedener Restseen des Braunkohlentagebaus in Mitteldeutschland. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät (mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich) der Martin-Luther-Universität, Halle (Saale).
- Giuliano, S.; Puppe, M.; Schenk, H.; Hirsch, T.; Moser, M.; Fichter, T.; Kern, J.; Engelhard, M.; Hurler, S.; Weigand, A.; Brakemeier, D.; Kretschmann, J.; Haller, U.; Klingler, R.; Afanasyeva, S.

- (2016): THERMVOLT - Systemvergleich von solarthermischen und photovoltaischen Kraftwerken für die Versorgungssicherheit.
- Gottwald, F.; Stein-Bachinger, K. (2017): Berichte aus dem Projekt ‚Landwirtschaft für Artenvielfalt‘ - Zwischenergebnisse Segetalflora 2016. WWF Deutschland.
- GreenDelta (2015): Agribalyse Database new to openLCA Nexus. *GreenDelta GmbH*, <https://www.openlca.org/agribalyse-database-new-to-openlca-nexus/> (abgerufen am 15.12.2020).
- GreenDelta (2017): New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS): LCI database. *GreenDelta GmbH*, <https://nexus.openlca.org/database/NEEDS#!> (abgerufen am 13.04.2020).
- GreenDelta (2020): Product Social Impact Life Cycle Assessment database (PSILCA): Understanding social impacts. *GreenDelta GmbH*, <https://psilca.net/> (abgerufen am 15.12.2020).
- Günnewig, D.; Sieben, A.; Püschel, M.; Bohl, J.; Mack, M. (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin. S. 126. https://www.boschpartner.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Erneuerbare_Energien/PV_leitfaden_Bericht.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Haller, L.; Moakes, S.; Niggli, U.; Riedel, J.; Stolze, M.; Thompson, M. (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. FiBL Projekte GmbH, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Umweltbundesamt (UBA), Frankfurt am Main, Frick, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklungsperspektiven-der-oekologischen> (abgerufen am 23.09.2019).
- Hartmann (2019): persönliche Mitteilung durch Dr. Wilfried Hartmann am 24.9.2019. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt.
- Herden, C.; Rasmus, J.; Gharadjedaghi, B. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Im Auftrag des Bundesamts für Naturschutz; Endbericht. BfN Skripten S. 195. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/erneuerbareenergien/Dokumente/skript_247_pv_freiland_apr2009.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- HLNUG (2019): C-Faktor. *Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)*, <https://www.hlnug.de/themen/boden/auswertung/bodenerosionsbewertung/bodenerosionsatlas/c-faktor> (abgerufen am 10.09.2019).
- Hochberg, H.; Peyker, W.; Zopf, D.; Schwabe, M. (2013): Studie zur Erhaltung, Nutzung und Verwertung des Dauergrünlandes in Thüringen bis 2020. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Thüringen.
- Hünig, C.; Benzler, A. (2017): Das Monitoring der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. BfN-Skripten Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- IINAS (2019): GEMIS 4.95-Daten. *Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS)*, <http://iinas.org/gemis-download-121.html> (abgerufen am 15.12.2020).
- IRENA (2019): Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- ISO 14044 (2006): ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006); German and English version EN ISO 14044:2006.
- ISTE (2020): ISTE - Jahresbericht 2019 | 2020. Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V. <https://www.iste.de/service/jahresberichte/> (abgerufen am 15.12.2020).

- IUS Weisser und Ness (1999): Landschaftsplan für das Verbandsgebiet des Nachbarschaftsverbands Heidelberg-Mannheim. Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim, Heidelberg. S. 520. http://www.nachbarschaftsverband.de/landschaft/landschaftsplan/text/la-pla_textteil.pdf (30.12.2020).
- IWR (2021): Solarthermische Kraftwerke (CSP). In: *Branchenportal für die Solarenergie. Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) / IWR.de GmbH*, <https://www.solarbranche.de/branche/csp> (abgerufen am 20.12.2020).
- Jokadar, Z.; Ponte, C. (2012): Ouarzazate Solar Power Complex, Phase 1 Morocco: Specific Environmental and Social Impact Assessment (SESIA) VOLUME 1. *Specific Environmental and Social Impact Assessment*, 5 Capitals. S. 222. [https://www.masen.ma/sites/default/files/documents_rapport/Masen_NOORoL_SESIA_Volume1_aDfethF%20\(1\).pdf](https://www.masen.ma/sites/default/files/documents_rapport/Masen_NOORoL_SESIA_Volume1_aDfethF%20(1).pdf) (abgerufen am 15.12.2020).
- Kelm, T.; Metzger, J.; Jachmann, H.; Günnewig, D.; Püschel, M.; Schicketanz, S.; Kinast, P.; Thylmann, M.; Nazerian, V. (2019): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz - Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie. Zentrum für Sonnenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg und Bosch & Partner GmbH. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Stuttgart / hannover. S. 169. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (abgerufen am 30.12.2020).
- KfW (2021): Photovoltaikkraftwerk Noor IV. *Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)*, <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/ipfz/Projektdatenbank/Photovoltaikkraftwerk-Noor-IV-33475.htm> (abgerufen am 12.11.2020).
- Kienzle, J.; Zimmer, J.; Benduhn, B.; Denzel, C.; Haug, P.; Sattler, I.; Glocker, N.; Rolker, P.; Krämer, L.; Müller, C.; Höfflin, C.; Bentele, J.; Wichmann, T.; Mager, A.; Stülb-Vormbrock, A. (2018): Gesunderhaltung der Kulturpflanzen im Ökologischen Apfelanbau: auf der Basis einer Erhebung von Praxisdaten im Jahr 2016. Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V (foeko), Weinsberg. <https://www.foeko.de/wp-content/uploads/2019/02/2016-GdKiOeA.pdf.pdf> (abgerufen am 23.09.2019).
- Kießling, F.; Nefzger, P.; Kaintzyk, U. (2001): Freileitungen: Planung, Berechnung, Ausführung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kimmig, B.; Köster, M.; Wittenbrink, J.; Werner, W.; Dreher, L.; Bock, H.; Kleinschnitz, M.; Lehner, K.; Eble, T.; Freitag, M.; Severin, M.; Gerlitzki, M.; Kapteinat, R.; Klemt, B.; Lühr, P. (2020): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2019: Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen - Vierter Landesrohstoffbericht -. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg (LGRB), Freiburg im Breisgau. https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c680_data.pdf (abgerufen am 15.12.2020).
- Klessmann, D. C.; Tiedemann, S.; Wigand, F.; Kelm, T.; Winkler, J.; Ragwitz, D. M.; Haufe, M.-C.; Ehrhart, D. K.-M. (2015): Ausschreibungen für PV-Freiflächenanlagen - Auswertung der ersten zwei Runden. Ecofys, ZSW, Fraunhofer ISI. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin. S. 62. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/ausschreibungen-pv-freiflaechanlagen-auswertung-erste-zwei-runden.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 23.12.2020).
- Klöble, U. (2010): Datensammlung "Ökologischer Landbau." Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt. S. 149. https://org-prints.org/18325/1/18325-06OE105-ktbl-kloeble-2010-datensammlung_oekolandbau.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Knappe, F.; Reinhardt, J.; Bergmann, T.; Mottschall, M. (2015): Substitution von Primärrohstoffen im Straßen- und Wegebau durch mineralische Abfälle und Bodenaushub; Stoffströme und Potenziale unter Berücksichtigung von Neu-, Aus- und Rückbau sowie der Instandsetzung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU),

- Berlin. S. 95. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3712_33_324_primaerrohstoffe_strassenbau_bf.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Koellner, T.; de Baan, L.; Beck, T.; Brandão, M.; Civit, B.; Margni, M.; i Canals, L. M.; Saad, R.; de Souza, D. M.; Müller-Wenk, R. (2013): UNEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 18, No.6, pp. 1188–1202.
- Kohlbrecher, C.; Wesche, K.; Hilbig, W.; Leuschner, C.; Meyer, S. (2012): Veränderungen der Segetalvegetation am Kyffhäusergebirge in den letzten 50 Jahren. In: *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen*. Vol. 49, No.1, pp. 1–9.
- Krause, B.; Wesche, K.; Culmsee, H.; Leuschner, C. (2014): Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Grünland seit 1950. In: *Natur und Landschaft*. Vol. 89, No.9, pp. 399–404.
- KTBL (2020): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Die Daten beziehen sich auf die Jahre 2008 bis 2020*, <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html> (abgerufen am 17.11.2020).
- Kuhn, G.; Heinz, S.; Mayer, F. (2011): Grünlandmonitoring Bayern. Ersterhebung der Vegetation 2002 - 2008. In: *LfL Schriftenreihe*. p. 161.
- Küpfer, C. (2016): Empfehlungen zur Bewertung von Eingriffen in Natur und Landschaft in der Bauleitplanung sowie Ermittlung von Art und Umfang von Kompensationsmaßnahmen sowie deren Umsetzung. LUBW, Nürtingen. S. 53. <http://docplayer.org/78353073-Prof-dr-c-kuepfer-stand-mai-2016.html> (30.12.2020).
- LAGB Sachsen-Anhalt (2012): Rohstoffbericht Sachsen-Anhalt 2012. Mineralische und energetische Bodenschätze – Sachstand und neue Nutzungswege. Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle (Saale).
- Liebich, A.; Fröhlich, T.; Münter, D.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Dünnebeil, F.; Knörr, W.; Biemann, K.; Simon, S.; Maier, S.; Albrecht, F.; Pregger, T.; Schillings, C.; Moser, M.; Reißner, R.; Hosseiny, S.; Jungmeier, G.; Beermann, M.; Frieden, D.; Bird, N. (2020): Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien. Abschlussbericht. Texte Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Lindner, J. P.; Eberle, U.; Schmincke, E.; Luick, R.; Niblick, B.; Brethauer, L.; Knüpfner, E.; Beck, T.; Schwendt, P.; Schestak, I.; Arana, D. (2019): Biodiversität in Ökobilanzen. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- LMBV (2009): Publikationen Mitteldeutschland - Historie: Sanierungstagebau Braunkohlereviere. In: *Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH*. https://www.lmbv.de/index.php/Historie_Mideu.html. (11.06.2018).
- LMBV (2015): Publikationen Lausitz- Historie: Sanierungstagebau Braunkohlereviere. In: *Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH*. https://www.lmbv.de/index.php/Historie_Lausitz.html. (11.06.2018).
- LUA (2001): Tagebauseen: Wasserbeschaffenheit und wassergütemwirtschaftliche Sanierung: Konzeptionelle Vorstellungen und erste Erfahrungen. *Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg*, Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Potsdam. https://mluk.brandenburg.de/media_fast/4055/lu_a_bd35.pdf (31.10.2018).
- Lüers, S.; Wallasch, A.-K.; Vogelsang, K. (2017): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland. Studie der Deutschen Windguard im Auftrag des BWE und dem VDMA. Deutsche WindGuard GmbH, Varel. S. 10. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwiljIbNw-HtAhUjJMUKHZ1nBbgQFjADegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.windguard.de%2Fwindenergie-statistik-jahr-2017.html%3Ffile%3Dfiles%2Fcto_layout%2Fimg%2Funternehmen%2Fwindenergiestatistik%2F2017%2FSta-

- tus%2520des%2520Windenergieausbaus%2520an%2520Land%2520in%2520Deutschland%2520C%2520Gesamtjahr%25202017.pdf&usg=AOvVaw0_dahXaVZknEulz-GE-Et5* (abgerufen am 30.12.2020).
- LUNG (2006): Rohstoffsicherung in Mecklenburg-Vorpommern - Bestandsaufnahme und Perspektiven. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern *Schriftenreihe*, LUNG unter Mitarbeit des Bergamtes M-V sowie des Ministeriums für Arbeit, Bau und Landesentwicklung M-V, des Umweltministeriums M-V und des Wirtschaftsministeriums M-V, Güstrow. <http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/rohstoffbericht.pdf> (abgerufen am 02.03.2018).
- Mannah, M.-A.; Makki, L.; Haddad, A.; Bazzi, H.; Hammoud, A. (2016): Renewable Energy Technologies Penetration in MENA Region (2010-2030). In: *J. of Electrical Engineering*. Vol. 4.
- Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S.; Jochem, D.; Zimmermann, K. (2018): Rohstoffmonitoring Holz: Erwartungen und Möglichkeiten. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen.
- Masen (2019): NOOR OUARZAZATE IV. In: *Masen*. <http://www.masen.ma/index.php/en/projects/noor-ouarzazate-iv> (abgerufen am 12.11.2020).
- Mesia (2020): Solar Outlook Report 2020. Middle Eastern Solar Industry Association, Dubai, UAE. S. 35. https://www.mesia.com/wp-content/uploads/2020/01/newMESIA-Annual-Solar-Outlook-Report_2020.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- Meyer, S.; Hoerber, S.; Leuschner, C. (2014): Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Phytodiversität von Ackerflächen: Ergebnisse einer Literaturstudie ; Ergebnisse aus dem F + E-Vorhaben FKZ 3512 86 0300. BfN-Skripten BfN, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Meyer, S.; Wesche, K.; Krause, B.; Brütting, C.; Hensen, I.; Leuschner, C. (2014): Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950. In: *Natur und Landschaft*. Vol. 89, No.9, pp. 392–398.
- Meyer, S.; Wesche, K.; Krause, B.; Leuschner, C. (2013): Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. In: *Diversity and Distributions*. Vol. 19, No.9, pp. 1175–1187.
- ML Niedersachsen (2019): Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung gemäß § 46 Abs. 1 GO LT mit Antwort der Landesregierung. *Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML Niedersachsen)*, Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML Niedersachsen), Hannover. https://www.landtag-niedersachsen.de/Drucksachen/Drucksachen_18_05000/03001-03500/18-03006.pdf (abgerufen am 14.03.2020).
- MLR (n.d.): Biototypen- und Landschaftselemente: Extensivgrünland oder artenreiches Grünland der mäßig trockenen bis mäßig feuchten Standorte. In: *Ländlicher Raum: Infodienst Landwirtschaft und Ernährung*. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR), https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/Lde/3650826_3651464_2304248_2311917#Pflege (abgerufen am 17.05.2021).
- MWVLW (2015): Nachhaltige Rohstoffsicherung in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung, Mainz. https://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/rohstoffe/rohstoffe_allgemein/rostoffbericht-endversion_final_24-09-15.pdf (abgerufen am 02.03.2018).
- OneSoil (2019): Global AI-based precision farming platform (Minsk) (OneSoil). <https://map.onesoil.ai/>. (04.10.2019).
- openLCA (2021): Open source and free software for Sustainability and Life Cycle Assessment. <https://www.openlca.org/> (abgerufen am 17.05.2021).

- Örtl, E. (2019): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Umweltbundesamt.
- PATZER VERLAG GmbH & Co. KG (2014): Bagger verlädt kompletten Berg. *ABZ Allgemeine Bauzeitung - Baunachrichten*, <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/auftrag-fuers-leben-bagger-verlaedt-kompletten-berg-6265.html> (abgerufen am 15.04.2018).
- Patzold, V.; Gruhn, G.; Drebenstedt, C. (2008): Der Nassabbau: Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Bewertung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Pfahl, A.; Coventry, J.; Röger, M.; Wolfertstetter, F.; Vásquez-Arango, J. F.; Gross, F.; Arjomandi, M.; Schwarzbözl, P.; Geiger, M.; Liedke, P. (2017): Progress in heliostat development. In: *Solar Energy*. Vol. 152, pp. 3–37.
- Pfluger, B.; Tersteegen, B.; Franke, B. (2018): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul U.a: Ökologische Evaluierung der Szenarien Referenzszenario, Basisszenario, Szenario Geringerer Ausbau der Übertragungsnetze, Szenario Alternative regionale EE-Verteilung und Restriktionsarmes Szenario. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Karlsruhe / Aachen / Heidelberg. S. 131. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-u-a-oekologische-evaluierung-der-szenarien.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 30.12.2020).
- Poganietz, W.-R.; Schebek, L.; Biemann, K.; Bulach, W. (2012): BioEnergieDat: Providing an up-to-date harmonized data base aiming at the advancement of a sustainable bioenergy strategy. https://www.itas.kit.edu/english/projects_sche10_bioenergiedat.php (abgerufen am 05.05.2021).
- Ponte, C.; Wade, K. (2016): NOORo IV Ouarzazate 70 MW Photovoltaic Power Project Kingdom of Morocco. *Specific Environmental and Social Impact Assessment Vol.1 Non-Technical Summary*, Dubai, UAE. S. 75. https://drive.google.com/file/d/0B1pEeh_Myj-2RnQtM25DT3J2OTg/view?usp=embed_facebook (abgerufen am 12.11.2020).
- Probas (2020): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/web2pdf.php?id=%7B167C34FC-9548-470A-BAE3-B7FF31D9A2A2%7D> (abgerufen am 23.12.2020).
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. p. 180.
- Quantis (2020): World Food LCA Database (WFLDB). <https://quantis-intl.com/metrics/databases/wflldb-food/> (abgerufen am 05.05.2021).
- Radke, S. (2017): Verkehr in Zahlen 2017/18. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.
- Ratzbor, G. (2012): Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland. SCHMAL + RATZBOR. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Lehrte. S. 499. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/61110/Windkraft-Grundlagenanalyse-2012.pdf/656de075-a3d2-4387-aa30-7ec481c46c5c> (abgerufen am 30.12.2020).
- Reichenbach, M.; Brinkmann, R.; Kohnen, A.; Köppel, J.; Menke, K.; Ohlenburg, H.; Reers, H.; Steinborn, H.; Warnke, M. (2015): Bau- und Betriebsmonitoring von Windenergieanlagen im Wald. Abschlussbericht 30.11.2015. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. ARSU GmbH, Oldenburg. S. 371. https://www.arsu.de/sites/default/files/projekte/wiwa_abschlussbericht_2015.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- RELAW GmbH (2019): Was sind benachteiligte Gebiete i.S.d. EEG und wo finde ich eine Übersicht der benachteiligten Gebiete Deutschlands? In: *Häufige Rechtsfrage Nr. 143*. <https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/haeufige-rechtsfrage/143> (abgerufen am 18.05.2021).

- REN21 (2020): Renewables 2020 Global Status Report. REN21 Secretariat, Paris, France. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (abgerufen am 12.11.2020).
- Ristau, O. (2020): Der weltgrößte Solarkomplex in Ouarzazate, Marokko. In: *KfW Stories*. <https://www.kfw.de/stories/umwelt/erneuerbare-energien/solarstrom-aus-der-wueste/> (abgerufen am 12.11.2020).
- Roßberg, D. (2016): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. In: *Journal für Kulturpflanzen* 68(2) 2016. Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. p. 952 KB, 25–37.
- Sala, S.; Crenna, E.; Secchi, M.; Pant, R. (2017a): Global normalisation factors for the environmental footprint and Life Cycle Assessment. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109878/kjna28984enn_global_norm_factors.pdf (abgerufen am 15.12.2020).
- Sala, S.; Crenna, E.; Secchi, M.; Pant, R. (2017b): Global normalisation factors for the environmental footprint and Life Cycle Assessment. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109878/kjna28984enn_global_norm_factors.pdf (abgerufen am 15.12.2020).
- Sauer, S.; Goldschmitt, M.; Pecoroni, D.; Wiesner, T. (2017): Materialien zur Bodenerosion durch Wasser in Rheinland-Pfalz. Themenhefte vorsorgender Bodenschutz Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB), Mainz. https://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/boden/boden_themenheft_vorsorgender/heft2_erosion_gesamt.pdf (abgerufen am 18.09.2019).
- Schlenstedt, J.; Stärke, M.; Brinckmann, A.; Häfker, U.; Steinhuber, U.; Mehlow, D.; Haubold-Rosar, M.; Knoche, D.; Tischew, S.; Rümmler, F. (2009): Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften: Nachhaltige Bergbausanierung. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV), Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB), Hochschule Sachsen-Anhalt, Institut für Binnenfischerei e.V. (IFB), Senftenberg. https://www.lmbv.de/index.php/Publikationen.html?file=files/LMBV/Publikationen/Publikationen%20Zentrale/Publikationen%20Diverse/LMBV_Rekultivierung_2009.pdf.
- Schmitz, F.; Dunger, K.; Hennig, P.; Klatt, S.; Marks, A.; Oehmichen, K.; Rock, J.; Stauber, T. (2017): Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2012. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin. S. 168. https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/BMEL_BWI_WEHAM_Ergebnisband_2012_RZ2_web.pdf (abgerufen am 30.12.2020).
- 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. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3619.pdf> (abgerufen am 15.04.2020).
- Sloss, L. (2013): Coal mine site reclamation. Clean Coal Centre (IEA), London. S. 70. https://usea.org/sites/default/files/022013_Coal%20mine%20site%20reclamation_ccc216.pdf.
- sphera (2021): GaBi LCA Datenbanken. *Sphera Solutions Inc.*, <http://www.gabi-software.com/deutsch/datenbanken/gabi-datenbanken/> (abgerufen am 05.05.2021).
- Spycher, S.; Daniel, O. (2013): Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009 - 2010. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF.
- Statistik der Kohlenwirtschaft (2019): Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. <https://kohlenstatistik.de/> (abgerufen am 26.04.2021).

- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020a): Anbau auf dem Ackerland in landwirtschaftlichen Betrieben nach Fruchtarten für das Jahr 2010 - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte. *Agrarstrukturerhebung / Landwirtschaftszählung*, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Deutschland, Wiesbaden. <https://www.regionalstatistik.de/genesis//online?operation=table&code=41141-02-02-4&bypass=true&levelindex=0&levelid=1628161805644#abreadcrumb> (04.03.2020).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020b): Anbau auf dem Ackerland in landwirtschaftlichen Betrieben nach Fruchtarten für das Jahr 2016 - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte - Version 2.0. Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Deutschland, Wiesbaden. <https://www.regionalstatistik.de/genesis//online?operation=table&code=41141-02-02-4&bypass=true&levelindex=0&levelid=1628161805644#abreadcrumb> (04.03.2020).
- Szarek-Łukaszewska, G.; Grodzińska, K. (2007): Vegetation of a post-mining open pit (Zn/Pb ores): Three-year study of colonization. In: *Polish Journal of Ecology*. Vol. 55, No.2, pp. 261–282.
- Thrän, D.; Bunzel, K.; Bovet, J.; Eichhorn, M.; Hennig, C.; Keuneke, R.; Kinast, P.; Klenke, R.; Koblenz, B.; Lorenz, C.; Majer, S.; Manske, D.; Massmann, E.; Oehmichen, G.; Peters, W.; Reichmuth, M.; Sachs, M. S.; Scheftelowitz, M.; Schinkel, B.; Schiffler, A.; Thylman, M. (2020): Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich und Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft („EE-Monitor“). In: *Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau*. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH, Leipziger Institut für Energie GmbH, Bosch & Partner GmbH, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Leipzig, Aachen, Bonn.
- treeze (2018): Ökobilanzdatensätze. *treeze Ltd.*, <http://www.lc-inventories.ch/> (abgerufen am 05.05.2021).
- Umweltbundesamt (2015): ProBas: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. *Umweltbundesamt (UBA)*, <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php> (abgerufen am 05.05.2021).
- Umweltbundesamt (2021): Flächenverbrauch für Rohstoffabbau. *Umweltbundesamt (UBA)*, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau> (abgerufen am 18.05.2021).
- United Nations (2020): Germany: 2020 Common Reporting Format. *United Nations (UN)*, <https://unfccc.int/documents/210532> (abgerufen am 20.12.2020).
- Vidal-Legaz, B.; Sala, S.; Antón, A.; Maia de Souza, D.; Nocita, M.; Putman, B.; Teixeira, R. F. M. (2016): Land-use related environmental indicators for life cycle assessment: Analysis of key aspects in land use modelling. In: *JRC Technical Reports*.
- Viebahn, P.; Kronshage, S.; Trieb, F.; Lechon, Y. (2008): NEEDS - New Energy Externalities Developments for Sustainability. Final report on technical data, costs, and life cycle inventories of solar thermal power plants. DLR, CIEMAT. S. 95. <http://www.needs-project.org/RS1a/RS1a%20D12.2%20Final%20report%20concentrating%20solar%20thermal%20power%20plants.pdf> (abgerufen am 30.12.2020).
- Vogel, P.; Breunig, T. (2005): Bewertung der Biotoptypen Baden- Württembergs zur Bestimmung des Kompensationsbedarfs in der Eingriffsregelung. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. S. 65.
- Welle, D. T.; Sturm, K.; Bohr, Y. (2018): Alternativer Waldzustandsbericht: Eine Waldökosystemtypen-basierte Analyse des Waldzustandes in Deutschland anhand naturschutzfachlicher Kriterien. Naturwald Akademie, Lübeck. S. 263. https://naturwald-akademie.org/wp-content/uploads/2020/06/Alternativer-Waldzustandsbericht_Stand_24_04_2018_1.pdf (abgerufen am 29.12.2020).

- Werner, W.; Kimmig, B.; Tschernay, P.; Wittenbrink, J.; Bock, H.; Kleinschnitz, M. (2013): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013. Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen – Dritter Landesrohstoffbericht –. LGRB Informationen Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg im Breisgau. S. 22. https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c145_data.pdf (abgerufen am 29.12.2020).
- Wirth, D. H.; Schneider, K. (2018): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE, Freiburg. S. 99. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf> (abgerufen am 30.12.2020).
- Wurbs, D.; Steininger, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden: Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Geoflux GbR, Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz (MISB), Umweltbundesamt (UBA), Halle (Saale), Dessau-Roßlau. S. 225. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4089.pdf> (abgerufen am 23.09.2019).
- Zervos, A.; Schäfer, O.; Edwards, G.; Teske, S.; Sawyer, S.; van de Putte, J. (2007): Energy (r)evolution. A sustainable world energy outlook. Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC).