

TEXTE 81/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 12 102 2
UBA-FB 002497

Entwicklung von konsumbasierten Landnutzungsindikatoren

Synthesebericht

von

Martin Bruckner, Stefan Giljum
Wirtschaftsuniversität Wien

Günther Fischer, Sylvia Tramberend
International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg

Stephanie Wunder, Timo Kaphengst
Ecologic Institute, Berlin

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Institute for Ecological Economics
Wirtschaftsuniversität Wien
Welthandelsplatz 1
1020 Wien
Österreich

Abschlussdatum:

Januar 2017

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Michael Golde

Fachgebiet I 1.5 Nationale und internationale Umweltberichterstattung
Stephan Timme

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, September 2017

Weitere publizierte Berichte aus dem Forschungsvorhaben 3711 12 102 2:

TEXTE 77/2017 Review of land flow accounting methods and recommendations for further development

TEXTE 78/2017 Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model

TEXTE 79/2017 Extending land footprints towards characterizing sustainability of land use

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3711 12 102 2 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Mit diesem UFOPLAN-Vorhaben zu Landnutzungsindikatoren verfolgte das Umweltbundesamt das Ziel, Indikatoren aus einer Konsumperspektive weiter zu entwickeln, um damit die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie zu unterstützen. Dabei wurden sowohl flächenbasierte als auch wirkungsorientierte Indikatoren mit einbezogen. Ferner hatte das Projekt das Ziel, ausgewählte Indikatoren des Flächenfußabdrucks für Deutschland und die EU zu berechnen. Diese Indikatoren sollen ein verbessertes Verständnis der globalen Zusammenhänge zwischen Konsum und Landnutzung liefern, welches für politische Entscheidungen in Richtung einer nachhaltigen Landnutzung von hoher Bedeutung ist.

Dieser Synthesebericht präsentiert die Schlüsselergebnisse aus diesem Vorhaben. Zuerst geben wir einen strukturierten Überblick über bestehende Berechnungsmethoden des Flächenfußabdrucks, und beschreiben die technischen und strukturellen Eigenschaften sowie ihre Vor- und Nachteile. Dies führt zur Spezifizierung einer hybriden Methode als bevorzugten Berechnungszugang. Im zweiten Teil stellen wir die entwickelte innovative, hybride Methode zur Berechnung des Flächenfußabdrucks vor. Diese besteht einerseits aus einem globalen Handelsmodell, welches Produktflüsse in physischen Einheiten abbildet und es erlaubt, die in den Produkten enthaltenen Landflächen entlang globaler Wertschöpfungsketten zu verfolgen. Andererseits wurde ein Umwelt-Input-Output Modell in komplementärer Form integriert. Diese Methode wurde angewandt, um die Flächenfußabdrücke für Ackerland, Grünland sowie Waldflächen sowohl für Deutschland als auch die EU zu berechnen. Schließlich wurde ein Überblick über bestehende Indikatorensysteme zur Abbildung der Umweltfolgen von Landnutzung gegeben und diskutiert, in wie weit diese flächenbasierte Fußabdruckindikatoren in komplementärer Form ergänzen können. Einige der wirkungsorientierten Indikatoren wurden auch quantifiziert, insbesondere der Entwaldungsfußabdruck. Der Synthesebericht schließt mit einem Überblick über jene Themen ab, die in zukünftigen Arbeiten adressiert werden sollten.

Abstract

With this UFOPLAN project on land use indicators, the German Federal Environment Agency aimed at further developing indicators from a consumption perspective in support of Germany's sustainability strategy, covering both area-based and impact-oriented land footprint indicators. The project also aimed at calculating selected land footprint indicators for Germany and the EU. These indicators should provide an improved understanding of the global teleconnections of consumption and land use relevant for policy making towards achieving sustainable land use.

This synthesis report presents the key results from this project. First, we present a structured overview of existing approaches for estimating land footprints and describe their technical and structural characteristics as well as their strengths and weaknesses. This leads to the specification of a hybrid methodology as the preferred calculation approach. In the second part, we present the developed innovative hybrid land footprint method, consisting of a global land flow accounting and trade model capturing commodity flows in physical units to track embodied land along global supply chains. For non-food commodities the supply chains were complemented by an environmental input-output model. This method was used to calculate the cropland, grassland and forestland footprint of Germany and the EU. Finally, an overview of existing indicator systems for representing the environmental impacts of land use was provided and their complementary usage to extend area-based land footprints was discussed. A few of these complementary indicators were also quantified, most notably the deforestation footprint. The synthesis report closes with an overview of the thematic areas that need to be addressed in future research.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Akronyme	9
Zusammenfassung	10
Summary	12
1 Einleitung.....	14
2 Methode.....	15
2.1 Evaluation existierender Flächenfußabdruckmethoden	15
2.2 Die hybride Flächenfußabdruckmethode dieses Forschungsvorhabens.....	16
3 Flächenbasierte Indikatoren	18
3.1 Generelle Betrachtungen	18
3.2 Ackerland-Fußabdruck	19
3.2.1 Der Ackerland-Fußabdruck von Deutschland	20
3.2.1.1 Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks	20
3.2.1.2 Die Rolle des Außenhandels	21
3.2.1.3 Der Ackerland-Fußabdruck des Nahrungsmittelkonsums	23
3.2.1.4 Der Ackerland-Fußabdruck von Nichtnahrungsmitteln	23
3.2.2 Vergleiche des Ackerland-Fußabdrucks	25
3.2.2.1 Europäische Länder in ihrem globalen Kontext	25
3.2.2.2 Globaler Vergleich	26
3.3 Nach Produktivität gewichteter Grünland-Fußabdruck.....	28
3.3.1 Methodisches Konzept.....	28
3.3.2 Der Grasland-Fußabdruck Deutschlands und der EU	29
3.4 Wald-Fußabdruck	32
3.4.1 Methodisches Konzept.....	32
3.4.2 Ergebnisse für Deutschland und die EU	32
4 Wirkungsorientierte Indikatoren.....	34
4.1 Kriterien und Schlüsselindikatoren	34
4.2 Entwaldungsfußabdruck	35
5 Fazit.....	37
5.1 Ergebnisse dieses Vorhabens.....	37
5.2 Weitere Entwicklungsmöglichkeiten.....	38
6 Bibliographie.....	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Zusammensetzung von Deutschlands Ackerland-Fußabdruck, 2010	21
Abbildung 2.	In Deutschlands Importen (a) und Exporten (b) enthaltenes Ackerland, 1995 bis 2010, in 1000 Hektar	22
Abbildung 3.	Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks des Nahrungsmittelkonsums, Deutschland, 2010.....	23
Abbildung 4.	Zusammensetzung des Non-Food-Ackerland-Fußabdrucks von Deutschland, 2010.....	24
Abbildung 5.	Globale Flüsse von virtuellem Ackerland enthalten in Nichtnahrungsmitteln von produzierenden zu verarbeitenden und zu konsumierenden Ländern und Regionen, in 1000 Hektar, 2010	26
Abbildung 6.	Zusammensetzung des globalen Ackerland-Fußabdrucks, 2010	27
Abbildung 7.	Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks verschiedener Länder und Weltregionen, in Quadratmetern pro Kopf, 2010	27
Abbildung 8.	Zeitliche Entwicklung des Grünland-Fußabdrucks Deutschlands, gemessen in Millionen normalisierten Äquivalenzhektaren (Mha-Äq.), 1995-2010.....	30
Abbildung 9.	Grünland in Deutschlands Außenhandel, gemessen in Millionen Hektar (Mha) und Millionen normalisierten Äquivalenzhektaren (Mha-Äq.), Jahr 2010	30
Abbildung 10.	Wald-Fußabdruck von Deutschland, 1995-2011, in 1000 km ²	33
Abbildung 11.	Geographischer Ursprung von Deutschlands Wald-Fußabdruck, 1995 und 2010	34
Abbildung 12.	Globaler Entwaldungsfußabdruck, 1995-2010, nach Konsumkategorie, in Millionen Hektar pro 5-Jahres-Intervall	36
Abbildung 13.	Zusammensetzung des Entwaldungsfußabdrucks von Deutschland, 1995-2010 (kumulativ), in 1000 Hektar	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Ackerflächen in Produktion, Außenhandel und Konsum, 2010	20
Tabelle 2.	Ackerland-Fußabdruck Deutschlands, 1995 bis 2010, in 1000 Hektar	21
Tabelle 3.	In Importen und Exporten enthaltenes Ackerland, nach Hauptgütergruppen, 2010, in 1000 Hektar.....	21
Tabelle 4.	Durchschnittliche Grünlanderträge, tatsächliche und normalisierte Grünlandflächen für ausgewählte Länder, Jahr 2000	29
Tabelle 5.	Grünland-Fußabdruck, tatsächliche Flächen (oben) und normalisierte Flächen (unten), Deutschland, 2010, in 1000 Hektar bzw. Prozent	31

Akronyme

UBA	Umweltbundesamt
StBA	Statistisches Bundesamt
THG	Treibhausgas
EU	Europäische Union
IO	Input–Output
Gt	Gigatonne = 1 Milliarde Tonnen
ha	Hektar
Mha	Millionen Hektar
ha-Äq.	Äquivalenzhektar (gewichteter bzw. normalisierter Hektar)

Zusammenfassung

Mit diesem UFOPLAN-Vorhaben zu Landnutzungsindikatoren verfolgte das Umweltbundesamt das Ziel, Indikatoren aus einer Konsumperspektive weiter zu entwickeln, um damit die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie zu unterstützen. Dabei wurden sowohl flächenbasierte als auch wirkungsorientierte Indikatoren mit einbezogen. Ferner hatte das Projekt das Ziel, ausgewählte Indikatoren des Flächenfußabdrucks für Deutschland und die EU zu berechnen. Diese Indikatoren sollen ein verbessertes Verständnis der globalen Zusammenhänge zwischen Konsum und Landnutzung liefern, welches für politische Entscheidungen in Richtung einer nachhaltigen Landnutzung von hoher Bedeutung ist.

Kritische Betrachtung von Methoden zur Berechnung von Flächenfußabdruckindikatoren und Empfehlungen für deren Weiterentwicklung

Robuste Indikatoren zur Beschreibung des Flächenfußabdrucks können eine wertvolle Ergänzung zum derzeitigen konsumbasierten Ressourcennutzungsindikator der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie darstellen.

Verschiedene Ansätze und Methoden zur Quantifizierung von konsumbasierten Landnutzungsindikatoren stehen zur Verfügung. Generell kann man zwischen drei Ansätzen unterscheiden: a) *ökonomischen Bilanzierungsansätzen*, die Input-Output-Analyse anwenden, um Ressourcenflüsse entlang von Wertschöpfungsketten zu verfolgen, b) *physischen Bilanzierungsansätzen*, die produktspezifische physische Informationen über die Produktion, die Verwendung und den Handel mit land- und forstwirtschaftlichen Produkten und verarbeiteten Biomasseprodukten verwenden, und c) *hybriden Bilanzierungsansätzen*, welche Elemente beider Methoden miteinander kombinieren.

Die mit verschiedenen Ansätzen ermittelten Flächenfußabdrücke variieren stark, wobei die Unterschiede vorwiegend auf den Umfang und Detailgrad bei der Erfassung von Produkten und Wertschöpfungsketten sowie auf Verzerrungen durch die Verwendung von monetären Flüssen als Annäherung für physische Flüsse zurückzuführen sind. Der Bericht erläutert Optionen und gibt klare Empfehlungen für die Weiterentwicklung von Methoden zur Bilanzierung von tatsächlichen und virtuellen globalen Biomasse- und Landflüssen. Dabei werden insbesondere die Vorteile hybrider Bilanzierungsansätze als ein robuster und transparenter Rahmen für die Berechnung von Flächenfußabdrücken aufgezeigt.

Berechnung des Flächenfußabdrucks Deutschlands und der EU mittels eines hybriden Bilanzierungsmodells

Der Flächenfußabdruck untersucht die Beanspruchung von Landressourcen aus der Sicht des Verbrauchers. Die vorliegende Studie beschreibt eine neue hybride Methode zur Berechnung von Flächenfußabdrücken, basierend auf einem global konsistenten Top-down-Ansatz und der Kombination von physischen und ökonomischen Bilanzierungsansätzen. Der physische Ansatz verfolgt anhand der landwirtschaftlichen Versorgungsbilanzen und bilateralen Handelsdaten der FAO die Wertschöpfungsketten von Nahrungsmitteln vom "Feld zum Teller" und von Nichtnahrungsmitteln vom "Feld zur technischen Nutzung". Die ökologisch-ökonomische Bilanzierung dient dann der weiteren Verfolgung von Non-Food-Rohstoffen bis zum Endverbrauch.

Die hybride Methode wurde angewandt, um jährliche Fußabdrücke zwischen 1995 und 2010 für global 21 Regionen (einschließlich der großen Volkswirtschaften wie USA, China, Indien) zu berechnen. Die Ackerland-Fußabdrücke auf Pro-Kopf-Basis und deren Zusammensetzung variieren weltweit erheblich. Detaillierte Ergebnisse für Deutschland und die EU-28 heben die höhere Landnachfrage von stark auf tierischen Produkten basierten Ernährungsweisen im Vergleich zu pflanzenbasierter Ernährung hervor. Sie zeigen die zunehmende Globalisierung der Märkte und die zunehmende Bedeutung des Non-Food-Sektors für den Flächenfußabdruck im letzten Jahrzehnt.

Der Flächenfußabdruck eines Deutschen belief sich im Jahr 2010 auf rund 2.700 m² Ackerland, etwa die Hälfte davon für tierische Nahrungsmittel, ein Viertel für pflanzliche Nahrungsmittel und ein Viertel für Non-Food-Produkte. Zusätzlich werden für den Konsum von Produkten von Wiederkäuern pro Kopf mehr als 1.600 m² Grünland beansprucht. Deutschland ist ein bedeutender und wachsender Handelspartner mit aktuellen Nettoeinfuhren von 10,6 Millionen Hektar. Insgesamt stammen damit die Hälfte der 22 Millionen Hektar des Ackerland-Fußabdrucks von Anbauflächen im Inland und die andere Hälfte von Landressourcen im Ausland. Auch beim Grünland-Fußabdruck deuten die Ergebnisse trotz bestehender Datenunsicherheiten darauf hin, dass Deutschland ein bedeutender Nettoimporteur ist.

Wirkungsorientierte Erweiterung von Flächenfußabdruckindikatoren zur besseren Charakterisierung von nachhaltiger Landnutzung

Um die Nachhaltigkeit der Landnutzung besser beurteilen zu können, sind um die reine Flächennutzung hinausgehende Analysen nötig, welche die Zusammenhänge zwischen den beanspruchten Flächen und den landnutzungsbedingten Umweltauswirkungen abschätzen. Der vorliegende Bericht behandelt die Erweiterung des Flächenfußabdrucks mit aussagekräftigen wirkungsorientierten Indikatoren zur Erfassung der Auswirkungen verschiedener Konsummuster auf die Ökosysteme und Nachhaltigkeit von Landnutzung.

Der Bericht gibt einen Überblick zu potentiellen Indikatoren und diskutiert folgende als besonders relevant identifizierte Schlüsselindikatoren: Systemindikatoren, welche die flächenbasierten Fußabdrücke mit der global sehr unterschiedlichen potentiellen Flächenproduktivität qualifizieren, den Entwaldungsfußabdruck, den landwirtschaftlichen Energieverbrauch und die landwirtschaftliche Bewässerung im Verhältnis zur lokalen Wasserknappheit.

Eine beispielhafte Berechnung des Entwaldungsfußabdrucks für Nahrungsmittel zeigte etwa, dass dieser Indikator 2005 seinen Höhepunkt erreichte, während er für Non-Food-Produkte weiterhin anstieg und zwischen 2005 und 2010 bereits für 45 % des gesamten Entwaldungsfußabdrucks Deutschlands verantwortlich war.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten

Während bedeutsame Fortschritte in diesem Vorhaben erreicht wurden, bleiben einige Fragen für zukünftige Forschung und Entwicklung offen.

- Nutzung von verfügbaren nationalen Statistiken, um FAO-Daten im Modell in bestimmten Fällen durch offizielle Handels- und Landwirtschaftsstatistiken zu ersetzen und so ein sogenanntes SNAC-Modell („single-country national accounts consistent“) zu erstellen.
- Detailliertere Berichterstattung von Ländern und Produkten durch eine weitere Detaillierung des Fußabdruckmodells und der Nutzung einer transparenten Aufkommens- und Verwendungsstruktur.
- Entwicklung und Analyse weiterer wirkungsorientierter Indikatoren durch die Nutzung detaillierter geografischer Datenbanken und die Anwendung räumlicher Downscaling- und Modellierungsmethoden.
- Fokussierung zukünftiger Analysen auf die Nachhaltigkeit von Schlüsselbereichen des deutschen Flächenfußabdrucks, etwa auf tierische Produkte oder auf den dynamischen und stark auf importierte Rohstoffe angewiesenen Bereich der Nichtnahrungsmittel.

Summary

With this UFOPLAN project on land use indicators, the German Federal Environment Agency aimed at further developing indicators from a consumption perspective in support of Germany's sustainability strategy, covering both area-based and impact-oriented land footprint indicators. The project also aimed at calculating selected land footprint indicators for Germany and the EU. These indicators should provide an improved understanding of the global teleconnections of consumption and land use relevant for policy making towards achieving sustainable land use.

Review of land flow accounting methods and recommendations for further development

Robust land footprint indicators can potentially extend the consumption-based resource use indicator of the German sustainability strategy.

Various approaches exist for quantifying the land embodied in international trade flows and consumption, i.e. the land footprint. These can be classified into a) environmental-economic accounting approaches, applying input-output analysis and tracking supply chains in monetary values, b) physical accounting approaches, using an accounting framework based on data for production, trade and utilization of agricultural and forestry commodities and tracking supply chains in physical units, and c) hybrid accounting, combining elements from both environmental-economic and physical accounting.

The results of recent studies vary widely. Differences are mainly attributable to the product and supply chain coverage and detail, and biases introduced by the use of monetary flows as a proxy for physical flows. The report outlines options and gives clear recommendations for the further development of actual and virtual global biomass and land flow accounting methods, particularly highlighting the advantages of hybrid accounting approaches as a framework for the robust and transparent assessment of land footprints associated with global biomass flows.

Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model

Footprint analysis reveals the appropriation of land resources from a consumer's perspective. We here present a novel hybrid land-flow accounting method for the calculation of land footprints, employing a globally consistent top-down approach and combining physical with environmental-economic accounting. Physical accounting tracks food products from 'field to plate' and non-food from 'field to industrial use' using the large harmonized FAO data to track biomass flows and related land use in physical volumes. Environmental-economic accounting is used to further track non-food commodities to final consumption.

The hybrid method has been applied annually between 1995 and 2010 for 21 regions globally and including major economies separately (e.g. USA, China, India). Per capita extents and composition of cropland footprints vary widely across the world. Detailed results for Germany and the EU28 highlight the higher land demand of livestock-based diets compared to crop-based diets, the growing integration in international markets, and the growing importance of the non-food sector.

In 2010, the land footprint of each Germany citizen appropriated on average about 2700 m² cropland – about one half for animal source foods, one quarter for crop products, and one quarter for non-food products). Additionally, more than 1600 m² of grassland per capita are used for the consumption of ruminant livestock products. Germany is a major and increasing trading partner with current net cropland imports of 10.6 Million hectares. Overall, half of Germany's 22 Million hectares cropland footprint relies on domestic cultivation and half on land resources abroad. Despite uncertainties in the calculation of grassland footprints, results point towards Germany being a significant net importer.

Extending land footprints towards characterizing sustainability of land use

Beyond area extents, additional information is needed to assess the sustainability of land use, requiring further analyses regarding environmental impacts and preservation of land quality and ecosystem services. This report discusses extensions of area-based land footprints with meaningful impact-oriented indicators for the assessment of the effects of different consumption patterns on the ecosystems and sustainability of land use.

The report gives an overview on potential indicators and discusses the following key indicators, which were identified as particularly relevant during an expert workshop: System indicators, which qualify the area-based footprints across globally very different potential land productivities, deforestation footprint, energy use in agriculture, and irrigation water use in agriculture classified by degree of water scarcity.

An exemplary calculation of the deforestation footprint showed that this indicator reached its peak for foodstuffs in 2005, while it continued to grow for non-food products and was responsible for 45 % of Germany's total deforestation footprint between 2005 and 2010.

Options for further development

While significant progress has been made in this project, some questions remain open for future research and development.

- Use of available national statistics to replace FAO data in the model in certain cases through official trade and agricultural statistics, building a so-called SNAC model (‘single-country national accounts consistent’).
- More detailed reporting of countries and products by further detailing the footprint model and using a transparent supply and use structure.
- Development and analysis of further impact-oriented indicators through the use of detailed geographic databases and the application of spatial downscaling and modelling methods.
- Focus of future analyses on the sustainability of key areas of the German land footprint, for example on animal products or on the dynamic area of non-food products, which is strongly dependent on imported raw materials.

1 Einleitung

Die Weltwirtschaft ist zunehmend globalisiert verbunden mit immer komplexeren Lieferketten und Handelsbeziehungen. Änderungen in Konsumverhaltensmustern oder in der Implementierung von Landnutzungspolitik in einem Land können daher zu Verlagerungs- oder Leakage-Effekten führen und dadurch anderswo Veränderungen in der Landnutzung und -bewirtschaftung auslösen (Bruckner et al., 2015; Yu et al., 2013). Zum Beispiel kann eine Naturschutzpolitik, welche die Belastung von heimischen Böden und Ökosystemen reduzieren soll, Landnutzung und die damit zusammenhängende Umweltbelastung in andere Weltregionen verlagern. Gleichermaßen kann eine Politikstrategie, die Kohlenstoffemissionen durch das Ersetzen fossiler Brennstoffe mit erneuerbaren Ressourcen verringern soll, den Druck auf Landökosysteme sowohl im In- wie auch im Ausland erhöhen. Konsumenten und politische Entscheidungsträger sind sich möglicherweise nicht aller direkten und indirekten Auswirkungen der Maßnahmen und Konsumaktivitäten bewusst. Daher hängt die Nachhaltigkeit des globalen Landsystems sowohl von Konsumnachfrage und Verbraucherpräferenzen, als auch von den Dimensionen und der Bewirtschaftungspraxis in der Produktion von land- und forstwirtschaftlichen Primärrohstoffen ab.

Tendenzen und Muster des globalen Konsums von Biomasse und der Landnutzung sind zentrale Bestimmungsfaktoren für eine globale nachhaltige Entwicklung. Dies ist vor allem der Fall für die Landwirtschaft. Diese steht mehreren Herausforderungen gegenüber, die die globale Nahrungsmittelversorgung gefährden, darunter eine wachsende Weltbevölkerung, Änderungen von Ernährungsgewohnheiten, steigende Nachfrage nach Bioenergie und Biomaterialien wie auch die Auswirkungen des Klimawandels. Zudem kann die wachsende globale Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Futtermitteln und Bioenergie zur Rodung von bis zu einer Milliarde Hektar Land bis 2050 führen (Tilman et al., 2011). Diese Fläche entspricht zwei Dritteln der aktuell weltweit genutzten Ackerfläche. Ein solch massiver Wandel der Landnutzung würde jährliche THG-Emissionen von etwa 3 Gt Kohlenstoff bedeuten, was 20 % aller aktuellen anthropogenen THG-Emissionen entspricht.

In den vergangenen Jahren haben die Produktion und der Konsum von Biomasse und damit zusammenhängende Auswirkungen auf die Landnutzung Eingang in die Umwelt- und Ressourcenpolitik auf europäischer Ebene gefunden. Zum Beispiel ist im Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa (European Commission, 2011) Land eine der vier Hauptkategorien, welche mit hochrangigen Makroindikatoren kontrolliert werden sollten. Die Kommission hat sich mit der Notwendigkeit der Weiterentwicklung von Indikatoren befasst, welche die indirekt in Produkten enthaltenen Landflächen sichtbar machen (European Commission, 2012a). Auch in der EU-Strategie für nachhaltige Bioökonomie (European Commission, 2012b) stehen biobasierte Produkte und damit zusammenhängende Auswirkungen auf Land und Ökosysteme im Zentrum der Initiative.

Eine mögliche Expansion des agrarwirtschaftlich genutzten Lands gefährdet einige der wertvollsten Ökosysteme weltweit, vor allem außerhalb von Europa. In diesem Kontext ist es von zunehmender Wichtigkeit die globalen Landnutzungsimplicationen der Konsummuster und Politikstrategien in diesem Zusammenhang zu messen und zu überwachen. Flächenbasierte Landfußabdruckindikatoren und ihre wirkungsorientierten Erweiterungen versuchen, Lieferketten landbasierter Produkte und die damit zusammenhängenden Landnutzungsintensitäten und -veränderungen aus der Konsumentenperspektive zu charakterisieren. Das Ziel ist es, nationale Konsummuster mit globaler Landnutzung in Beziehung zu setzen und die entsprechende Ressourcennutzung und Umweltauswirkungen dem Endkonsum zuzuordnen.

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt (UBA) ein Forschungsvorhaben initiiert, um das UBA und das Statistische Bundesamt (StBA) bei der weiteren Entwicklung und Etablierung von Landnutzungsindikatoren für die Beobachtung der globalen Auswirkungen des deutschen und EU-weiten Konsums auf Landnutzung und damit zusammenhängende Umweltauswirkungen zu unter-

stützen. Das Ziel dieses Forschungsvorhaben war es, flächenbasierte wie auch wirkungsorientierte Landnutzungsindikatoren aus einer Konsumperspektive weiterzuentwickeln, um Deutschlands Nachhaltigkeitsstrategie zu unterstützen. Des Weiteren zielte das Projekt darauf ab, ausgewählte Landnutzungsindikatoren für Deutschland und die EU zu berechnen. Diese Indikatoren sollten das Verständnis der Zusammenhänge von Konsum und globaler Landnutzung verbessern, was für die nationale und internationale Politikgestaltung zugunsten nachhaltiger Landnutzung von großer Bedeutung ist.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden in drei Berichten präsentiert. Bericht 1 zielt darauf ab, einen strukturierten Überblick über existierende Ansätze für die Berechnung des Flächenfußabdrucks zu bieten und deren technische wie auch strukturelle Charakteristiken darzustellen, ihre Stärken und Schwächen zu vergleichen und Schlussfolgerungen zu ziehen bezüglich ihrer Fähigkeit die Landnachfrage aus Drittländern darzustellen (Bruckner et al., 2017). Basierend auf diesen Ergebnissen stellt Bericht 2 die innovative Flächenfußabdruckmethode vor, die in diesem Forschungsvorhaben entwickelt wurde (Fischer et al., 2017a). Diese Methode integriert ein globales Handelsmodell für landwirtschaftliche Produkte in physischen Einheiten, um das enthaltene ‚virtuelle‘ Land entlang der Lieferketten nachzuverfolgen, mit einem ökonomischen Input-Output-Modell. Bericht 2 enthält außerdem die Ergebnisse für den Flächenfußabdruck von Deutschland und der EU. Zuletzt bietet Bericht 3 einen Überblick über existierende Indikatorensysteme für die Darstellung von Umweltauswirkungen der Landnutzung und diskutiert deren Verbindung und komplementäre Nutzung mit flächenbasierten Landfußabdruckindikatoren. Einige dieser komplementären Indikatoren wurden zudem quantifiziert, allen voran der Entwaldungs-Fußabdruck (Fischer et al., 2017b).

Der vorliegende Synthesebericht (Bericht 4 aus dem Forschungsvorhaben) fasst die Hauptresultate aller Projektteile zusammen und diskutiert diese. Kapitel 2 präsentiert die innovative Berechnungsmethode für Landnutzungsindikatoren, die in diesem Forschungsvorhaben entwickelt wurde. Eine Reihe von flächenbasierten Landfußabdruckindikatoren für Deutschland wird in Kapitel 3 präsentiert und diskutiert. Kapitel 4 widmet sich den Erweiterungen durch wirkungsorientierte Indikatoren und stellt den Entwaldungs-Fußabdruck als ein Beispiel vor. Das abschließende Kapitel 5 betrachtet die Ergebnisse dieses Projekts im Kontext anderer Forschungsarbeiten im Bereich von Landnutzungsindikatoren und bietet Empfehlungen für weitere Entwicklungen.

2 Methode

2.1 Evaluation existierender Flächenfußabdruckmethoden

Bericht 1 (Bruckner et al., 2017) betrachtet existierende Bilanzierungsmethoden, wobei er etwa 50 Publikationen im Themenbereich der virtuellen Landflüsse und Fernwirkungen zwischen Produktion und Konsum abdeckt. Zusätzlich bezieht er ausgewählte, besonders einflussreiche Artikel und Berichte über die neuesten Entwicklungen im verwandten Feld der Materialflussrechnung mit ein. Um die vergleichende Evaluation der unterschiedlichen Ansätze zur Auswertung globaler virtueller Landflüsse durchführen zu können, wurde in Kooperation mit dem UBA und dem StBA eine Liste von Kriterien erstellt. Die Kriterien wurden in zwei Themenbereiche gruppiert, welche auf der einen Seite die generellen methodologischen Aspekte wie die Detailliertheit der länder- und produktspezifischen Informationen wie auch die einbezogenen Landnutzungstypen abdeckte und auf der anderen Seite spezifische technische Aspekte wie die Datenquellen, Datengenerierung und -erfassung sowie angewendete Modellannahmen umfasste.

Die Betrachtung zeigt, dass in der Literatur drei methodische Hauptansätze existieren:

- (1) *Umweltökonomische Bilanzierungsmethoden*, bei denen Lieferketten (und virtuelle Landflüsse) in Form von monetären Werten nachverfolgt werden.

(2) *Biophysische Bilanzierungsmethoden*, welche auf physischen Daten für die Produktion, den Handel und die Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Güter basieren und daher Lieferketten in physischen Einheiten darstellen.

(3) *Hybride Bilanzierungsmethoden*, welche Elemente der umweltökonomischen wie auch der biophysischen Bilanzierungsmethoden kombinieren, um spezifische Einschränkungen oder Schwächen der individuellen Methoden (1) und (2) zu überwinden.

Die umweltökonomische Bilanzierung, die meist auf der multi-regionalen Input-Output-Analyse (MRIO) basiert, sticht durch ihre umfangreiche Abdeckung der gesamten (Welt-)Wirtschaft hervor, wodurch alle indirekten Effekte einbezogen werden, unabhängig von der Komplexität der Lieferketten. IO-Modelle vermeiden Abschneidefehler, da per Definition alle Produkte, einschließlich hochverarbeiteter biobasierter Produkte, in die Berechnung einbezogen werden. Die Hauptnachteile sind unter anderem die beschränkte Detailliertheit bezüglich der Güter durch die Sektordefinition des IO-Modells wie auch Probleme im Zusammenhang mit der Allokation von Landflüssen entlang monetärer Lieferkettenstrukturen.

Ein wichtiger Vorteil der biophysischen Bilanzierung ist der Detailreichtum bezüglich der Güter, welcher eine konsistentere Zuordnung des Lands zu landwirtschaftlichen Primärprodukten zulässt. Biophysische Bilanzierungsansätze sind zudem überlegen in Bezug auf den Detailgrad der Erfassung von Ländern, Produkten und Landnutzungstypen wie auch die Abdeckung jüngerer Jahre. Einschränkungen in der Datenverfügbarkeit für hochverarbeitete Produkte limitieren jedoch die Anwendbarkeit dieses zweiten Ansatzes. Diese führen zu einer unvollständigen Repräsentation bestimmter Lieferketten wie auch zu Konsistenzproblemen beim Einsatz von produktspezifischen Koeffizienten zur Beschreibung der Landnutzungsintensität, welche häufig aus einer großen Zahl von unterschiedlichen und mitunter nicht repräsentativen Quellen stammen.

Hybride Ansätze haben das Potenzial, die spezifischen Vorteile der biophysischen und umweltökonomischen Bilanzierungsmethoden zu vereinen und können dadurch einige der zugrundeliegenden Einschränkungen und Schwächen umgehen.

Bericht 1 schlussfolgert, dass insgesamt biophysische Bilanzierungsmethoden besser geeignet sind, um eine solide Basis für die weitere Entwicklung zu bilden. Dies liegt vor allem an ihrer Detailliertheit bezüglich der Güter, ihres Potenzials ein physisches Allokationsschema für die Verfolgung virtueller Landflüsse in der globalen Lieferkette anzuwenden und ihrer Fähigkeit zwischen verschiedenen Verwendungszwecken wie Nahrungsmittelzwecke, Futtermittelzwecke und nicht der Ernährung dienende Zwecke (z.B. für Textilien oder Bioenergie) zu unterscheiden. Der Bericht betont auch, dass Top-Down-Anwendungen der biophysischen Bilanzierungsmodelle mit monetären MRIO-Modellen zu hybriden Bilanzierungsmethoden erweitert werden können, um alle globalen Biomasseflüsse von der Ernte bis zum Endverbrauch umfassend einzubeziehen. Dies könnte zu einem konsistenten Top-Down-Bilanzierungsmodell führen, welches biophysische und monetäre Werte in einem voll integrierten hybriden, d.h. verschiedene Einheiten nutzenden, Input-Output-Modell kombiniert.

2.2 Die hybride Flächenfußabdruckmethode dieses Forschungsvorhabens

Den Empfehlungen des Berichts 1 folgend entwickelte dieses Forschungsvorhaben einen hybriden Bilanzierungsansatz, welcher Elemente der umweltökonomischen und biophysischen Bilanzierung kombiniert, um einen global konsistenten Top-Down-Bilanzierungsrahmen zu erstellen, der alle Wertschöpfungs- und Lieferketten bio-basierter Produkte umfasst.

Diese innovative Methode ist die erste, die ein globales physisches Handelsmodell, nämlich IIASAs LANDFLOW-Modell (IIASA et al., 2006; Prieler et al., 2013), mit den neuesten monetären MRIO-Modellen kombiniert. Für das hybride Modell, das in diesem Forschungsvorhaben entwickelt wurde,

wurden die detaillierten FAOSTAT-Datenbank und die MRIO-Tabellen aus EXIOBASE v3 (Tukker et al., 2013; Wood et al., 2015) für die Zeitreihe von 1995 bis 2010 angewandt.

Diese globale hybride Methode ermöglicht es, virtuelle Landflächen in Rohstoffen und Produkten mit einem niedrigen Weiterverarbeitungsgrad basierend auf Lieferkettendaten in physischen Einheiten mit großem Produkt- und Länderdetail zu verfolgen. Die Methode erlaubt es zudem, Unterschiede bezüglich der angewandten Technologien und Herkunftsländer für jedes biomassebasierte Produkt zu beachten. Um die aktuellen Limitationen physischer Bilanzierungsmethoden in der Verfolgung verarbeiteter Güter mit komplexeren Produktionsketten zu überwinden, besonders bezüglich biobasierter Nichtnahrungsmittel (pflanzliche Produkte wie Textilien oder Agrarkraftstoffe und tierische Produkte wie Leder), ist das physische Modell mit einer umweltökonomischen Bilanzierungsmethode verbunden (dem MRIO-Modell). Dies ermöglicht es, die gesamten vorgelagerten Ressourcenerfordernisse einzubeziehen und somit alle indirekten Effekte des Endkonsums unabhängig von der Komplexität der Lieferketten zu illustrieren.

Verglichen mit anderen existierenden Flächenfußabdruckmethoden hat diese Methode eine Reihe von Vorteilen:

- Die Methode wendet einen Top-Down-Ansatz mit umfassender geographischer Deckung an und vermeidet somit die Inlandstechnologie-Annahme, das heißt die Annahme, dass importierte Produkte mit der gleichen Input-Struktur wie inländisch produzierte Güter hergestellt wurden. Dadurch kann die globale Konsistenz der Landzuordnung entlang der Lieferketten komplett aufrechterhalten werden.
- Sie nutzt globale Grünland- und Ackerflächenstatistiken, wobei landwirtschaftliche Praktiken wie Mehrfachanbau und Brache berücksichtigt werden, sowie Modellschätzungen für Waldflächen.
- Die Methode vermeidet Fehler aufgrund von Inkonsistenzen zwischen der monetären Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und physischen Landnutzungsstatistiken, indem sie eine biophysische Bilanzierungsmethode für Güter und Produkte mit einem niedrigen Weiterverarbeitungsgrad verwendet. Gleichzeitig sichert es die volle Abdeckung aller biobasierter Güter und Lieferketten, einschließlich hochverarbeiteter Güter für Nichtnahrungszwecke, indem es das physische Modell durch ein monetäres MRIO-Modell erweitert.
- Sie enthält eine konsistente und ausgewogene Repräsentation bilateraler Handelsströme und bezieht dabei Re-Export und Transithandel voll mit ein.

Die entwickelte Methode ist daher sehr gut geeignet, um Vergleiche von Landfußabdrücken zwischen einer großen Zahl an Ländern weltweit durchzuführen.

Der hohe Grad an regionaler Abdeckung, der durch die Anwendung globaler physischer und ökonomischer Datensätze erreicht wird, deutet jedoch auch auf einen möglichen Nachteil der entwickelten Methode hin: Die angewandten internationalen Statistiken, die von den verschiedenen Organisationen der Vereinten Nationen zur Verfügung gestellt werden, können sich von den nationalen Statistiken unterscheiden oder weniger Details bieten als nationale Quellen. Beispielsweise berechnet das Modell einen nach dem Volumen gewichteten Landinhalt einer Ware die sowohl von Importen als auch von inländischer Produktion stammt, und wendet diesen gewichteten Landinhalt auf die Exporte an. Im Falle größerer Landinhalte zwischen Gütern aus dem Import oder inländischer Produktion (z.B. Sojabohnen aus Brasilien verglichen mit denen in Deutschland mit höheren Erträgen), ergeben sich gewisse Unschärfen im Landinhalt der auf die Exporte angewandt wird. Das Erreichen eines sehr hohen Grads an internationaler Abdeckung und Harmonisierung geht daher zu Lasten der Betrachtung nationaler Informationen. Wie die Analyse in Bericht 2 (Fischer et al., 2017a) zeigte, unterscheiden sich die Ergebnisse der in diesem Projekt entwickelten Methode von denen der Flächenfuß-

abdruckmethode des StBA (Mayer et al., 2014) insbesondere aufgrund von Unterschieden in den genutzten Landnutzungsdaten.

Diese Probleme könnten durch die Erstellung eines sogenannten „Single-country national accounts consistent“ (SNAC) Fußabdruckmodell vermieden werden (vergleiche mit Edens et al., 2015). Ein solches SNAC-Modell verwendet ein multiregionales Fußabdruckmodell basierend auf internationalen Datenquellen, und ersetzt die Daten für die Länder von Interesse durch offizielle nationale Handels- und Landwirtschaftsstatistiken. Insbesondere werden Daten dann ersetzt, wenn nationale Daten als verlässlicher oder detaillierter angesehen werden können.

Darüber hinaus könnte das angewandte Modell durch eine Erhöhung des Detailgrads bei der Erfassung von Gütern und Regionen verbessert werden. Die aktuelle Anwendung aggregiert die verfügbaren Daten zu einer Liste von 21 Regionen und 23 Gütern, während FAOSTAT Daten für bis zu 175 Länder und mehr als 100 Güter zur Verfügung stellt. Eine verbesserte Datengrundlage zu den tierischen Produkten, insbesondere Statistiken zu den tatsächlich verwendeten Grünlandflächen, könnten wesentliche Verbesserungen des Grünlandfußabdrucks bringen.

Ein detaillierteres Modell könnte zudem so implementiert werden, dass eine hochgradig transparente Aufkommens- und Verwendungsstruktur angewandt würde, analog zu jener, die in der umweltökonomischen Gesamtrechnung genutzt wird. Die resultierende physische Biomasse-MRIO-Tabelle könnte dann mit einer monetären MRIO-Tabelle kombiniert werden, sodass ein konsistentes und transparentes hybrides (oder verschiedene Einheiten nutzendes) IO-Modell mit globaler Abdeckung und hohem Detailgrad entstünde. Neben dem Hinzufügen von Details und Transparenz würde dies außerdem die Anwendung von analytischen Instrumenten wie einer strukturellen Dekompositions- oder Pfadanalyse ermöglichen, um Lieferketten und Entwicklungen im Laufe der Zeit weiter zu untersuchen.

3 Flächenbasierte Indikatoren

3.1 Generelle Betrachtungen

Flächenbasierte Fußabdruckindikatoren können eine wichtige Rolle in der Erstellung und Beobachtung von Politikstrategien in Bezug auf Land spielen. Kernfragen, die mit Hilfe von flächenbezogenen Indikatoren angegangen werden können, beinhalten:

- Welche Flächen werden benötigt, um den inländischen Konsum von Produkten und Dienstleistungen zu decken? Wie haben sich diese Flächen im Laufe der Zeit auf Grund von z.B. Änderungen in der Ernährung oder im Energiesystem entwickelt?
- Welche Produkte und Konsumgewohnheiten steuern am meisten zum Flächenfußabdruck bei? Welche Bereiche mit Priorität für die Reduktion des Flächenfußabdrucks und damit zusammenhängenden Umweltauswirkungen können identifiziert werden?
- Was ist der Anteil des Flächenfußabdrucks, der in Importen enthalten ist? Wie haben Globalisierungsprozesse die weltweite Verteilung von virtuellem Land beeinflusst? Was implizieren gesteigerte Mengen virtuellen Lands für Politikbereiche wie Handel oder Entwicklungspolitik?
- Was ist die Landnutzungsdimension der energetischen und stofflichen Nutzung von Biomasse, insbesondere im Zusammenhang mit den Bemühungen, die in die Entwicklung der Bioökonomie investiert werden?

Um diese und andere Fragen adressieren zu können, sollten flächenbasierte Indikatoren entwickelt und als ein flexibles Informationssystem angewandt werden, welches Einblicke in unterschiedlicher Detailliertheit liefert. Die Kommunikation des Gesamt-Flächenfußabdrucks eines Landes wie

Deutschland als eine aggregierte Zahl klingt zwar verlockend um eine simple Botschaft an Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit zu vermitteln. Die Verwendung eines Indikators, der aus verschiedenen Komponenten mit äußerst unterschiedlichen ökologischen und sozioökonomischen Implikationen zusammengesetzt ist, kann jedoch potenziell zur Missdeutung des Ergebnisses führen. Daher ist es empfehlenswert, flächenbasierte Indikatoren nicht in einer aggregierten, sondern in einer aufgeschlüsselten Form zu präsentieren und dadurch das volle Informationspotenzial der reichhaltigen Datengrundlage auszuschöpfen, die diesen Indikatoren zu Grunde liegt. Die Aufschlüsselung kann in verschiedenen Dimensionen durchgeführt werden, beispielsweise:

- Kategorien von Landnutzung, z.B. Ackerland, Grasland oder Waldflächen;
- Produktkategorien wie Gemüse, alkoholische Getränke, Fleischwaren, Biokraftstoffe oder Textilien;
- Kategorien der Endnutzung, z.B. für Nahrungsmittelzwecke, Futtermittelzwecke oder industrielle Nutzung von Biomasse für Nichtnahrungszwecke;
- Herkunft der Biomasse und damit zusammenhängende Landflächen, um inländische und ausländische Flächen unterscheiden und auf Basis der jeweiligen Umweltauswirkungen Prioritäten identifizieren zu können, z.B. Tropenregionen.

Die unterschiedlichen Optionen für die Aufschlüsselung erlauben es, Ergebnisse von Untersuchungen des Flächenfußabdrucks mit bestimmten politisch relevanten Themen zu verbinden, wie beispielsweise die Umweltauswirkungen des Nahrungsmittelkonsums oder die Konsequenzen für die Landnutzung aus einer Transformation der Volkswirtschaft hin zu Bioenergie und bio-basierten Materialien. Unser Ziel in diesem Vorhaben war es daher, die Ergebnisse auf verschiedenen Ebenen der Aufschlüsselung zu präsentieren (siehe auch die folgenden Berichtsabschnitte).

Da die wichtigsten Kategorien von Land, also Ackerland, Grünland und Waldflächen, sehr unterschiedliche Charakteristiken aufweisen und mit verschiedenen Nachhaltigkeits Herausforderungen konfrontiert sind, ist es ratsam, Hauptindikatoren für jede der drei Kategorien zu präsentieren:

- Wir empfehlen einen ungewichteten flächenbasierten Fußabdruckindikator als den Hauptindikator für die Kategorie Ackerfläche anzuwenden (siehe Abschnitt 3.2).
- Da die Produktivität von Grünland zwischen unterschiedlichen Weltregionen stark variiert, würde ein ungewichteter flächenbasierter Landfußabdruck für diese zweite Landnutzungskategorie Ergebnisse liefern, welche nur schwer zwischen unterschiedlichen Ländern zu vergleichen und interpretieren sind. Daher empfehlen wir die Anwendung eines nach Produktivität gewichteten Grünland-Fußabdrucks (siehe Abschnitt 3.3).
- Ähnlich werden auch Waldflächen in stark variierender Intensität genutzt, worüber jedoch keine verlässlichen Statistiken erhältlich sind. Es ist daher nötig, die Nutzung von Waldflächen in Relation zu den berichteten Holzproduktionsmengen zu schätzen. Wir empfehlen, dazu regionale Holzzuwachsraten heranzuziehen (siehe Abschnitt 3.4).

3.2 Ackerland-Fußabdruck

Der Ackerland-Fußabdruck ist ein Indikator, der die Fläche des Ackerlandes misst, welche für die Produktion von Gütern genutzt wird, die von der Bevölkerung eines Landes konsumiert werden. Drei Hauptnutzungskategorien dominieren den Ackerland-Fußabdruck:

- i) Verwendung zu Nahrungsmittelzwecken zur Herstellung von pflanzlichen Ernährungsprodukten, beispielsweise aus Getreide, Ölsaaten, Gemüse, Obst und Gewürzen;
- ii) Verwendung zu Futtermittelzwecken zur Herstellung von tierischen Produkten, einschließlich z.B. Fleisch und Milchprodukten, Eiern und tierischen Fetten;

- iii) Verwendung zu Nichtnahrungszwecken, z.B. pflanzliche Öle für Biokraftstoffe, Baumwolle für Textilien oder Tierhäute für Lederprodukte.

Ackerland umschließt in der hier verwendeten Definition nicht nur temporäre Feldfrüchte, sondern auch Dauerkulturen wie Kaffee und Kakao. Der Ackerland-Fußabdruck berücksichtigt sowohl Güter aus inländischer wie auch aus ausländischer Produktion. Er wird daher berechnet als die Summe von inländisch genutzten Flächen („Produktion“) und in importierten Gütern enthaltenen virtuellen Flächen („Importe“) abzüglich der in Exportgütern enthaltenen virtuellen Flächen („Exporte“).

Auf Basis des hybriden Flächenfußabdruckmodells, das in Abschnitt 2.2 beschrieben wurde, wurde der Ackerland-Fußabdruck Deutschlands, wie auch für 20 andere Länder und Weltregionen, einschließlich der EU-28, für die Periode von 1995 bis 2010 berechnet.

3.2.1 Der Ackerland-Fußabdruck von Deutschland

3.2.1.1 Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks

Im Jahr 2010 basierte Deutschlands Bedarf an landwirtschaftlichen Produkten, die zu Nahrungs- und Futtermittelzwecken, sowie zu Nichternährungszwecken und für Exporte benötigt wurden, auf Anbauflächen im Umfang von etwa 36 Millionen Hektar Ackerland (Tabelle 1).

Von dieser Landfläche stammt etwa ein Drittel aus inländischer Bewirtschaftung und zwei Drittel von außerhalb Deutschlands, welche als virtuelle Flächen in importierten pflanzlichen und tierischen Produkten enthalten sind. Gleichzeitig exportiert und re-exportiert die deutsche Landwirtschaft und Industrie Güter äquivalent zu etwa 13,6 Millionen Hektar. Insgesamt ist Deutschland ein Nettoimporteur von virtuellem Ackerland.

Der Ackerland-Fußabdruck betrug im Jahr 2010 rund 22,4 Millionen Hektar. Deutschlands Selbstversorgungsquote mit Ackerland (Ackerland in inländischer Produktion dividiert durch den Ackerland-Fußabdruck) betrug 53 %. Das heißt, dass nahezu die Hälfte des Ackerlands, das benötigt wurde um den inländischen Konsum zu decken, außerhalb von Deutschland lag.

Tabelle 1. Ackerflächen in Produktion, Außenhandel und Konsum, 2010

Position	Fläche in 1000 Hektar
Inländische Produktion	12.088
+ Importe	24.227
Gesamter Input in die deutsche Wirtschaft	36.315
- Exporte	- 13.621
- Veränderung des Bestands	- 336
Ackerland-Fußabdruck	22.359

Abbildung 1 illustriert die Zusammensetzung von Deutschlands Ackerland-Fußabdruck nach Hauptnutzungskategorie im Jahr 2010. Fast die Hälfte von Deutschlands Ackerland-Fußabdruck (48,5 %) hing mit dem Konsum von tierischen Produkten zu Nahrungsmittelzwecken (Fleisch, Milchprodukte, Eier) zusammen, etwa ein Viertel mit dem Konsum pflanzlicher Nahrungsmittel und ein weiteres Viertel mit Nichtnahrungsmitteln. Tierische Produkte steuern dadurch zu einem weitaus größeren Anteil zum gesamten Ackerland-Fußabdruck von Deutschland bei als der pflanzliche Teil der Ernährung.

Abbildung 1. Zusammensetzung von Deutschlands Ackerland-Fußabdruck, 2010

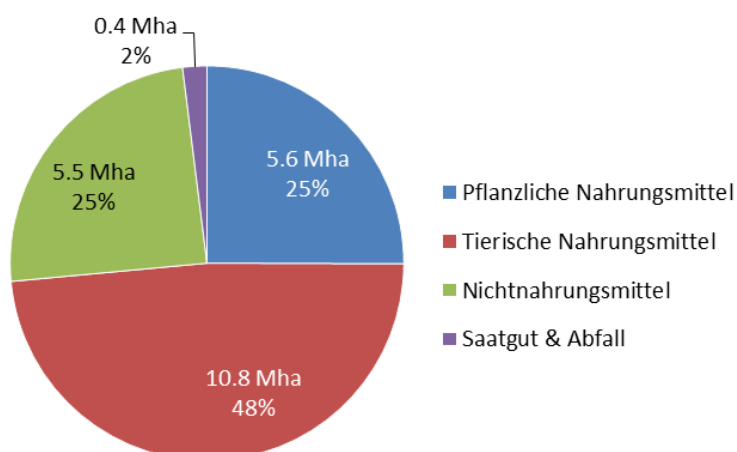


Tabelle 2 gibt darüber hinaus Einblicke in die Entwicklung des Ackerland-Fußabdrucks Deutschlands über die Jahre von 1995 bis 2010. Der Anteil von Nichtnahrungsmitteln ist in den betrachteten 15 Jahren stetig gestiegen, von 19 % im Jahr 1995 auf über 24 % im Jahr 2010, während der Fußabdruck pflanzlicher Nahrungsmittel in etwa dem gleichen Maß sank.

Tabelle 2. Ackerland-Fußabdruck Deutschlands, 1995 bis 2010, in 1000 Hektar

	1995	2000	2005	2010
Pflanzliche Nahrungsmittel	6.532	5.853	5.597	5.604
Tierische Nahrungsmittel	11.315	9.929	10.769	10.835
Nichtnahrungsmittel	4.327	4.453	4.796	5.476
Saatgut & Abfall	462	439	403	444
Gesamt	22.636	20.674	21.565	22.359

3.2.1.2 Die Rolle des Außenhandels

Wie Tabelle 1 bereits darstellte, spielt der Handel eine zentrale Rolle für Deutschlands Ackerland-Fußabdruck. Tabelle 3 betrachtet die Komposition der in Deutschlands Importen und Exporten enthaltenen virtuellen Flächen nach Gütergruppen.

Tabelle 3. In Importen und Exporten enthaltenes Ackerland, nach Hauptgütergruppen, 2010, in 1000 Hektar

	Importe	Exporte
Getreide	3.351	1.683
Ölsaaten	3.287	163
Pflanzenöle	3.453	1.925
Ölkuchen	1.330	682
Obst, Gemüse, Gewürze	1.417	333
Kaffee, Tee, Kakao	3.246	2.213
Industriepflanzen	1.439	417
Zuckerpflanzen, Wurzeln, Hülsenfrüchte	256	154
Alkohol	1.320	453

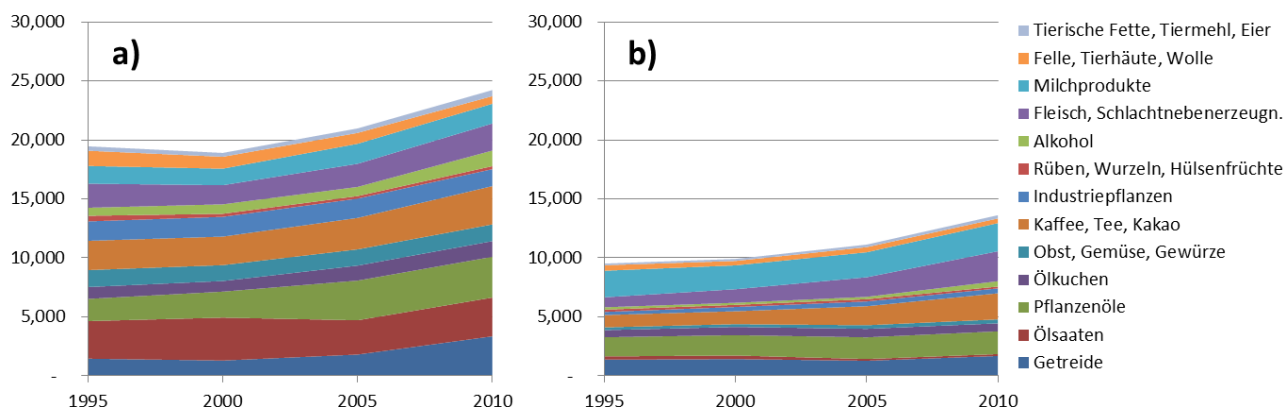
	Importe	Exporte
Fleisch, Schlachtnieberzeugnisse	2.295	2.537
Milchprodukte	1.671	2.389
Felle, Tierhäute, Wolle	647	396
Tierische Fette, Tiermehl, Eier	515	277

Ein Drittel (33 %, 8 Mha) dieses virtuell importierten Ackerlands hing mit Ölsaaten, zu denen z.B. Soja, Raps und Palmöl zählen, zusammen. Andere wichtige Güter mit großen virtuell importierten Ackerflächen schlossen Genussmittel (Kaffee, Tee, Kakao) und Getreide ein, beide mit etwa 3 Mha virtuell importiertem Ackerland, gefolgt von Fleisch (2,3 Mha), Milchprodukten (1,7 Mha) und Industriepflanzen (1,4 Mha).

Zugleich war Deutschland auch ein bedeutender Exporteur von Nahrungsmittel- und Nichtnahrungsmitteln und (re-)exportierte im Jahr 2010 knapp 40 % (oder 14,5 Mha) des gesamten Flächeninputs in die deutsche Wirtschaft (Ackerland in inländischer Produktion sowie in Importen von tierischen und pflanzlichen Produkten). Wichtige Exportgüter waren Fleischprodukte (2,5 Mha), Milchprodukte (2,4 Mha), Genussmittel (2,2 Mha), sowie Produkte aus Pflanzenölen (1,9 Mha) und Getreide (1,7 Mha), welche fast 80 % der exportierten Güter ausmachten.

Während die bewirtschafteten Ackerflächen in Deutschland sich seit 1995 kaum verändert haben, weder bezüglich deren Umfang noch bezüglich der Zusammensetzung der Feldfrüchte, stiegen die Mengen der gehandelten Güter und der damit zusammenhängenden Ackerflächen deutlich. Verglichen mit 1995 wuchs das in Importen und Exporten enthaltene Ackerland um 25 % (+4,8 Mha) und 43 % (+4,1 Mha) (Abbildungen 2a und 2b).

Abbildung 2. In Deutschlands Importen (a) und Exporten (b) enthaltenes Ackerland, 1995 bis 2010, in 1000 Hektar



Verglichen mit 1995 stieg die Menge des Ackerlands, das in Importen und Exporten enthalten war, besonders in den Bereichen Getreide, Pflanzenöle und Fleischprodukte. Bezüglich des Ackerlands in Exporten waren die am dynamischsten expandierenden Produktgruppen Kaffee, Tee und Kakao, wie auch Produkte der Schweine- und Geflügelzucht.

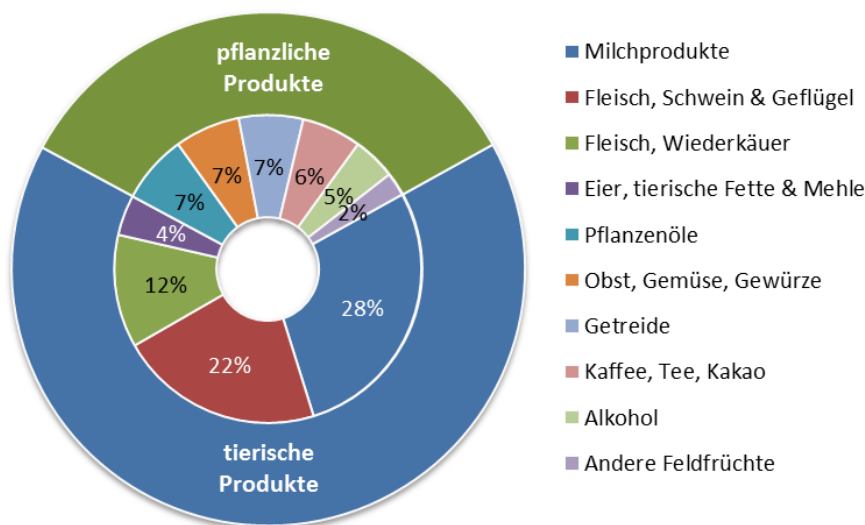
Insgesamt war Deutschland ein bedeutender Nettoimporteur von Ackerland über die gesamte Zeitspanne mit Nettoimporten von 10,6 Mha im Jahr 2010. In den Bereichen Fleisch und Milchprodukte war Deutschland hingegen ein Nettoexporteur von virtuellem Land. Dies veranschaulicht die Position Deutschlands im globalen landwirtschaftlichen Handelssystem, welche es Deutschland erlaubt, Mehrwert zu generieren, indem es unverarbeitete Agrarrohstoffe importiert und diese in der Produktion hochwertigerer tierischer Produkte verwendet, welche dann wiederum exportiert werden. Große

Mengen von Ölkuchen, Mais und anderen Getreiden werden auf Ackerland außerhalb von Deutschland produziert und als Futtermittel verwendet, um Deutschlands Viehbestand zu füttern. Ähnlich betragen die virtuellen Landflächen in Deutschlands Importen von Genussmitteln (Kaffee, Tee, Kakao) das Dreifache des inländischen Konsums. Das heißt, dass zwei Drittel der Importe (gemessen in den entsprechenden Anbauflächen) nach der Veredelung als hochwertigere Produkte re-exportiert werden.

3.2.1.3 Der Ackerland-Fußabdruck des Nahrungsmittelkonsums

Deutschlands Ackerland-Fußabdruck des Nahrungsmittelkonsums betrug im Jahr 2010 etwa 16,4 Mha. Dies entsprach knapp 2.000 m² pro Kopf. Zwei Drittel dieser Flächen oder etwa 10,8 Mha standen in Verbindung mit dem Konsum von tierischen Produkten (Abbildung 3).

Abbildung 3. Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks des Nahrungsmittelkonsums, Deutschland, 2010



Die Hauptbestandteile des Ackerland-Fußabdrucks umfassen Milchprodukte (4,6 Mha), Schweine- und Geflügelfleisch (3,5 Mha) und Fleisch von Wiederkäuern (2,0 Mha). Es ist zu beachten, dass Produkte von Wiederkäuern (insbesondere Rind, Schaf und Ziege) zusätzlich zu Ackerland auch Futter von Grünland benötigen und somit der gesamte Flächenfußabdruck deutlich größer ist, als der hier dargestellte Anteil (siehe Abschnitt 3.3).

Ein weitaus kleinerer Teil, nämlich etwa ein Drittel des Fußabdrucks des Nahrungsmittelkonsums (5,6 Mha), stammte von Produkten pflanzlichen Ursprungs. Jeweils etwa 1,1 Mha hingen mit dem Konsum der folgenden Gütergruppen zusammen: i) Getreideprodukte; ii) Pflanzenöle; iii) Obst, Gemüse, Gewürze; und iv) Genussmittel (Kaffee, Tee, Kakao).

Die Ackerflächen des Fußabdrucks des deutschen Nahrungsmittelkonsums stammte hauptsächlich (61 %) aus inländischer Nutzung. Etwa 23 % stammten aus den anderen EU-28-Ländern. Die restlichen 16 % hatten ihren Ursprung in Nicht-EU-Ländern, insbesondere in Südamerika (Genussmittel, Obst), Subsahara-Afrika (Genussmittel) und Südostasien (Genussmittel, Pflanzenöle).

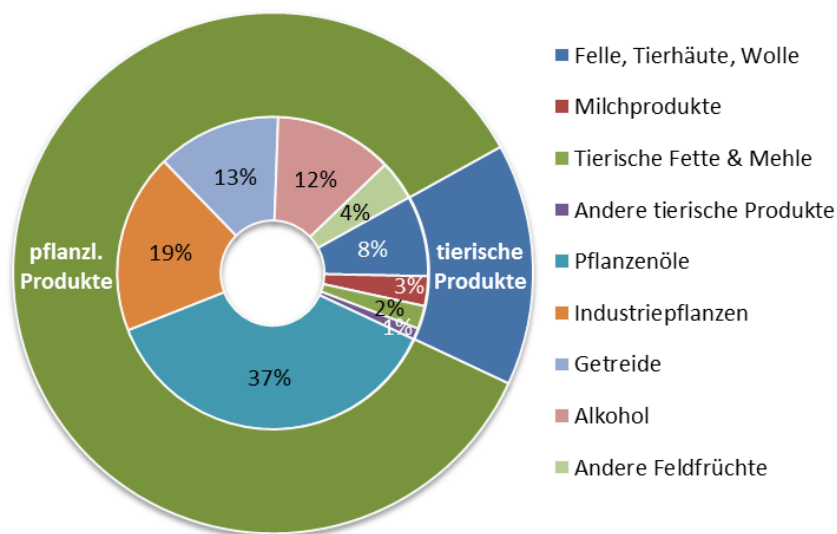
3.2.1.4 Der Ackerland-Fußabdruck von Nichtnahrungsmitteln

Rund 5,5 Mha oder 24,5 % von Deutschlands Ackerland-Fußabdruck im Jahr 2010 stammten von der Nutzung von Agrarrohstoffen für Nichtnahrungsmittelzwecke, z.B. in Form von Treibstoff, Textilien, Plastik oder Pharmazeutika (fortan ‚Non-Food-Flächenfußabdruck‘ genannt). Nahezu ein Fünftel von Deutschlands Non-Food-Ackerland-Fußabdruck stand im Zusammenhang mit Industriepflanzen,

einschließlich Naturkautschuk, Faserpflanzen und Tabak, welche ausschließlich für Nichtnahrungsmittelzwecke produziert werden.

Dem gegenüber stehen also vier Fünftel des Fußabdrucks für Nichtnahrungsmittelzwecke, die entweder direkt mit dem Nahrungsmittelsektor (z.B. Getreide, Milchprodukte) konkurrieren, oder aber es handelt sich um Neben- und Koppelprodukte (z.B. Leder und Fleisch; Biodiesel und Ölkuchen). Der Konsum von Pflanzenölen ist für 37 % des nationalen Non-Food-Ackerland-Fußabdrucks verantwortlich, wie aus Abbildung 4 hervorgeht. Diese werden beispielsweise in Form von Agrotreibstoffen zu fossilen Treibstoffen beigemischt, wie durch die EU-Biotreibstoff-Richtlinie vorgesehen ist. Ethanol aus Zuckerpflanzen und Getreide wie auch Bioplastik sind einige der anderen Nichtnahrungsmittelverwendungen von wachsender Bedeutung.

Abbildung 4. Zusammensetzung des Non-Food-Ackerland-Fußabdrucks von Deutschland, 2010



Während mit 61 % die große Mehrheit des Ackerland-Fußabdrucks des deutschen Nahrungsmittelkonsums aus dem Land selbst stammte und 23 % aus anderen EU-Ländern kamen, basierten nur 14 % des Non-Food-Ackerland-Fußabdruck auf inländischen Landressourcen und weitere 14 % auf denen der restlichen EU-28-Länder. Die verbleibenden 72 % des Non-Food-Ackerland-Fußabdrucks wurden aus Ländern außerhalb der EU-28 importiert. 26 % oder 1,4 Mha stammten aus der Region des restlichen Asiens („Rest of Asia“), also unter anderen den Ländern Indonesien, Malaysia, Bangladesch, Philippinen und Thailand. Nordamerika, insbesondere die USA, lieferte 12 % von Deutschlands Non-Food-Flächenfußabdruck im Jahr 2010, hauptsächlich in Form von Mais bzw. dem aus Mais hergestellten Ethanol.

Die vier wichtigsten Nichtnahrungsmittel waren Pflanzenöle, nicht für den Verzehr vorgesehener Alkohol, Fasern und Faserpflanzen sowie Mais und auf Mais basierende Produkte wie Ethanol. Mehr als 56 % der Pflanzenöle wurden von außerhalb der EU-28 importiert. Auch Non-Food-Alkohol, Faserpflanzen und Mais stammen weit überwiegend von außerhalb der EU (84 %, 96 % bzw. 97 %).

Diese Ergebnisse zeigen eine merklich größere Importabhängigkeit für Nicht-Nahrungsmittel im Vergleich zu Nahrungsmitteln. Die steigende Nachfrage Deutschlands im Bereich der Nichtnahrungsmittel, insbesondere nach Pflanzenölen und Ethanol als Ersatz für fossile Kraftstoffe, hat dadurch überproportionale Auswirkungen auf andere Länder, die diese Rohstoffe auf den Weltmärkten bereitstellen. Diese Ergebnisse untermauern somit die Forderung nach der sorgfältigen Untersuchung von Landnutzungsveränderungen und die Auswirkungen der wachsenden Produktion von Biokraftstoffen darauf (siehe UNEP, 2009).

3.2.2 Vergleiche des Ackerland-Fußabdrucks

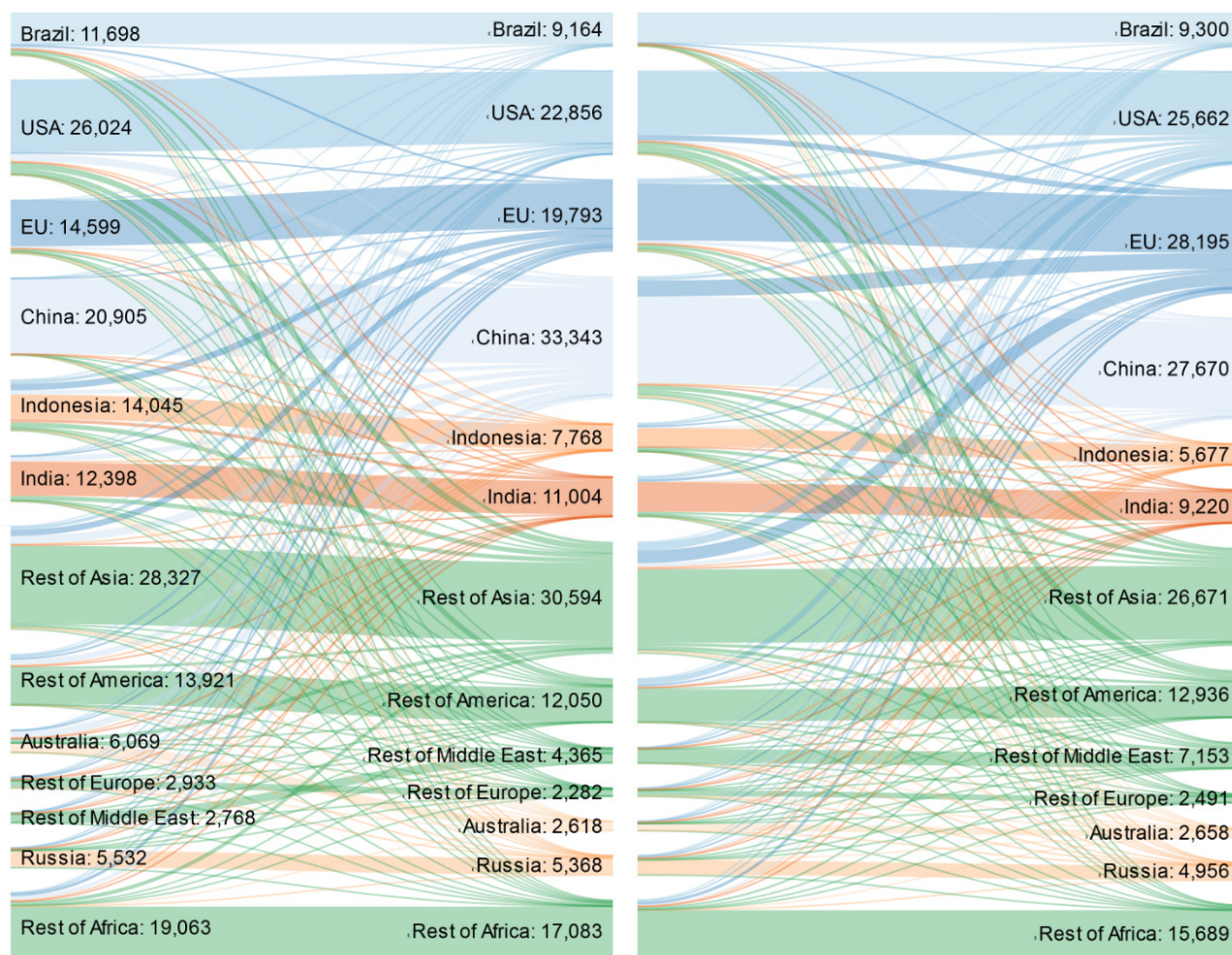
3.2.2.1 Europäische Länder in ihrem globalen Kontext

Der Vergleich der Muster des deutschen Ackerland-Fußabdrucks mit Entwicklungen, die in anderen EU-Ländern beobachtbar sind, zeigt einige Parallelen auf. Das in den Ländern der Europäischen Union verfügbare und bewirtschaftete Ackerland schrumpfte in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich von 131 Mha im Jahr 1995 auf 121 Mha im Jahr 2010. Gleichzeitig wuchsen das Gesamthandelsvolumen und die damit verbundenen virtuellen Ackerlandflüsse. Die Nettoimporte von Ackerland in die EU blieben über die betrachtete Zeitspanne jedoch recht stabil zwischen 35 und 39 Mha. Die Abnahme des EU-Ackerland-Fußabdrucks von 170 Mha im Jahr 1995 auf 157 Mha im Jahr 2010 ging daher zu Lasten der heimischen Ackerlandnutzung, welche sich signifikant verringerte.

Die Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks für den Nahrungsmittelkonsum in der EU ist der Deutschlands sehr ähnlich. Nahezu 60 % des Fußabdrucks stammen vom Konsum tierischer Produkte wie insbesondere Fleisch, Milchprodukte und Eier. Die bemerkenswerteste Tendenz in der Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks im Laufe der Zeit war der sinkende Anteil von Nahrungsmitteln zu Gunsten eines höheren Anteils von Nichtnahrungsmitteln, welche im Jahr 2010 insgesamt 18 % zum EU-Ackerland-Fußabdruck beitrugen. Der Zuwachs im Non-Food-Flächenfußabdruck liegt zu einem großen Teil an Pflanzenölen und Mais für die Produktion von Biodiesel und Ethanol.

Da das hybride Flächenfußabdruckmodell die Aufschlüsselung einer großen Anzahl von Produktionsregionen zulässt, kann die Herkunft der Anbauflächen für Nichtnahrungszwecke im Detail analysiert werden. Abbildung 5 stellt ein Flussdiagramm von Nichtnahrungsmitteln gemessen in den dafür erforderlichen Anbauflächen im Jahr 2010 dar. Auf der linken Seite sind die landwirtschaftlichen Produktionsländer und -regionen dargestellt, der mittlere Teil des Diagramms bezieht sich auf den Ort der industriellen Weiterverarbeitung der biogenen Rohstoffe, während die rechte Seite die konsumierenden Länder und Regionen zeigt.

Abbildung 5. Globale Flüsse von virtuellem Ackerland enthalten in Nichtnahrungsmitteln von produzierenden zu verarbeitenden und zu konsumierenden Ländern und Regionen, in 1000 Hektar, 2010



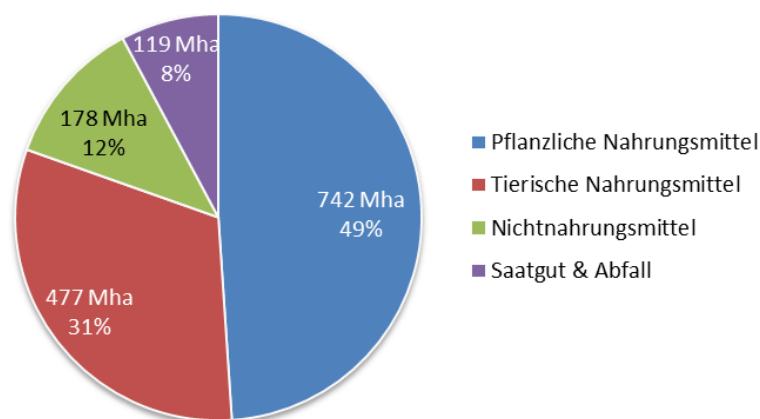
Mit mehr als 28 Millionen Hektar im Jahr 2010 war die EU die größte konsumierende Region von in Nichtnahrungsmitteln enthaltenem Ackerland, gefolgt von China, dem Rest von Asien und den USA. Weniger als die Hälfte des Landes, das für die Produktion der in der EU konsumierten Nichtnahrungsmittel benötigt wird (etwa 12,5 Mha), befand sich in der EU selbst. Große Mengen von Ackerland (7,3 Mha) wurden für die industrielle Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Produkte zu Nichtnahrungszwecken innerhalb der EU importiert, insbesondere Pflanzenöle aus Indonesien und anderen asiatischen Ländern, die in der oleochemischen Industrie (z.B. Seifen, Waschmittel, Kosmetikprodukte, Biokraftstoffe) Verwendung finden.

Der Großteil des Produktionsoutputs (welcher Ackerflächen von 19,8 Mha entspricht) diente dem Konsum innerhalb der EU selbst. Zusätzlich wurden weiterverarbeitete Produkte aus allen Teilen der Welt importiert, besonders aus China (4,4 Mha, hauptsächlich re-exportierte Pflanzenöle), Rest von Asien (3 Mha, Pflanzenöle und Kautschuk) und den USA (1,6 Mha, hauptsächlich Mais).

3.2.2.2 Globaler Vergleich

Im Gegensatz zu Deutschland und der EU weist die Zusammensetzung des globalen Ackerland-Fußabdrucks einen bedeutend größeren Anteil von Nahrungsmitteln auf (Abbildung 6).

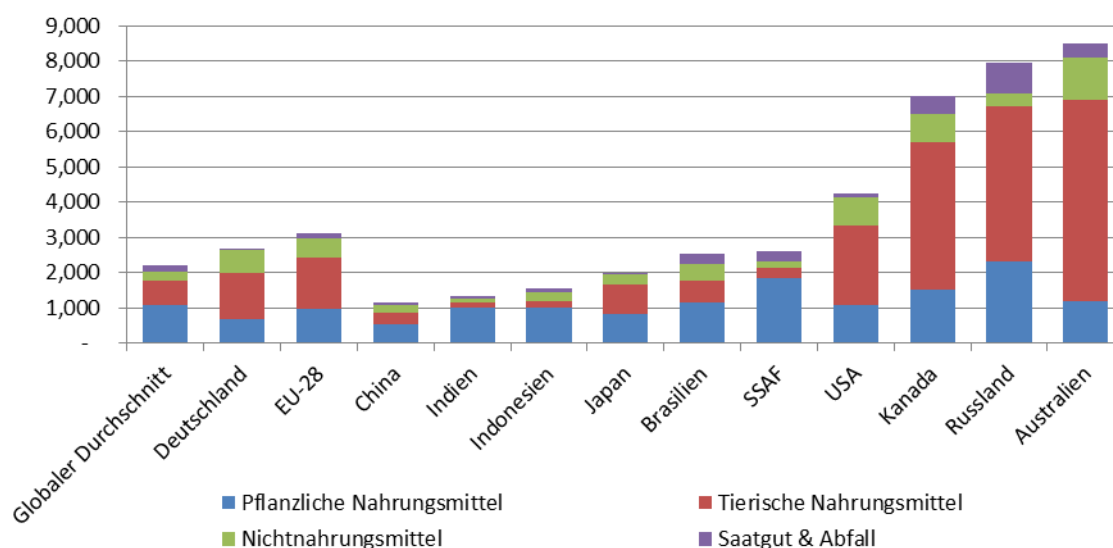
Abbildung 6. Zusammensetzung des globalen Ackerland-Fußabdrucks, 2010



Aus der globalen Perspektive stammte im Jahr 2010 fast die Hälfte des Ackerland-Fußabdrucks aus dem Konsum pflanzlicher Nahrungsmittel, während der Anteil des Konsums tierischer Produkte zu Nahrungsmittelzwecken nur 31 % betrug, verglichen mit 48 % im Fall von Deutschland. Dies illustriert die Tatsache, dass die Ernährung in Industriestaaten zu einem großen Teil auf tierischen Produkten basiert, während fleischarme Ernährungsweisen im globalen Süden weiterhin weit verbreitet sind. Dies impliziert auch, dass der aktuelle Ernährungswandel in vielen Entwicklungsländern (Kastner et al., 2012) bedeutsame Auswirkungen auf die globale Landnachfrage haben wird. Landnutzung für die Produktion von industriellen Nichtnahrungsmitteln macht nur 12 % des globalen Fußabdrucks aus, verglichen mit 25 % in Deutschland und 18 % in der EU. Auf globaler Ebene werden also vor allem Biokraftstoffe, aber auch andere Güter wie Textilien und Lederprodukte, in bedeutend geringeren Mengen konsumiert als in den Industriestaaten.

Dieser Unterschied wird von Abbildung 7 weiter beleuchtet, welche den Ackerland-Fußabdruck verschiedener Länder und Weltregionen in Quadratmetern pro Kopf darstellt, aufgeschlüsselt in die Hauptnutzungskategorien.

Abbildung 7. Zusammensetzung des Ackerland-Fußabdrucks verschiedener Länder und Weltregionen, in Quadratmetern pro Kopf, 2010



Anmerkung: SSAF = Subsahara-Afrika

Abbildung 7 stellt die deutliche regionale Heterogenität im Umfang und der Zusammensetzung des Flächenfußabdrucks verschiedener Länder dar. Im Jahr 2010 übertraf der Pro-Kopf-Fußabdruck von Ackerland in der Europäischen Union und in Deutschland den globalen Durchschnitt von etwa 2200 m² um 42 % beziehungsweise 23 %. Global betrachtet wurde die Hälfte des Ackerlands für die Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel verwendet, während diese in der EU und Deutschland nur jeweils 31 % und 25 % ausmachten.

Der niedrigste Pro-Kopf-Ackerland-Fußabdruck war in den am dichtesten besiedelten asiatischen Ländern zu beobachten, einschließlich China (etwa 1100 m²), Indien (1350 m²) und Indonesien (etwa 1600 m²). Trotz ihrer beschränkten Ackerlandressourcen pro Kopf waren Indien und Indonesien Nettoexporteure von Ackerland mit Selbstversorgungsquoten von jeweils 104 % und 120 %. Wegen des steigenden Konsums tierischer Produkte wurde China im Beobachtungszeitraum zum Nettoimporteur von Ackerlandressourcen mit einer Selbstversorgungsquote von nur 78 % im Jahr 2010.

Die größten Ackerlandfußabdrücke (über 7000 m² pro Kopf) wurden in Australien, Russland und Kanada gefunden, von welchen Australien und Kanada gleichzeitig auch Nettoexporteure von Anbauflächen sind. Die großen Fußabdrücke in diesen Ländern sind in den extensiven landwirtschaftlichen Produktionsmethoden mit großen Brachflächen (Australien, 46 Mha; Kanada, 48 Mha; Russland, 122 Mha) begründet, während die Bevölkerungsdichten vergleichsweise klein sind. Subsahara-Afrika weist den zweithöchsten Wert für pflanzliche Nahrungsmittel auf, was sich auf vergleichsweise geringe Erträge zurückführen lässt.

3.3 Nach Produktivität gewichteter Grünland-Fußabdruck

Die Pilot-Berechnungen, die in diesem Projekt durchgeführt wurden, um einen produktivitätsgewichteten Grünland-Fußabdruck zu ermitteln, illustrieren, dass für diese Landnutzungskategorie, die durch stark variierende Erträge pro Hektar charakterisiert ist, die gewichtete Perspektive andere Schlussfolgerungen zulässt als die Perspektive der tatsächlichen Flächen. Die Selbstversorgungsquote des deutschen Konsums von grünlandbasierten Produkten steigt erheblich von 34 % auf 62 %, wenn eine Normalisierung angewendet wird. Diese Abweichungen entstehen dadurch, dass einige Produktgruppen von großer Wichtigkeit für den deutschen Konsum, vor allem Fleisch und Milchprodukte, sowohl in Deutschland als auch bei Deutschlands Handelspartnern auf Grünland produziert werden, welches eine beträchtlich höhere Bioproduktivität aufweist als der globale Durchschnitt.

3.3.1 Methodisches Konzept

Die Bioproduktivität von Grünland variiert stark zwischen den Weltregionen. Sie rangiert dabei vom höchst produktiven Grünland Südamerikas oder Zentraleuropas bis hin zu marginalen Böden in semiariden Regionen in Zentralasien bis zu den nördlichen Teilen der Sahel. Die Berechnung eines ungewichteten flächenbasierten Indikators für den Grünland-Fußabdruck würde daher zu höchst unterschiedlichen Ergebnissen führen, welche schwer zu interpretieren und kaum vergleichbar wären. Dass ein beträchtlicher Anteil der globalen Nutzung von Land durch den Menschen auf Grünland stattfindet, unterstreicht die Notwendigkeit der Entwicklung von aussagekräftigen Flächenfußabdruckindikatoren für diesen wichtigen Bereich der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Hier wird vorgeschlagen, den Grünland-Fußabdruck relativ zur potenziellen Biomasseproduktivität des jeweiligen Produktionsgebietes zu normalisieren. Zu diesem Zweck sind räumlich detaillierte Daten zur Grünlandproduktivität (zum Beispiel aus dem GAEZ-Modell, IIASA und FAO, 2012) nötig, welche zur Ermittlung eines durchschnittlichen nationalen Grünlandertrags verwendet werden können. Diese können dann zu einer definierten Referenzproduktivität für Grünland normalisiert werden. Als Referenzproduktivität kann zum Beispiel der globale Durchschnittsertrag verwendet werden, oder aber ein beliebiger anderer Referenzwert (siehe unten).

Der produktivitätsgewichtete Grünland-Fußabdruck eines Landes wird daher größer sein als sein (ungewichteter) Fußabdruck, wenn importierte tierische Produkte aus Ländern mit höherer Produktivität als dem Referenzwert stammen. Umgekehrt, wenn ein Land bedeutende Mengen von Gütern aus Gebieten mit niedriger Grünlandproduktivität konsumiert, verringert die Gewichtung des Flächenfußabdrucks nach potenzieller Produktivität den nationalen Fußabdruck relativ zu anderen Ländern.

Beispielsweise führt die Anwendung einer Referenz-Grünlandproduktivität von fünf Tonnen pro Hektar (das entspricht ungefähr dem Durchschnitt Zentraleuropas) zu einer Verringerung der berichteten 3.400 Millionen Hektar global genutztes Grünlands auf ein Äquivalent von 1.400 Millionen Hektar Referenz-Grünland (Äquivalenzhektar).

In diesem Projekt wurde die Normalisierung der Grünlandproduktivität auf einen Referenzwert von 2,06 Tonnen Trockenmasseertrag pro Hektar durchgeführt. Dieser Referenzwert wurde gewählt, da er den durchschnittlichen Biomasseertrag aller globalen Grünlandflächen repräsentiert. Tabelle 4 illustriert die Auswirkungen des Normalisierungsprozesses auf die jeweiligen Grünlandflächen ausgewählter Länder (IIASA und FAO, 2012).

Tabelle 4. Durchschnittliche Grünlanderträge, tatsächliche und normalisierte Grünlandflächen für ausgewählte Länder, Jahr 2000

	Grünlandertrag ¹ [tonnen/ha]	Berichtetes Grünland ² [Mha]	Anteil an globalen Grünlandflächen	Normalisiertes Grünland ³ [Mha-Äquivalent]	Anteil an globalen normalisierten Grünlandflächen
Deutschland	6,5	5	0,1 %	16	0,5 %
Frankreich	6	10	0,3 %	29	0,9 %
Brasilien	5	196	5,8 %	476	14,0 %
Argentinien	3	100	2,9 %	146	4,3 %
Vereinigte Staaten	3	236	6,9 %	345	10,1 %
China	1	400	11,8 %	194	5,7 %
Australien	1	408	12,0 %	199	5,8 %
Welt	2	3.400	100,0 %	3.400	100,0 %

¹ Quelle: GAEZ Durchschnitt für alle Zellen mit Grünlandnutzung; ² Quelle: FAOSTAT; ³ Normalisiert auf 2,06 Tonnen/Hektar, d.h. normalisierte Grünlandfläche = tatsächliche Grünlandfläche * Grünlandertrag / 2,06

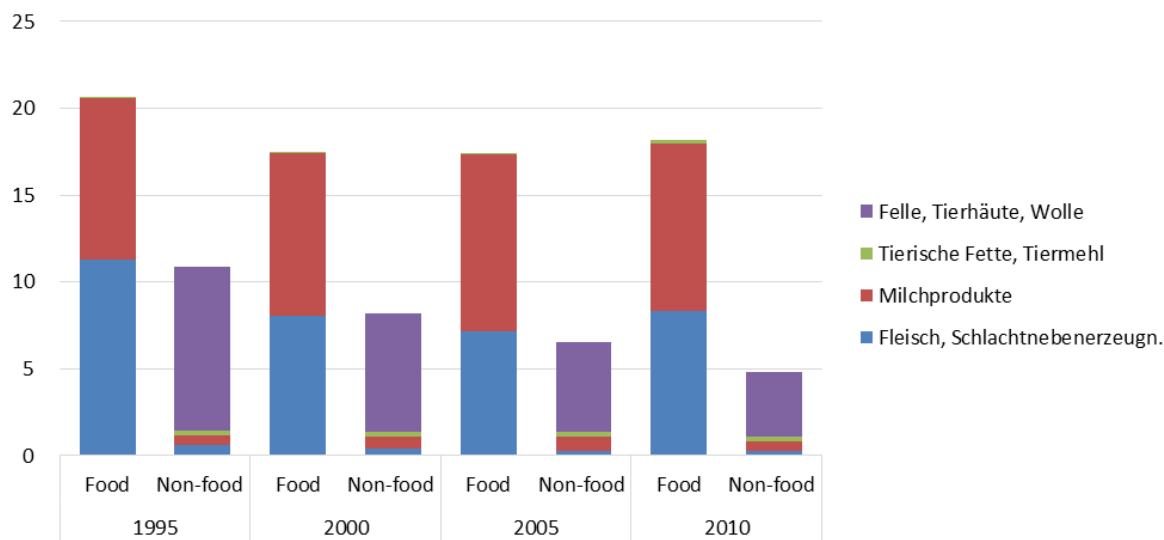
Für Länder mit einer Produktivität über dem Referenzertrag von 2,06 Tonnen pro Hektar sind die normalisierten Grünlandflächen größer als die tatsächlichen Flächen. Dies ist besonders auffällig für Länder in Zentraleuropa, aber auch in biologisch hochproduktiven tropischen Ländern wie Brasilien. Im Gegensatz dazu sinken die normalisierten Grünlandflächen in Ländern mit großen Grünlandflächen mit geringer Produktivität, wie zum Beispiel China oder Australien, auf weniger als die Hälfte des tatsächlichen Werts.

3.3.2 Der Grasland-Fußabdruck Deutschlands und der EU

Deutschlands Grasland-Fußabdruck gemessen in normalisierten Äquivalenzhektaren ist zwischen 1995 und 2010 um 27 % gesunken (siehe Abbildung 8). Dieser Rückgang ist insbesondere auf Fleisch-, Woll- und Lederprodukte zurückzuführen, während der Grünlandbedarf für Milchprodukte und tierische Fette leicht anstieg. Zuletzt stieg jedoch auch der Grünland-Fußabdruck für den Kon-

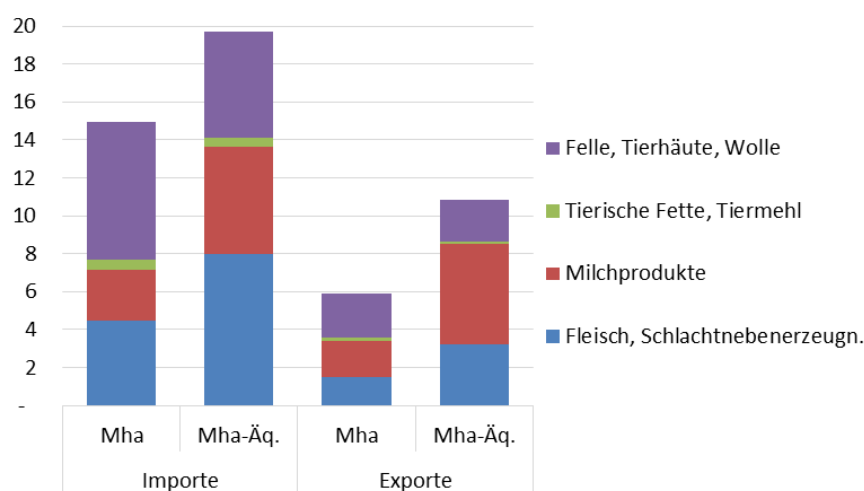
sum von Fleischprodukten wieder deutlich von 7,4 Mha in 2005 auf 8,6 Mha in 2010. Der Anteil von Nicht-Ernährungsprodukten sank kontinuierlich von 34 % in 1995 auf 21 % in 2010.

Abbildung 8. Zeitliche Entwicklung des Grünland-Fußabdrucks Deutschlands, gemessen in Millionen normalisierten Äquivalenzhektaren (Mha-Äq.), 1995-2010



Deutschland bezieht über die Importe tierischer Produkte von Wiederkäuern erhebliche Mengen von Grünland. Abbildung 9 zeigt einen starken Effekt der Nutzung von normalisierten Äquivalenzhektaren auf Importe und Exporte.

Abbildung 9. Grünland in Deutschlands Außenhandel, gemessen in Millionen Hektar (Mha) und Millionen normalisierten Äquivalenzhektaren (Mha-Äq.), Jahr 2010



Deutschlands Grünland-Fußabdruck steigt bei einem Wechsel von tatsächlichen zu normalisierten Flächen für Importe wie auch Exporte. Interessanterweise folgen die Unterschiede zwischen gewichteten und ungewichteten Flächen je nach Produktgruppe unterschiedlichen Mustern. Grünlandflächen für Fleisch und Milchprodukte wachsen beträchtlich nach der Normalisierung, was darauf hinweist, dass hoch produktive Grünlandflächen für die Herstellung dieser Produkte verwendet werden. Im Gegensatz dazu sinkt der Grünland-Fußabdruck von Nichtnahrungsmitteln wie Tierhäuten, Fellen

und Wolle von der tatsächlichen zur gewichteten Perspektive. Diese Produkte stammen daher tendenziell aus Gebieten mit niedrigerer Produktivität.

Tabelle 5 illustriert Deutschlands inländisches und im Außenhandel enthaltenes Grünland aus der Perspektive von tatsächlichen (oben) und normalisierten (unten) Flächen im Jahr 2010.

Tabelle 5. Grünland-Fußabdruck, tatsächliche Flächen (oben) und normalisierte Flächen (unten), Deutschland, 2010, in 1000 Hektar bzw. Prozent

	Inländische Produktion	Nettoim- porte	Gesamt- fußab- druck ¹	SVQ ²	Ernäh- rungsan- teil	Nichter- nährungs- anteil
	<i>in 1000 Hektar</i>			<i>in Prozent</i>		
Fleisch, Schlachtnebener- zeugnisse	1.228	2.993	4.221	29 %	92 %	8 %
Milchprodukte	3.325	736	4.061	82 %	91 %	9 %
Tierische Fette, Tiermehl, Eier	36	419	454	8 %	45 %	55 %
Felle, Tierhäute, Wolle	91	4.915	5.005	2 %	0 %	100 %
Gesamt	4.680	9.063	13.741	34 %	56 %	44 %
	<i>in 1000 Äquivalenzhektar</i>			<i>in Prozent</i>		
Fleisch, Schlachtnebener- zeugnisse	3.878	4.743	8.622	45 %	97 %	3 %
Milchprodukte	10.499	357	10.856	97 %	94 %	6 %
Tierische Fette, Tiermehl, Eier	114	347	461	25 %	41 %	59 %
Felle, Tierhäute, Wolle	287	3.456	3.742	8 %	0 %	100 %
Gesamt	14.778	8.903	23.681	62 %	79 %	21 %

¹ Inländische Produktion + Nettoimporte = Gesamtfußabdruck (schließt Abfälle in Lagerung und Nahrungsmittelverarbeitung ein); ² SVQ (Selbstversorgungsquote) = Grünland in inländischer Produktion dividiert durch den Fußabdruck

Sowohl Deutschlands inländisches als auch das im Außenhandel enthaltene Grünland steigen wegen der für die Normalisierung genutzten relativ niedrigeren globalen Durchschnittsproduktivität von 2 Tonnen/ha. Der Grünland-Fußabdruck gemessen in normalisierten Hektaren beträgt 23,7 Mha-Äq. (das korrespondiert zu 49 Millionen Tonnen Biomasse), was einem ungewichteten Grünland-Fußabdruck von 13,7 Mha gegenüber steht.

Entsprechend unterscheidet sich die Selbstversorgungsquote je nach Art des Flächenmaßes. Das Normalisieren des Grünlands auf globale Durchschnittserträge führt zu einer Selbstversorgungsquote von 62 %, d.h. 38 % des Grünlands ist außerhalb von Deutschland verortet. Basierend auf tatsächli-

chen Flächen liegt die Selbstversorgungsquote bei nur 34 %, d.h. zwei Drittel des Grünlands stammt aus dem Ausland.

Auch die Anteile am Fußabdruck von Nahrungsmitteln (Fleisch, Milchprodukte) und Nichtnahrungsmitteln (Felle, Tierhäute, Wolle) verändert sich in Abhängigkeit von der gewählten Maßeinheit. Der Nichternährungsanteil am gewichteten Grünland-Fußabdruck beträgt nur 20 %, verglichen mit 43 %, wenn der Fußabdruck in tatsächlichen Flächen gemessen wird. Der Grund hierfür ist die hohe Abhängigkeit des Non-Food-Sektors von Importen aus Regionen, in denen die Produktivität von Grünland niedriger ist als in Deutschland. Im Gegensatz dazu stammt der Grünland-Fußabdruck für Nahrungsmittel hauptsächlich von inländischer Tierhaltung, in der die Biomasseerträge beträchtlich höher sind als im globalen Durchschnitt.

Im Laufe der Zeit zeigen sowohl Deutschlands Grünland in inländischer Produktion als auch der gewichtete Grünland-Fußabdruck eine abnehmende Tendenz, während der ungewichtete Grünland-Fußabdruck leicht anstieg. Für das Jahr 1995 weist Deutschland einen Grünland-Fußabdruck von 27,9 Mha-Äq. oder 13,5 Mha auf.

Für die EU-28 ähneln die Muster bei Herkunft und Zusammensetzung des Grünland-Fußabdrucks denen, die in Deutschland beobachtet wurden. Deutlich wird auch hier der starke Einfluss von Importen von Fellen, Tierhäuten und Wolle aus Ländern mit Grünlanderträgen unter dem globalen Durchschnitt (z.B. China, Australien). Im Durchschnitt ist die Produktivität von Grünland in der EU erheblich höher als diese 2 Tonnen/ha. Dies führt zu einem höheren Anteil der Grünlandflächen der EU an den globalen Grünlandflächen (4,6 %) gemessen in normalisierten Äquivalenzhektaren (158 Mha-Äq.), verglichen mit den berichteten tatsächlichen Grünlandflächen (68 Mha oder 2 %). Das gleiche gilt für Nettoimporte und den Grünland-Fußabdruck der EU, welche bei 167 Mha-Äq. (4,9 %) normalisiertem Grünland liegen, verglichen mit 118 Mha (3,5 %) tatsächlichen Grünlands.

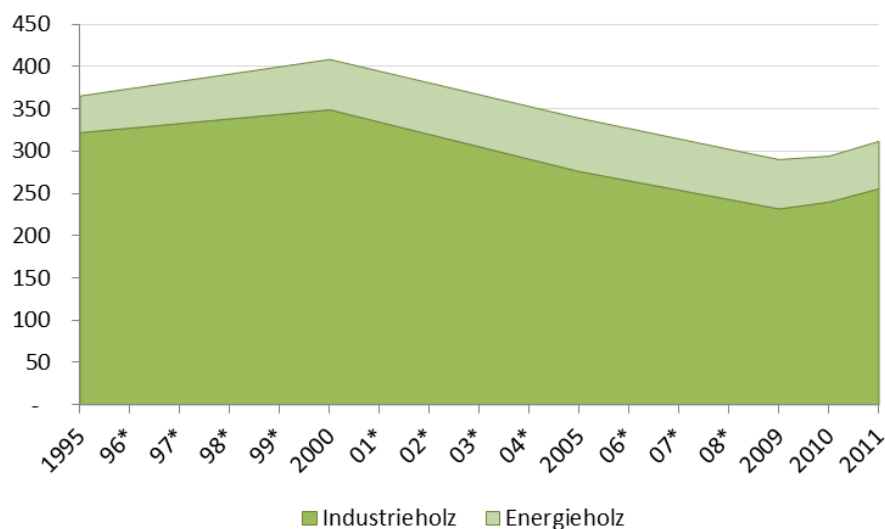
3.4 Wald-Fußabdruck

3.4.1 Methodisches Konzept

Im Gegensatz zu den vorgestellten Berechnungen des Ackerland- und Grünland-Fußabdrucks, in denen eine hybride Bilanzierungsmethode angewandt wurde, basieren die unten dargestellten Ergebnisse des Wald-Fußabdrucks auf MRIO-Kalkulationen, welche EXIOBASE Version 3.3 anwenden. Während auch für Holzprodukte ein hybrides Bilanzierungssystem vorzuziehen wäre, deckt das LANDFLOW-Modell, das in diesem Projekt genutzt wurde, nur landwirtschaftliche Rohstoffe ab.

3.4.2 Ergebnisse für Deutschland und die EU

Abbildung 10 illustriert die Entwicklung des deutschen Wald-Fußabdrucks zwischen den Jahren 1995 und 2011. Es ist anzumerken, dass die Berechnungen mit EXIOBASE bis zum Jahr 2009 in 4- bis 5-Jahres-Intervallen durchgeführt wurden und die dazwischenliegenden Jahre (mit einem Sternchen markiert) durch Interpolation der Daten geschätzt wurden.

Abbildung 10. Wald-Fußabdruck von Deutschland, 1995-2011, in 1000 km²

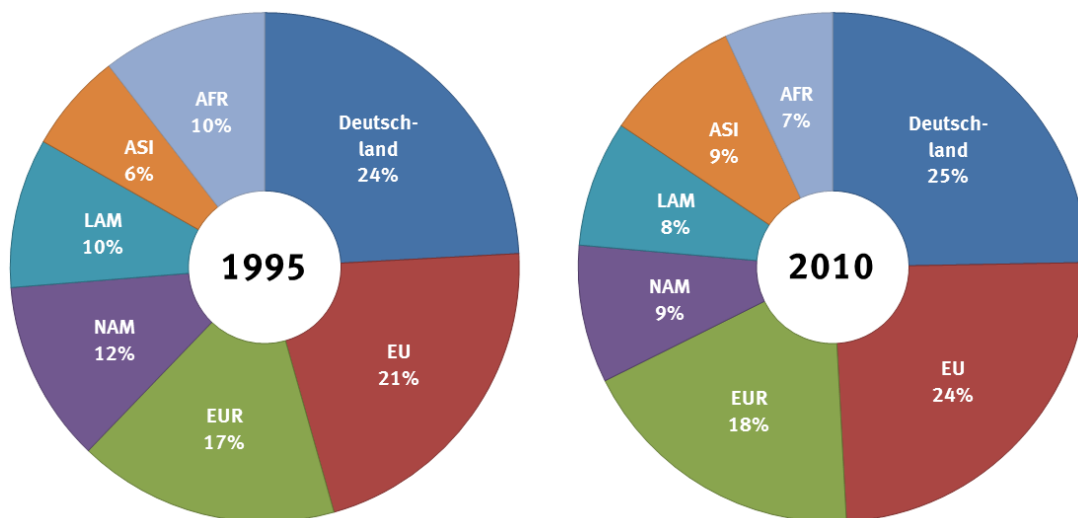
Anmerkung: Werte für die mit Sternchen markierten Jahre basieren auf Interpolation

Die Ergebnisse zeigen deutliche Fluktuationen im gesamten Wald-Fußabdruck Deutschlands auf. Während er im Jahr 1995 noch bei 365 Tausend km² lag, stieg der Wald-Fußabdruck auf nahezu 410 Tausend km² im Jahr 2000, wovon 85 % aus Industrieholz und 15 % aus Energieholz bestanden. Ab dem Jahr 2000 sank der Wald-Fußabdruck auf rund 290 Tausend km², bevor er wieder anstieg. Diese deutliche Abnahme um mehr als 30 % in der Zeit von 2000 bis 2009 wurde durch alle Sektoren angetrieben, die Holz als wichtigsten Rohstoff nutzen, also Holzverarbeitung, Möbel- und Papierherstellung, sowie Druckereien und das Verlagswesen. Auch die direkte und indirekte Verwendung von Holz in Bauaktivitäten ließ ab dem Jahr 2000 nach.

Auf der EU-28-Ebene konnten ebenfalls Variationen im Wald-Fußabdruck beobachtet werden, wenn auch weniger deutlich. Im Jahr 1995 wurden nahezu 2,5 Millionen km² benötigt, um die weltweite Endnachfrage nach Holz und holzbasierten Produkten in der EU-28 zu decken. Dieser Wert stieg auf 2,9 Millionen km² im Jahr 2000. Im Zeitraum von 2005 bis 2009 sanken beide Arten der Holznachfrage bedeutend, wobei der Fußabdruck vor allem in den Sektoren ‚Herstellung von Holz und Holzprodukten‘, ‚Papier‘, ‚Publikation und Druck‘, ‚Herstellung von Möbeln‘ und ‚Bau‘ sank. Zwischen den Jahren 2009 und 2011 blieb der EU-28-Wald-Fußabdruck relativ stabil bei 2,3 Millionen km².

Da das EXIOBASE-Modell die geographische Spezifizierung der Holzgewinnung zulässt, kann der Wald-Fußabdruck auch nach Ländern und Regionen aufgegliedert werden. Abbildung 11 illustriert die Zusammensetzung von Deutschlands Wald-Fußabdruck in den Jahren 1995 und 2010.

Abbildung 11. Geographischer Ursprung von Deutschlands Wald-Fußabdruck, 1995 und 2010



Anmerkung: AFR = Afrika; ASI = Asien; LAM = Lateinamerika; NAM = Nordamerika; EUR = Europa ohne EU; EU = Europäische Union.

Die Zusammensetzung der Herkunft von Deutschlands Wald-Fußabdruck veränderte sich leicht zwischen 1995 und 2010. Während Deutschland in der gesamten Zeitspanne etwa ein Viertel des Holzes, das zur Deckung der Endnachfrage nötig war, aus dem eigenen Staatsgebiet bezog, stieg der Anteil von Importen aus anderen europäischen Ländern von 38 % im Jahr 1995 (wovon 21 % aus EU-Ländern stammten) auf 42 % im Jahr 2010 (EU: 24 %). Der Anteil außerhalb der EU geschlagenen Holzes sank von 38 % im Jahr 1995 auf 32 % im Jahr 2010, wobei Amerika die größten außereuropäischen Mengen beitrug.

Eine ähnliche Entwicklung kann auch auf der Ebene der EU-28 beobachtet werden. Industrie- und Feuerholz, das innerhalb der EU-28 geschlagen wurde, hatte im Jahr 1995 einen Anteil von 54 %, welcher im Jahr 2010 auf 60 % stieg. Andere europäische Länder steuerten in 2010 relativ unverändert 18 % bei. Der Anteil nichteuropäischen Holzes, welches direkt oder indirekt der Endnachfrage der EU-28 dient, sank von 28 % im Jahr 1995 auf 24 % im Jahr 2010.

4 Wirkungsorientierte Indikatoren

4.1 Kriterien und Schlüsselindikatoren

Flächenbasierte Fußabdruckindikatoren, wie sie detailliert im vorangehenden Kapitel eingeführt wurden, sind ein wirkungsvolles Mittel, um das Ausmaß der Landflächen, die zur Herstellung gehandelter oder konsumierter Produkte benötigt werden, darzustellen. Trotzdem sind diese Indikatoren, ob in tatsächlichen oder gewichteten Hektaren ausgedrückt, nicht in der Lage, Umweltauswirkungen zu messen. Daher sollte ein erweiterter Flächenfußabdruckindikator sich auf Qualitätsaspekte der Landnutzung fokussieren und darauf wie nachhaltig das im Fußabdruck enthaltene Land genutzt wurde. Da das Ziel letztlich ist, dass Land auf nachhaltige Weise genutzt wird, muss der Flächenfußabdruckansatz durch Indikatoren ergänzt werden, die sich an Qualität und Auswirkungen orientieren. Es sollte bedacht werden, dass der Begriff ‚wirkungsorientierte Indikatoren‘, wie er in diesem Bericht genutzt wird, nicht nur die tatsächlichen Wirkungsindikatoren einschließt, sondern auch Belastungs- und Zustandsindikatoren, welche passende Stellvertreter für eine oder mehrere spezifische Umweltauswirkungen sind.

Bericht 3 dieses Projekts (Fischer et al., 2016b) enthält eine Übersicht über existierende Indikatorensysteme für die Messung der Umweltauswirkungen von Landnutzung und diskutierte ihre Verbin-

dungen und komplementären Eigenschaften mit flächenbasierten Fußabdruckindikatoren. Einige Kriterien wurden definiert, welche wirkungsorientierte Indikatoren zur Erweiterung von flächenbasierten Fußabdruckindikatoren erfüllen sollten:

1. Methoden zur Berechnung des Flächenfußabdrucks ordnen beobachtete Landnutzung den primären Produktionssektoren zu und verfolgen das in Gütern und Dienstleistungen enthaltene virtuelle Land entlang der globalen Lieferketten bis zum Endkonsum. Daher müssen sich wirkungsorientierte Indikatoren direkt oder indirekt auf die Primärproduktion beziehen, d.h. Informationen bieten zu Umweltauswirkungen der Primärproduktion, welche einem bestimmten Primärprodukt oder einer Landnutzungsaktivität zugeordnet werden können.
2. Um alle Umweltauswirkungen außerhalb von Deutschland darstellen zu können, welche mit der deutschen Endnachfrage in Zusammenhang stehen, sind Indikatoren mit globaler Abdeckung notwendig. Verlässliche, qualitativ hochwertige und möglichst aktuelle Daten über weltweite Umweltauswirkungen sind daher eine Schlüsselvoraussetzung für die Berechnung eines wirkungsorientierten Flächenfußabdrucks.
3. Da es das Ziel ist, eine begrenzte Anzahl an wirkungsorientierten Indikatoren zu entwickeln, sollte das Set von Schlüsselindikatoren Umweltthemen von großer Relevanz widerspiegeln und möglichst als Stellvertreter für mehrere Umweltdimensionen dienen können.

Auf Basis der genannten Auswahlkriterien identifizierte und wählte eine Gruppe von Experten von deutschen Universitäten und öffentlichen Einrichtungen und Behörden die relevantesten wirkungsorientierten Indikatoren aus. Dieser Auswahlprozess erfolgte während eines Workshops, der im Rahmen dieses Vorhabens in Berlin abgehalten wurde:

- *Energienutzung in der Landwirtschaft*, d.h. Nutzung fossiler Energie in der Landwirtschaft oder vorgelagert, benötigt für die Düngemittelproduktion (insbesondere Stickstoffdünger), landwirtschaftliche Maschinen und andere Ausstattung, z.B. für das Trocknen des Ernteguts, Wasserpumpen und Heizen der Viehställe.
- *Bewässerung in der Landwirtschaft*, klassifiziert nach dem Grad der Wasserknappheit, erlaubt es sowohl direkte als auch indirekte Effekte der Bewässerung auf Wassersicherheit und Wasserknappheit einzubeziehen.
- *Abholzung*, zeigt den direkten und indirekten Beitrag regionaler Konsummuster zur weltweiten Abholzung auf. Abholzung ist eine wirksame Proxy-Variable für einige der Hauptelemente nachhaltiger Landnutzungssysteme, nämlich Erhaltung der Biodiversität, Vermeidung von CO₂-Emissionen durch den Verlust von Vegetation und Freisetzung von Bodenkohlenstoff sowie Schutz von Frischwasserressourcen.

4.2 Entwaldungsfußabdruck

Im vorliegenden Vorhaben wurde eine quantitative Auswertung für den dritten Schlüsselindikator, also den Entwaldungsfußabdruck, durchgeführt. Die Berechnung eines Entwaldungsfußabdrucks benötigte (a) eine räumlich explizite Quantifizierung der Abholzung, (b) eine robuste Methode, um Abholzung den ‚verantwortlichen‘ Primärsektoren zuzuordnen, d.h. den auf entwaldeten Flächen produzierten landwirtschaftlichen Gütern, und (c) ein Landflussbilanzierungsmodell zur Nachverfolgung der in Produkten enthaltenen Abholzung entlang globaler Lieferketten (siehe Kapitel 2 und 3).

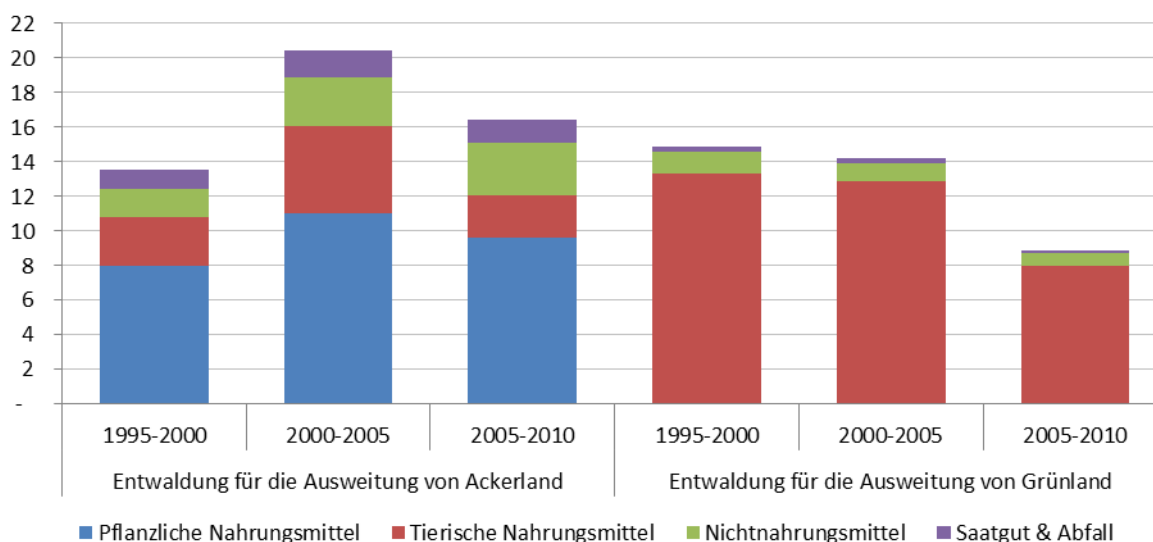
Schritt (b), die Zuordnung der direkten und indirekten (weit entfernten) Landnutzungseffekte zu spezifischen Primärsektoren, basiert in der gewählten Methode auf der Annahme, dass eine Zunahme der Anbauflächen einzelner Feldfrüchte oder die Ausweitung von Weideland in jenem Verhältnis für Abholzung verantwortlich waren, in dem die jeweiligen Primärprodukte in der gegebenen Zeitspanne zu einer landwirtschaftlichen Expansion beigetragen haben. Gemäß den berichteten Abholzungsda-

ten (FAO, 2010) wurde der Fokus auf drei Abholzungsperioden gelegt, nämlich 1995-2000, 2000-2005 und 2005-2010.

Die Ergebnisse zeigen, dass die globale Abholzung zwischen 1995 und 2010 mehr als 200 Millionen Hektar betrug. Etwa 44 % der Abholzung kann der Expansion der Ackerlandnutzung (51 Millionen Hektar Waldverlust in 15 Jahren) und gesteigerter Weidetierhaltung (38 Millionen Hektar) zugeschrieben werden. Mit 56 % ist der größere Teil der Abholzung entweder unerklärt oder kann Elementarrisiken zugeschrieben werden, also Naturkatastrophen oder klimatischen Veränderungen. In der untersuchten Zeitspanne von 15 Jahren konzentrierte sich die Abholzung auf Südamerika (32 % der gesamten Abholzung), Subsahara-Afrika (29 %) und Südostasien (16 %).

Abbildung 12 stellt die Tendenz des globalen Entwaldungsfußabdrucks separat für die Ausweitung von Ackerland beziehungsweise Grünland dar. Der aggregierte Entwaldungsfußabdruck erreichte seinen Höhepunkt zwischen den Jahren 2000 und 2005 (etwa 35 Mha), hauptsächlich aufgrund von Ackerlandexpansion, und war am niedrigsten (25 Mha) in der Periode von 2005 bis 2010.

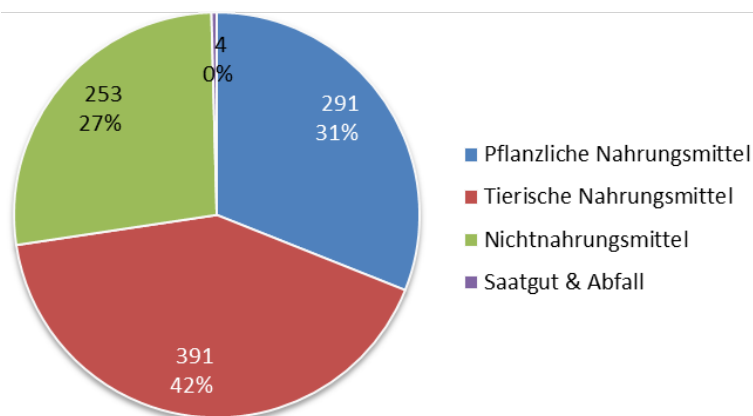
Abbildung 12. Globaler Entwaldungsfußabdruck, 1995-2010, nach Konsumkategorie, in Millionen Hektar pro 5-Jahres-Intervall



Es wird deutlich, dass die Abholzung verursachende Ausweitung von Ackerland hauptsächlich durch die gesteigerte Produktion von Nahrungsmittelerzeugnissen und zu einem geringeren Maß durch Futtermittelproduktion getrieben war. Über die Zeitspanne hinweg trugen Flächen für Nichtnahrungsmittel geringe, jedoch wachsende Anteile zum Entwaldungsfußabdruck bei. Die Abholzung verursachende Expansion von Grünland wurde hauptsächlich durch die wachsende globale Nachfrage nach tierischen Nahrungsmittelerzeugnissen angetrieben.

Der Beitrag von Deutschlands Endnachfrage zur globalen Entwaldung zwischen 1995 und 2010 lag bei etwa 940.000 Hektar. Etwa drei Viertel des Entwaldungsfußabdrucks standen in Verbindung mit dem Konsum von (in erster Linie tierischen) Nahrungsmittelerzeugnissen, und mehr als ein Viertel mit dem Konsum von industriellen Nichtnahrungsmitteln (Abbildung 13).

Abbildung 13. Zusammensetzung des Entwaldungsfußabdrucks von Deutschland, 1995-2010 (kumulativ), in 1000 Hektar



Rund 90 % der in Deutschlands Konsum enthaltenen Abholzung resultierten aus Ackerlandexpansionen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion (etwa 840.000 Hektar). Die restlichen 10 % stammten aus der Ausweitung von Grünland zur Weidetierhaltung (rund 100.000 Hektar). Wichtige Nahrungsmittelerzeugnisse, die zur Abholzung beitrugen, schließen Genussmittel (Kaffee, Tee, Kakao), Fleisch, Milchprodukte, Pflanzenöle und Obst/Gemüse/Gewürze ein. Die zentralen Nichtnahrungsmittel, die in Deutschland konsumiert wurden und andernorts zur Abholzung beitrugen, beinhalten Güter, die aus Pflanzenölen, Naturkautschuk, Alkohol (Ethanol), Baumwolle und anderen Fasern, Tabak und verschiedenen tierischen Produkten (z.B. Felle und Tierhäute) produziert werden.

Der durchschnittliche Entwaldungsfußabdruck jedes deutschen Einwohners betrug kumulativ über die Spanne von 15 Jahren 113 m², was einer durchschnittlichen jährlichen Abholzungsrate von 7,5 m² pro Kopf entspricht. Dieser Wert liegt unter dem globalen Pro-Kopf-Durchschnitt von etwa 140 m² über die gesamte Zeitspanne (9,3 m² jährlich).

Im Kontext von Deutschlands Flächenfußabdruck (siehe Kapitel 3) kann aus diesen Zahlen für die Abholzung geschlossen werden, dass durchschnittlich etwa 1 % des Ackerlands enthalten in Importen aus dem EU-Ausland abgeholzt wurde.

5 Fazit

5.1 Ergebnisse dieses Vorhabens

Dieses Vorhaben trug entscheidend zu dem äußerst dynamischen Forschungsfeld der konsumbasierten Landnutzungsindikatoren bei und wird Einfluss weit über die Diskussion von Umwelt- und Nachhaltigkeitsindikatoren in Deutschland hinaus haben.

Vor allem entwickelte das Vorhaben die erste hybride Methode zur Kalkulation des Flächenfußabdrucks, welche die Stärken eines robusten und hoch detaillierten physischen Modellierungsansatzes mit den komplementären Möglichkeiten, die ein ökonomischer Bilanzierungsansatz bietet, kombiniert. Die größte Stärke der hier eingesetzten Berechnungsmethode ist ihre globale Konsistenz, d.h. dass die gesamte globale Landnutzung exakt gleich dem aggregierten Flächenfußabdruck aller Länder und Regionen weltweit ist. Dies ist eine der zentralen Stärken von Top-Down-Ansätzen gegenüber Bottom-Up-Methoden, welche Koeffizienten für die Flächenintensität von Handelsgütern anwenden, um den indirekten Landbedarf für Produkte zu schätzen.

Durch die Verbindung eines monetären MRIO-Modells mit dem physischen Bilanzierungsansatz konnte dieses Vorhaben die erste detaillierte Analyse des Flächenfußabdrucks für Nichtnahrungsmittel durchführen, was der Bereich mit den höchsten Wachstumsraten und daher von besonderer politischer Relevanz ist. Die entwickelte Methode ist daher nützlich, um Informationen für neue Poli-

tikstrategien mit Fokus auf die Nichtnahrungsmittelverwendung von Biomasse, wie Bioökonomie-Strategien und -initiativen, auf nationaler (Deutschland) und internationaler (EU) Ebene zu liefern.

Während die entwickelte Methode zur Berechnung des Flächenfußabdrucks klare Stärken aufweist, insbesondere für komparative Analysen auf internationaler Ebene, wurden auch einige wichtige Schwächen identifiziert. Da die Methode Daten mit globaler Abdeckung benötigt, waren Daten von der FAO die einzige Option, um die Berechnungen mit der hybriden Methode durchzuführen. In manchen Bereichen können die FAO-Statistiken jedoch unvollständig oder von unzureichender Qualität sein. Im Fall von Deutschland waren widersprüchliche Angaben der FAO und des Statistischen Bundesamts zum Ausmaß des Ackerlands, welches in der Raufutterproduktion genutzt wird, von einiger Bedeutung für die Berechnungsergebnisse. Unterschiede in der Klassifizierung scheinen eine Verschiebung zwischen den Kategorien Ackerland und Grünland von bis zu 30 % der Landnutzung je Kategorie zu verursachen. Die Ergebnisse, die in diesem Bericht für den deutschen Ackerland-Fußabdruck präsentiert werden, könnten daher überschätzt sein, vor allem im Fall der tierischen Produkte, während der Grünland-Fußabdruck unterschätzt sein könnte. Eine Möglichkeit solchen Datenproblemen zu begegnen ist in Abschnitt 5.2 beschrieben.

Dieses Vorhaben tat zudem wichtige Schritte hin zur Entwicklung wirkungsorientierter Flächenfußabdruckindikatoren, welche flächenbasierte Indikatoren ergänzen können, um die vielfältigen ökologischen Herausforderungen und Auswirkungen im Zusammenhang mit verschiedenen Landnutzungspraktiken zu illustrieren. Das Projekt lieferte Pilotberechnungen des Entwaldungsfußabdrucks. Zusätzlich überprüfte es weitere Optionen, um ein Spektrum verschiedener Auswirkungen betrachten zu können. Quantitative Kalkulationen über Abholzung hinaus stellten sich jedoch auf Grund des hohen Aufwands für die Zusammenstellung räumlich expliziter Daten für die Auswirkungen der globalen Landnutzung als außerhalb der Reichweite dieses Projekts heraus.

Das vorgeschlagene Set von flächenbasierten und wirkungsorientierten Fußabdruckindikatoren bietet eine reichhaltige Datenbasis für die Auswertung von Politikstrategien im Zusammenhang mit der Ressource Land. Beispielsweise identifiziert der Fahrplan der Europäischen Kommission für ein ressourcenschonendes Europa die Problematik einer effizienten Nutzung begrenzter Landressourcen als ein Schlüsselement und plädiert für Instrumente für die Überwachung und Messung von Entwicklungen der Ressourceneffizienz (Europäische Kommission, 2011).

Die in diesem Vorhaben entwickelten Methoden bieten konsumbasierte Landnutzungsindikatoren mit einem hohen Detailgrad für Produkte. Mit der vorgeschlagenen Methode können die Ausmaße der genutzten Flächen für unterschiedliche menschliche Konsummuster differenziert, sowie transparent und international vergleichbar gemacht werden. Die Indikatoren können genutzt werden, um den Flächenfußabdruck und damit verbundene Umweltauswirkungen beispielsweise im Kontext verschiedener Ernährungsmuster zu analysieren, und können als wichtiger Input für die Diskussion von Kriterien und Maßnahmen dienen, um nachhaltigere Konsummuster zu fördern.

5.2 Weitere Entwicklungsmöglichkeiten

Während bedeutsame Fortschritte in diesem Vorhaben erreicht wurden, bleiben einige Fragen für zukünftige Forschung und Entwicklung offen.

Dies betrifft auf der einen Seite eine weitere Verbesserung der Bilanzierungsmodelle für Flächenfußabdruckindikatoren. Ein zentrales Gebiet ist hier das Erreichen einer detaillierteren Berichterstattung von Ländern und Produkten. Der aktuelle Modellierungsrahmen arbeitet, wenn auch detaillierter als die meisten vorherigen Flächenfußabdruckmodelle, immer noch auf einem relativ hohen Niveau der Aggregation. Das in diesem Vorhaben im Hybridverbund verwendete physische Fußabdruckmodell sollte weiter detailliert werden. Bei der Umsetzung dieser Überarbeitung sollte eine hoch transparente Aufkommens- und Verwendungsstruktur angewandt werden, wie auch in der umweltökonomi-

schen Gesamtrechnung üblich. Die resultierende physische Biomasse-MRIO-Tabelle kann dann mit einer monetären MRIO-Tabelle kombiniert werden, wodurch ein konsistentes und transparentes hybrides (oder mit unterschiedlichen Einheiten arbeitendes) IO-Modell mit globaler Abdeckung und hohem Detailgrad entstünde. Zusätzlich zur Verbesserung von Detail und Transparenz würde dies auch die Anwendung analytischer Instrumente wie der strukturellen Dekompositions- oder Pfadanalyse erlauben, um Lieferketten und Entwicklungen im Laufe der Zeit weiter zu untersuchen.

Außerdem könnten verlässliche Werte zur Grünlandnutzung in der Weidetierhaltung, etwa aus nationalen statistischen Quellen, die Robustheit der Ergebnisse des Grünland-Fußabdrucks deutlich verbessern. Zudem könnte eine detailliertere Berichterstattung der Futtermittelnutzung für spezifische Viehkategorien die aktuellen Schätzungsmethoden ersetzen. Die Vollständigkeit und Robustheit der Daten, die der FAO über die Produktion von Raufutter (z.B. Gräser, Grünfutter und Silage) berichtet werden, sollten weiter überprüft werden. Dies bedarf konsistenter Definitionen der statistisch erfassten Größen wie z.B. Landnutzungs- und -bedeckungstypen, und einer harmonisierten Berichterstattung an die FAO.

Im Bereich der Waldflächen sind kaum verlässliche und vergleichbare Landnutzungsstatistiken verfügbar. Die hier verwendete Schätzmethode basiert auf Angaben aus der globalen Waldressourcen-erhebung der FAO zu Holzproduktion und Holzzuwachs pro Jahr und Hektar Waldland (FAO, 2010). Für die Robustheit und Vergleichbarkeit von Berechnungen des Wald-Fußabdrucks wären verlässliche internationale Statistiken zur Landnutzung in der Forstwirtschaft sowie zu deren Intensität von großem Nutzen.

Abschließend sollten nationale Anwendungen des Flächenfußabdruckmodells, das in diesem Vorhaben entwickelt wurde, auch verfügbares nationales statistisches Material und Expertise nutzen. Wie das zuvor illustrierte Beispiel zu widersprüchlichen Angaben der FAO und des Statistischen Bundesamts zum Ausmaß des in der Raufutterproduktion genutzten Ackerlands deutlich macht, führt die Anwendung eines Top-Down-Bilanzierungsansatzes auf Basis internationaler Datenquellen das Risiko von Diskrepanzen mit nationalen Statistiken mit sich. Dieses Problem kann umgangen werden, indem die FAO-Daten in bestimmten Fällen durch offizielle nationale Handels- und Landwirtschaftsstatistiken ersetzt werden. Dadurch kann ein SNAC-Modell („single-country national accounts consistent“, SNAC) erstellt werden, also ein Fußabdruckmodell, welches in seiner Abdeckung global ist, für das Land der Analyse jedoch vollständige Konsistenz mit offiziellen nationalen Statistiken aufweist (Edens et al., 2015). Das hilft Datenlücken zu füllen und Fehlinterpretationen zu vermeiden und ist höchst empfehlenswert, wenn Fußabdruckmodelle zu Zwecken des Umweltmonitorings oder zur Politikfolgenabschätzung auf nationaler Ebene eingesetzt werden.

In Bezug auf wirkungsorientierte Indikatoren wäre es nützlich und wichtig, die Unterschiede in der Effektivität der Nutzung von Acker- und Weideland (einschließlich ihrer unterschiedlichen Erträge) und deren sinnvolle Interpretation im Hinblick auf den Flächenfußabdruck und auf Umweltauswirkungen zu studieren. Dies erfordert wohl die Nutzung einer detaillierteren geografischen Datenbank über nationale Statistiken hinaus und die Anwendung räumlicher Downscaling- und Modellierungsmethoden.

Zweitens ist es empfehlenswert, in zukünftigen Analysen auf die Nachhaltigkeit von Schlüsselbereichen des deutschen Flächenfußabdrucks zu fokussieren. Diese schließen beispielsweise den Bereich tierischer Produkte ein, welche bei weitem den größten Teil des deutschen Flächenfußabdrucks ausmachen. Außerdem ist der Bereich der Pflanzenöle von großem Interesse, da dieser stark abhängig von importierten Rohstoffen vor allem aus Osteuropa, Südamerika und Südostasien ist. Und nicht zuletzt ist auch der gesamte Bereich der Nichtnahrungsmittel aufgrund des starken Wachstums in den vergangenen 10 Jahren aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten besonders wichtig.

Jährliche Aktualisierungen der Berechnungen sind mit einer zeitlichen Verzögerung von zumindest vier Jahren möglich. Durch die Anwendung von Prognoseverfahren, wie in der Wirtschaftsstatistik üblich, könnte jedoch auch darüber hinausgegangen werden.

6 Bibliographie

- Bruckner, M., Fischer, G., Tramberend, S., Giljum, S., 2015. Measuring telecouplings in the global land system: A review and comparative evaluation of land footprint accounting methods. *Ecological Economics* 114, 11-21.
- Bruckner, M., Giljum, S., Fischer, G., Tramberend, S., 2017. Review of land flow accounting methods and recommendations for further development, UBA-FB-00xxx. German Federal Environment Agency, Dessau.
- Edens, B., Hoekstra, R., Zult, D., Lemmers, O., Wilting, H., Wu, R., 2015. A METHOD TO CREATE CARBON FOOTPRINT ESTIMATES CONSISTENT WITH NATIONAL ACCOUNTS. *Economic Systems Research* 27, 440-457.
- European Commission, 2011. Roadmap to a Resource Efficient Europe. European Commission, Brussels.
- European Commission, 2012a. Consultation Paper: Options for Resource Efficiency Indicators. DG Environment, Brussels.
- European Commission, 2012b. Innovating for sustainable growth: a bioeconomy for Europe. DG Research and Innovation, Brussels.
- FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010, FAO Forestry Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fischer, G., Tramberend, S., Bruckner, M., Lieber, M., 2017a. Quantifying the land footprint of Germany and the EU using a hybrid accounting model, UBA-FB-00xxx. German Federal Environment Agency, Dessau.
- Fischer, G., Tramberend, S., Van Velthuisen, H., Wunder, S., Kaphengst, T., McFarland, K., Bruckner, M., Giljum, S., 2017b. Extending land footprints towards characterizing sustainability of land use, UBA-FB-00xxx. German Federal Environment Agency, Dessau.
- IIASA, GWS, SERI, 2006. MOSUS. Final project report. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Kastner, T., Rivas, M.J.I., Koch, W., Nonhebel, S., 2012. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 6868-6872.
- Mayer, H., Flachmann, C., Wachowiak, M., Fehrentz, P., 2014. Nachhaltiger Konsum: Entwicklung eines deutschen Indikatorenansatzes als Beitrag zu einer thematischen Erweiterung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Deutschland.
- Prieler, S., Fischer, G., Hizsnyik, E., van Velthuisen, H., 2013. The LANDFLOW model: Technical description of the LANDFLOW model. Annex A-H and Chapters 3-4, in: VITO, CICERO, IIASA (Eds.), The impact of EU consumption on deforestation: Comprehensive analysis of the impact of EU consumption on deforestation. DG ENV Technical Report – 2013 – 063. European Commission, Brussels.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 20260-20264.
- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J., Rueda Cantuche, J.M., Bouwmeester, M., Oosterhaven, J., Drosowski, T., 2013. EXIOPOL—Development and illustrative analyses of detailed global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research* 25, 50-70.
- Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., Kuenen, J., Schütz, H., Acosta-Fernández, J., Usubiaga, A., Simas, M., Ivanova, O., Weinzettel, J., Schmidt, J., Merciai, S., Tukker, A., 2015. Global Sustainability Accounting—Developing EXIOBASE for Multi-Regional Footprint Analysis. *Sustainability* 7, 138-163.
- Yu, Y., Feng, K., Hubacek, K., 2013. Tele-connecting local consumption to global land use. *Global Environmental Change* 23, 1178-1186.