

Analyse von Wirtschaft-Umwelt-Beziehungen mit Hilfe eines Input-Output-Modells

Ein neuer Ansatz des Umweltrechnungswesens

Wirtschaftliche Tätigkeiten verursachen vielfältige Umweltauswirkungen. Doch die Auswirkungen ihren Ursprüngen zuzuordnen ist oftmals schwierig. Dafür wurde nun ein um Umweltaspekte erweitertes multiregionales Input-Output-Modell entwickelt.

Von Barbara Lugschitz, Stefan Giljum und Stephan Lutter

Im folgenden Artikel wird ein neuer Ansatz des Umweltrechnungswesens vorgestellt, der durch die Verbindung von Input-Output-Instrumenten mit Umwelt-Externalitäten zur Analyse von Wirtschaft-Umwelt-Strategien herangezogen werden kann. Dieser Ansatz basiert auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes Exiopol (1).

Die Input-Output-Analyse untersucht Interaktionen von Wirtschaftssektoren, Produzenten und Konsumenten, wobei alle monetären Transaktionen innerhalb der Wirtschaft aufgezeigt werden. Die für die Analyse notwendigen Input-Output-Tabellen (IOT) werden aus den Aufkommens- und Verwendungstabellen (supply and use table, SUT) abgeleitet. Abbildung 1 beschreibt den Aufbau dieser Aufkommens- und Verwendungstabellen. V^T wird Produktionsmatrix genannt und beschreibt in monetären Einheiten welche Produkte durch welchen Sektor der heimischen Produktion bereitgestellt werden. In der Matrix U kann abgelesen werden, welche Produkte ein Sektor zur

Produktion einsetzt. Y beschreibt die Endnachfrage der einzelnen Produkte, so zum Beispiel den Konsum privater Haushalte oder der Regierung sowie Exporte. Die Erweiterung dieses monetären Schemas um umweltrelevante Parameter in physischen Einheiten ermöglicht dann zum Beispiel die Berechnung von Umweltverschmutzung oder Ressourcenverbrauch der Endnachfrage von Produkten, wobei sowohl die direkten als auch die indirekten Effekte berücksichtigt werden. Die Erweiterung wird durch sogenannte Satellitentabellen erreicht, die externe Vektoren oder Matrizen darstellen, die zum monetären Basisschema hinzugefügt werden. Abbildung 1 zeigt eine einzelne Umwelterweiterung, beispielsweise CO_2 -Emissionen. Der Vektor r^{xT} zeigt die direkte Produktion von Emissionen durch die Industrie und der Vektor r^{yT} die Umweltauswirkungen durch die Komponenten des Endkonsums, also der Effekte des Ressourcenverbrauchs aus der Natur.

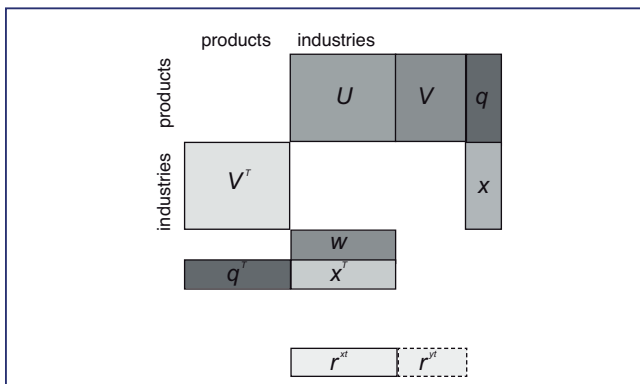
Input-Output-Modell mit Umweltaspekten

Ziel des Exiopol Projekts war es, für die Länder der EU 27 ein in den globalen Kontext eingebettetes und um Umweltaspekte erweitertes Input-Output-Modell zu erarbeiten (EE IO Analyse für „environmentally extended Input-Output Analysis“). Durch Integration möglichst vieler Umweltaspekte, wie Nutzung von Material, Fläche und Wasser, Emissionen von Treibhausgasen und weitere, ermöglicht es dieser Ansatz, die Umweltauswirkungen der Aktivitäten verschiedener Wirtschaftssektoren sowie des Endkonsums abzuschätzen. Außerdem kann ein solches Modell die Bewertung von Kosteneffizienz und Kostennutzen von Technologien sowie Politikmaßnahmen und Standards auf einer Mikro-, Meso- oder Makroebene, also auf der Ebene von Produkten, Sektoren oder der gesamten Volkswirtschaft, in Bezug auf Nachhaltigkeitsstrategien der EU unterstützen (Tukker et al. 2009).

Um solche Analysen durchführen zu können, braucht man Informationen über die direkten Kosten, die durch die Einführung einer Nachhaltigkeitsmaßnahme entstehen. Außerdem werden Informationen zu den Reduktionen der Umweltbelastung beziehungsweise der Externalitäten, die diese Maßnahmen bewirken, benötigt.

Kombiniert man diese Informationen mit Daten zu den notwendigen Investitionen für die Politik, ist es möglich den unterschiedlichen Maßnahmen die realen sozialen Kosten beziehungsweise Gewinne zuzuordnen. Die Kosteneffizienz der Politik ergibt sich durch einen Vergleich der Reduktion der Umweltauswirkungen mit den Nettokosten.

Abbildung 1: Allgemeiner Ansatz einer um Umweltaspekte erweiterten Aufkommens- und Verwendungstabelle



Quelle: Moll 2008

Maßnahmen auf der Makro-, Meso- oder Mikroebene können Auswirkungen auf die anderen Ebenen haben, ein sogenannter Spill-Over-Effekt. Eine vollständige Analyse der Maßnahmen und ihrer intersektoralen Auswirkungen kann mithilfe einer EE IO Analyse durchgeführt werden. Dafür benötigt man detaillierte, harmonisierte und durch Handelsdaten verlinkte Daten der EU Länder und deren Handelspartner. In Exiopol wurde ein solch umfassender Datensatz erstellt.

Das European System of Accounts (ESA95) fordert von den EU-Mitgliedsstaaten, dass sie jährlich SUT und alle fünf Jahre IOT in einem standardisierten Format für 60 Sektoren und Produkte erstellen. Im selben Format sind Daten für zehn bis 15 Schadstoffemissionen von den „National Accounting Matrix including Environmental Accounts“ (NAMEAs) verfügbar. Trotzdem ermöglichen diese Daten nur eine eingeschränkte Analyse, da die ESA95 SUT und IOT nur für einzelne Länder existieren und nicht durch Handelsdaten miteinander verbunden sind. Außerdem ist die vorhandene Anzahl an Sektoren zu gering, was dazu führen kann, dass Sektoren mit unterschiedlich gravierenden Auswirkungen in Bezug auf Ressourcennutzung oder Emissionen zusammengefasst werden. Um das zu vermeiden, bedarf es mindestens 100 bis 150 Sektoren (Tukker et al. 2006). Ein weiterer Aspekt ist, dass die bereits gesammelten, umweltbezogenen Daten nur für die Analyse von Klimaeffekten und Versäuerung eingesetzt werden können, aber nicht für die Berechnung anderer wichtiger Indikatoren wie zum Beispiel die Flächennutzung pro Sektor. Und schließlich sind die vom Statistischen Amt der Europäischen Union (Eurostat) bereitgestellten Daten oft lückenhaft.

Auch die wichtigsten Nicht-EU-Länder veröffentlichen SUT oder IOT, allerdings gibt es unter diesen keine Harmonisierung. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) hat daher die Initiative gestartet, ein harmonisiertes IOT-Set zu produzieren, welches mit ihrer bilateralen Handelsdatenbank konsistent ist. Die inzwischen dritte Version, 2006 publiziert, beinhaltet 39 Länder mit jeweils 48 Sektoren die 90 Prozent des globalen Bruttoinlandsproduktes (BIPs) abdecken (Yamano/Ahmad 2006).

Das Global Trade Analysis Project (GTAP) produziert für die Weltwirtschaft eine Datenbank von durch Handelsdaten verbundenen IO Tabellen für 90 Länder und unterscheidet dabei 60 Sektoren. Obwohl GTAP ein sehr wichtiges Instrument für die Modellierungsgemeinschaft darstellt, hat es auch Schwachstellen. Die Transparenz ist nicht optimal, der bilaterale Handel unterscheidet nicht zwischen unterschiedlichen Nutzungsformen wie Endkonsum oder Zwischenkonsum von Sektoren und die Umwelterweiterungen sind auf ein paar Energieindikatoren limitiert (Dimaranan 2006).

Erfahrungen aus der Anwendung

Oftmals werden in EE IO Analysen Vereinfachungen vorgenommen; beispielsweise die Annahme, dass importierte Güter und Dienstleistungen mit derselben Technologie produziert wurden wie heimisch produzierte Güter. Dies kann zu schwer-

wiegenden Fehlern führen (Weber/Matthews 2007). In einigen Fällen ist die ersichtliche Entkoppelung von CO₂-Emissionen oder Materialeinsatz vom BIP-Wachstum in Wahrheit das Ergebnis der Auslagerung von material- und energieintensiver Produktion in andere Länder (Giljum et al. 2008). Wird hingegen nicht angenommen, dass die anderen Länder dieselbe Technologie nutzen, und neben den direkten Handelspartnern auch der Handel unter den Partnern beachtet, so wird die Realität wesentlich besser abgebildet. Ein multiregionaler Ansatz, bei dem die Wirtschaft vom Rest der Welt zusammen mit dem zu untersuchenden Land in einer multiregionalen Input-Output-Tabelle mit Umwelterweiterungen dargestellt wird, bietet zahlreiche Optionen, spezielle Ursachen für Umweltauswirkungen zu untersuchen und die Auswirkungen den Produzenten und Konsumenten zuzuordnen (Lenzen et al. 2007).

Grenzen der Datenverfügbarkeit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es deutliche Einschränkungen in den vorhandenen Datenquellen gibt. Die meisten bieten SUT und IOT für einzelne Länder an, jedoch ohne diese durch Handelsdaten zu verbinden. Sektoren- und Produktdetails sind nicht in ausreichendem Ausmaß vorhanden, und Umwelterweiterungen sind oftmals mangelhaft oder beinhalten nur wenige Typen von Emissionen und Primärressourcennutzung. Zusätzlich existiert nur eine geringe oder gar keine Harmonisierung der Daten über die verschiedenen Länder. Dieser Zustand erschwert es, das Ausmaß festzumachen, in dem ein Land Umweltauswirkungen durch Handel ins Ausland verlagert. Auch um die Effekte von in Europa eingeführten Nachhaltigkeitsmaßnahmen auf die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit Europas zu messen, werden durch Handelsdaten verlinkte Tabellen benötigt. Von einem theoretischen Standpunkt aus ist der multiregionale EE IO Ansatz der beste Weg, internationalen Handel einzubeziehen. Aus Gründen der Komplexität tendieren existierende Studien jedoch dazu, Sektoren und Regionen zu aggregieren und sich nur auf eine sehr kleine Anzahl von Umweltauswirkungen zu konzentrieren. Die Ambition in Exiopol war es, sowohl den methodischen Ansatz wie auch die Datenverfügbarkeit einen großen Schritt voranzubringen. Die Ziele des Projekts waren sehr ambitioniert. Für die EU sollte eine vollständige, detaillierte, transparente, globale und Externalitäten internalisierende multiregionale EE IO Datenbank erstellt werden, die es ermöglicht, zahlreiche Analysen durchzuführen, auf deren Basis effiziente Umweltpolitik entworfen werden kann.

Aufbau der Datenbank

Für die Erstellung einer multiregionalen EE IO Datenbank ist es wichtig, einige Grundsatzentscheidungen zu treffen:

- Welche Länder zusätzlich zu den EU 27 in die Datenbank aufgenommen werden und wie mit dem verbleibenden Rest der Welt umgegangen wird. →

- Auswahl der Konstruktionsmethode für eine globale, multi-regionale durch Handel verbundene Datenbank (basierend auf SUT oder IOT).
- Sektor- und Produktklassifikation, Detailniveau.
- Auswahl der Umweltkategorien.

Im Rahmen des Projektes Exiopol wurden verschiedene methodische Entscheidungen für die aufzubauende Datenbank Exiobase getroffen. Dieser methodische Rahmen wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Integrierte Länder

Die Entscheidung, welche Länder zusätzlich zu den EU 27 aufgenommen werden, basierte auf den folgenden drei Kriterien:

- Anteil am globalen BIP
- Anteil am Handel mit der EU
- Umweltauswirkungen in Bezug auf die von den EU 27 importierten Güter.

Insgesamt wurden neben der EU 27 noch weitere 16 Länder in die Datenbank aufgenommen: US, Japan, China, Kanada, Südkorea, Brasilien, Indien, Mexiko, Russland, Australien, Schweiz, Türkei, Taiwan, Norwegen, Indonesien und Südafrika. Diese Länder stellen ungefähr 80 Prozent des wertmäßigen Handelsvolumens mit den EU 27 dar, und insgesamt repräsentiert dieses Länderset über 90 Prozent des globalen BIPs. Neben diesen 43 Ländern wurden die restlichen Länder in der Gruppe „Rest der Welt“ zusammengefasst. Bei den ausgewählten Ländern sind einige nicht enthalten, die jedoch von großer Bedeutung hinsichtlich ihrer Nutzung natürlicher Ressourcen sind, wie beispielsweise die Golfstaaten. Diese Daten zur Ressourcennutzung beziehungsweise zum Ressourcenabbau finden sich jedoch im „Rest der Welt“ wieder, womit sichergestellt wird, dass kein Datenverlust entsteht. Auf diese Weise ist es möglich, eine Datenbank zu erstellen, die einen umfassenden Überblick über die Industrien und Produkte bietet, die für die globalen Umweltauswirkungen und die Ressourcennutzung verantwortlich sind.

Es gibt verschiedene Wege, eine durch Handel verbundene multiregionale EE IO Tabelle zu konstruieren, basierend auf SUT oder IOT. Die in Exiopol generierte Datenbank Exiobase basiert auf nationalen SUT, die durch Umweltdaten erweitert werden. Diese werden dann durch Handelsinformationen verknüpft, um eine multiregionale EE SUT zu erhalten. Je nach Modellierungs- und Verwendungsbedarf können dann die benötigten multiregionalen EE IO Tabellen abgeleitet werden. Emissionen und Ressourcenverbrauch werden bei dieser Methode denjenigen Industrien zugeordnet, die für sie verantwortlich sind. Ein Vorteil dieser Konstruktionsmethode ist, dass theoretische Annahmen erst beim letzten Schritt benötigt werden. Die Wahl, die Exiobase auf SUT aufzubauen, hat zusätzlich den strukturellen Vorteil, dass aufgrund von Lücken geschätzte Daten in SUT jederzeit verbessert und aktualisiert werden können.

Sektor- und Produktklassifikation

In der Exiobase wurde für die Klassifizierung der Industriesektoren die gängige NACE (rev1.1) verwendet; für die Produktklassifizierung CPA1.1. Während für die EU 27 die von Eurostat zu Verfügung gestellten ESA95 SUT als Ausgangsdaten verwendet wurden, wurde für andere Länder auf von nationalen statistischen Ämtern veröffentlichte Primärtabellen zurückgegriffen. Um ein höheres Detailniveau zu erreichen, wurden in den folgenden Sektoren noch Unterteilungen durchgeführt:

- Landwirtschaft: um landwirtschaftliche Produktion und Nahrungsverarbeitung weiter zu detaillieren,
 - Energie: um zum Beispiel Öl und Gas Extraktion zu trennen,
 - Metalle: um weitere Details für Bergbau und nachfolgende Verarbeitung verwenden zu können,
 - Andere Sektoren: Transport, Abfallmanagement, Recycling.
- Insgesamt umfasst die Exiobase 129 Sektoren beziehungsweise Produktgruppen, was sie zu der größten bisher existierenden multiregionalen EE IO-Datenbank macht.

Erweiterung um Umweltkategorien

In den Umweltkategorien sind die Nutzung von Primärressourcen wie Material, Wasser und Land aber auch Energie und Emissionen enthalten. Prinzipiell ist eine Erweiterung um hunderte einzelne Kategorien möglich, aber für politische Zwecke sind stärker aggregierte Indikatoren nützlicher. Daher wurden in Exiopol jene Emissionen und Ressourcennutzungen implementiert, die eine Bewertung von Umweltauswirkungen durch die folgenden weitverbreiteten Indikatoren ermöglichen:

- Unterschiedliche Umweltthematiken wie Life Cycle Impact Assessment, vor allem Global Warming Potential, Photochemical Oxidant Formation, Versäuerung, Eutrophisierung und wenn möglich Ökotoxizität und Humantoxizität,
- Verschiedene Indikatoren basierend auf Materialflussanalyse, Ökologischer Fußabdruck,
- Externe Kosten.

Die Ressourcen-Daten wurden den Materialflussdatenbanken des Sustainable Europe Research Institute (SERI) und des Wuppertal Instituts entnommen. Die größte diesbezügliche Herausforderung war es, die Ressourcen den zugehörigen Sektoren der Primärnutzung zuzuordnen.

Im Zuge des Exiopol Projekts war es notwendig, die folgenden Schritte durchzuführen:

- Harmonisieren und Detaillieren der SU/IO Tabellen der EU 27 und der anderen Länder,
- Sammeln eines umfassenden Sets an Umwelterweiterungen pro Sektor,
- Verbinden nationaler SUT/IOT anhand internationaler Handelsdaten,
- Einbettung dieser Daten in eine benutzerfreundliche Datenbank,
- Untersuchen der Verknüpfung dieser Datenbank mit Nutzungsanwendungen, sodass sie Life Cycle Assessment, Direct

Scenario Analysis und Computable General Equilibrium Modelle unterstützen kann.

Anwendung der Datenbank

Die Datenbank Exiobase unterstützt die Beurteilung von Lebenszyklusaussparungen. So ist die Basis von Life Cycle Impact Assessment die Multiplikation von Emissionen einer Substanz oder einer Ressourcenextraktion in Kilogramm mit einem zugehörigen Faktor, der den Beitrag dieses Kilogramms zu einer Kategorie von Umweltauswirkungen wie das globale Erwärmungspotenzial, Versäuerung, Eutrophierung reflektiert.

Materialflussanalyse-Indikatoren können mithilfe der Exiobase berechnet werden, die Berechnungsmethode weicht allerdings von der traditionellen Weise ab, da sie auf ökonomischen Relationen basiert. Exiopol verwendet Daten, die die heimische Extraktion von natürlichen Ressourcen in verschiedenen Ländern und Weltregionen widerspiegeln, als Input für Sektoren, die Primärmaterial von der Natur extrahieren. Die Allokation zum Endkonsum in einem speziellen Land und die Berechnung von Materialintensitäten von international gehandelten Produkten basiert jedoch auf einer ökonomischen Allokation. Andere Ansätze der Materialflussanalyse verwenden physikalische Relationen, um die in Importen und Exporten enthaltene Primärmaterialextraktion zu berechnen (Schütz/Bringezu 2008). Durch die detaillierte Disaggregation von Sektoren erlaubt die Exiobase die Abschätzung von sogenannten Materialrucksäcken. Unter Materialrucksäcken werden Primärmaterialien verstanden, welche in international gehandelten Produkten enthalten sind. Diese Abschätzung erfolgt auf unterschiedlicher Ebene unter ausdrücklicher Einbeziehung der technologischen Unterschiede der verschiedenen Länder.

Schlussfolgerungen

Die Exiobase bietet eine große Unterstützung für verschiedene Umwelt- und Wirtschaftspolitikmaßnahmen der EU. Sie ermöglicht eine Analyse von Umweltauswirkungen und externen Kosten einzelner Industriesektoren, Endkonsumkategorien und Endproduktgruppen in Bezug auf Importe und Exporte der EU 27 und jeder genutzten Ressource. Durch das Aufteilen des gesamten Konsums auf die Konsumverhaltensweisen der verschiedenen Zielgruppen ist es möglich, Lebenszyklusaussparungen und externe Kosten für jede Zielgruppe und jedes Lebensstil-Verhalten zu analysieren. Zusätzlich ermöglicht die Datenbank eine Analyse der Beiträge der unterschiedlichen Sektoren und Prozesse zu den Umweltauswirkungen und externen Kosten in der Produktion eines Gutes sowie die Aussage, ob diese Prozesse innerhalb der EU stattfinden oder in Importen enthalten sind. Außerdem unterstützt die Datenbank die Berechnung weitverbreiteter Indikatoren wie des ökologischen Fussabdrucks oder des Materialrucksacks.

Obwohl mit der Exiobase eine umfassende und harmonisierte Datenbank geschaffen wurde, gibt es noch Verbesserungspo-

tenzial. Dazu gehören die Qualität der Wassernutzungs-Daten sowie die Daten für Abfall- und Forstwirtschaft. Im Zuge des Nachfolgerprojektes Creaa, kurz für „Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts“, sollen diese Schwächen ausgebaut und die Daten von Exiobase auf das Jahr 2007 aktualisiert werden.

Anmerkung

- (1) Exiopol wurde von der Europäischen Union im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms gefördert und steht als Abkürzung für „A New Environmental Accounting Framework Using Externality Data and Input-Output Tools for Policy Analysis“. Informationen im Internet unter: www.feem-project.net/exiopol

Literatur

- Dimaranan, B.V.: Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University 2006.
- Giljum, S. / Behrens, A. / Hinterberger, F. / Lutz, C. / Meyer, B.: Modelling scenarios towards a sustainable use of natural resources in Europe. In: Environmental Science and Policy 11, 3/2008, S. 204-216.
- Lenzen, M. / Murray, J. / Sack, F. / Wiedmann, T.: Shared producer and consumer responsibility – Theory and practice. In: Ecological Economics 61, 1/2007, S. 27-42.
- Moll, S.: Giljum, S. / Lutter, S. / Acosta, J. / 2008.: Technical Report on Basic Conceptions for Environmental Extensions of Input-Output Framework. Deliverable DIII.2.b-1 & DIII.3.b-1. Report of the EXIOPOL project.
- Schütz, H. / Bringezu, S.: Resource consumption of Germany - indicators and definitions. Federal Environment Agency, Dessau 2008..
- Tukker, A. / Huppes, G. / Guinée, J. / Heijungs, R. / Koning, A.d. / van Oers, L. / Suh, S. / Geerken, T. / Van Holderbeke, M. / Jansen, B. / Nielsen, P.: Environmental Impact of Products (EIPRO). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Sevilla 2006.
- Tukker, A. / Poliakov, E. / Heijungs, R. / Hawkins, T. / Neuwahl, F. / Rueda-Cantucho, J.M. / Giljum, S. / Moll, S. / Oosterhaven, J. / Bouwmeester, M.: Towards a global multi-regional environmentally extended input-output database. In: Ecological Economics 68, 7/2009, S. 1928-1937.
- Weber, C.L. / Matthews, H.S.: Embodied environmental emissions in U.S. international trade, 1997-2004. In: Environmental Science and Technology 41, 14/2007, S. 4875-4881.
- Yamano, N. / Ahmad, N.: The OECD's Input-Output Database – 2006 Edition. STI Working Paper 2006/8 (DSTI/DOC(2006)8), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Directorate for Science, Technology and Industry, Paris 2006.

AUTOREN + KONTAKT

Barbara Lugschitz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin,
Stefan Giljum Leiter der Forschungsgruppe „Nachhaltige Ressourcennutzung“ und
Stephan Lutter wissenschaftlicher

Mitarbeiter am Sustainable Europe Research Institute (SERI) in Wien.
SERI, Garnisongasse 7/17, 1090 Wien, Österreich.

Barbara Lugschitz, Tel.: +43 19690728-29,
E-Mail: barbara.lugschitz@seri.at;

Stefan Giljum, Tel.: +43 19690728-19,
E-Mail: stefan.giljum@seri.at

Stephan Lutter, Tel.: +43 19690728-14,
E-Mail: stephan.lutter@seri.at



Lizenzhinweis

Die Beiträge in *Ökologisches* Wirtschaften werden unter der Creative-Commons-Lizenz "CC 4.0 Attribution Non-Commercial No Derivatives" veröffentlicht. Im Rahmen dieser Lizenz muss der Autor/Urheber stets genannt werden, das Werk darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert und außerdem nicht kommerziell genutzt werden.

Die digitale Version des Artikels bleibt für zwei Jahre Abonnent/innen vorbehalten und ist danach im Open Access verfügbar.