

**Prof.Dr. Ruedi Müller-Wenk**  
Institut f Wirtschaft u Oekologie  
Universität St.Gallen

## **Zusammenfassung zum Stand der Forschung für das Impact Assessment von Landnutzung in Ökobilanzen.**

Landnutzung ist eine Einwirkungsart, die bedeutende Folgen auf den Zustand der Natur hat, weshalb in neuester Zeit vielerorts Ansätze für einen praktizierbaren Einbezug der Landnutzung in die Ökobilanzierung entwickelt worden sind. Auf der Ebene von SETAC wurden Anstrengungen unternommen, um gemeinsame Prinzipien und Methoden-Elemente für die weitere Entwicklung auf diesem Gebiet zu finden. Nachstehend werden wichtige Bausteine aus der künftigen SETAC-Publikation zur Ökobilanzierung von Landnutzung dargestellt, zusammen mit ihren Folgen auf die Erstellung von Öko-Inventaren. Klargestellt werden muss, dass die Arbeiten im Schosse von SETAC noch nicht zum Ziel der gemeinsamen Festlegung von best available practices im Bereich von land use geführt haben; die nachstehenden Informationen haben daher nicht definitiven Charakter. Zur Vermeidung von Unklarheiten werden die neueren Fachausdrücke in englischer Sprache belassen (kursiv gedruckt).

### **1. Land use - biotic/abiotic extractions**

#### **Land use**

In der Ökobilanzierung versteht man unter *land use* die Beanspruchung von Landflächen für anthropogene Prozesse, die als *environmental intervention* in den Ökoinventaren solcher Prozesse registriert werden kann. Der Begriff Land schliesst hier die Binnengewässer und eventuell die kontinentalen Küstensockel des Meers ein. *Land use* liegt vor allem im Zusammenhang mit land- und forstwirtschaftlicher Produktion und mit der Erstellung und Nutzung von Bauten und Verkehrsanlagen vor; Ökoinventare für derartige Prozesse ohne Einbezug von *land use* müssen als unvollständig gelten. *Land use* beinhaltet Massnahmen, die den Zustand der beanspruchten Landfläche, einschliesslich Fauna, Flora und Bodenstrukturen, im Interesse des angestrebten Nutzungszwecks beeinflussen. Die Folge kann sein, dass im Gegenzug die Qualität der beanspruchten Landfläche aus Umweltsicht abnimmt.

#### **Biotic extractions**

Zu unterscheiden von *land use* ist die Entnahme von wildwachsenden Pflanzen und wildlebenden Tieren aus der Natur; man spricht in diesem Fall von *biotic extractions*. Bei *biotic extraction* wird nicht das Land in den für eine bestimmte Nutzungsart geeigneten Zustand gebracht und dann von dieser Nutzungsart beansprucht, sondern es werden von einer bestimmten Species einzelne Individuen der natürlichen Population entnommen und verbraucht, mit der Folge, dass diese Population schrumpfen oder aussterben könnte. Die Jagd auf wildlebende Hirsche ist ein Fall von *biotic extraction*, während die Zucht und Mast von Hirschen ein landwirtschaftlicher Produktionsprozess ist, dessen Ökoinventar Landnutzung und andere Einwirkungen enthält. Auch die Jagd beinhaltet in sehr strengem Sinn eine Landnutzung, nämlich das Betreten des Landes durch den Jäger, aber diese Landnutzung ist praktisch vernachlässigbar, während die Jagd zur Gefährdung der bejagten Art führen kann. Die Hirschezucht führt zu einer erheblichen Landnutzung, aber sie hat wegen der damit verbundenen Nachwuchsförderung keine Gefährdung der Art zur Folge.

## Abiotic extractions

Wenn die Entnahme aus der Natur sich auf tote Stoffe bezieht, spricht man von *abiotic extractions*. Die Entnahme und der nachfolgende Verbrauch hat zur Folge, dass der Vorrat der Natur an dem betreffenden Stoff sinkt und in Zukunft knapp werden kann. Der Prozess der Ressourcen-Entnahme muss nicht mit *land use* verbunden sein. Wenn aber die Entnahme solcher Stoffe an der Oberfläche geschieht und/oder mit der oberirdischen Deponie von nicht verwendbarem Material verbunden ist, so kann der Entnahmeprozess nicht nur zum Knappwerden der natürlichen Vorräte führen, sondern zugleich auch in bedeutendem Umfang zu *land use* führen. Dies ist etwa der Fall bei Torf- oder Lehmgewinnung oder bei Untertagebau von Erzen mit grossem Abraumanteil.

## 2. Land use types - elementary activities of land use

### Land use types

Auf der Ebene des Ökoinventars ist die Eintragung von *land use* auf zwei verschiedenen Verdichtungsstufen denkbar: Man könnte hier zusammengefasste Nutzungsarten wie Ackerbau-Nutzung, Weideland-Nutzung oder Nutzung als Baugrund (*land use types*) anführen. Es ist aber auch denkbar, anstedessen Einzelaktivitäten aus dem Nutzungsprozess, wie Pflügen, Düngen, Insektizideinsatz, Bewässern (*elementary activities of land use*) im Ökoinventar aufzulisten. Die explizite Darstellung der *elementary activities of land use* im Ökoinventar wäre eigentlich angemessen im Vergleich zu den gleichermassen detaillierten Angaben über stoffliche Emissionen; aus Gründen der Praktikierbarkeit drängt sich aber die Beschränkung auf die Eintragung von *land use types* auf. Eine bereinigte Liste dieser *land use types* mit den zugehörigen *elementary activities of land use* liegt noch nicht vor, wohl aber entsprechende Vorschläge einzelner Autoren.

### Land cover

*Land cover* wird die Bedeckung der Landoberfläche bei genutztem oder ungenutztem Land genannt. Die Bestimmung des Ist-Zustandes von *land cover* wird heute weltweit mit feiner Auflösung mittels Satelliten vorgenommen. Die Klassifizierung der Arten von *land cover* ist daher im Rahmen einer breiten Praxis festgelegt, und die globalen Flächenanteile der einzelnen *land cover* Arten sind verfügbar. Die Nutzung einer Fläche im Rahmen eines bestimmten *land use type* führt unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse zu einem bestimmten *land cover* auf dieser Fläche. Bei passender Wahl der *land use types* kann man also dank den Satelliten-Daten über *land cover* pro geographische Region sagen, in welchem Umfang bestimmte *land use types* zu einem bestimmten Zeitpunkt vorkommen. Dies ist wichtig für die Ökobilanz-Praxis.

## 3. Land occupation - land transformation

### Land occupation

Wird eine Fläche im Rahmen eines bestimmten *land use type* genutzt, zum Beispiel als intensives Ackerland, dann kann diese Fläche vor Beginn der Nutzung schon in einem für diese Nutzung geeigneten Zustand sein. In diesem Fall besteht *land use* darin, dass die Fläche während einer bestimmten Zeitdauer für die Erzeugung einer bestimmten Leistung belegt wird (*occupation*); dabei achtet man im allgemeinen darauf, dass die natürlichen Eigenschaften der Landfläche während dieser Zeit ungefähr gleich bleiben. Möglich ist allerdings, dass dieses Bestreben bei Anwendung von ungeeigneten *land use types* nicht voll

gelingt, wobei dann der Boden z.B. allmählich erodiert oder versalzt oder durch die Bearbeitungsmaschinen kompaktiert wird.

Im Ökoinventar ist für den Fall von *land occupation* anzugeben, um was für *einen land use type* es sich handelt, wie gross die Fläche ist und wie lang sie beansprucht wird. Man sollte auch den geographischen Ort der Fläche registrieren, da dieser für die nachfolgende Ermittlung der Umwelteffekte von Belang ist, und da er gleichzeitig einen Hinweis gibt, ob die Anwendung des gegebenen *land use type* im konkreten Fall zu einer unbeabsichtigten langfristigen Qualitätsverschlechterung des Bodens führen könnte.

### Land transformation

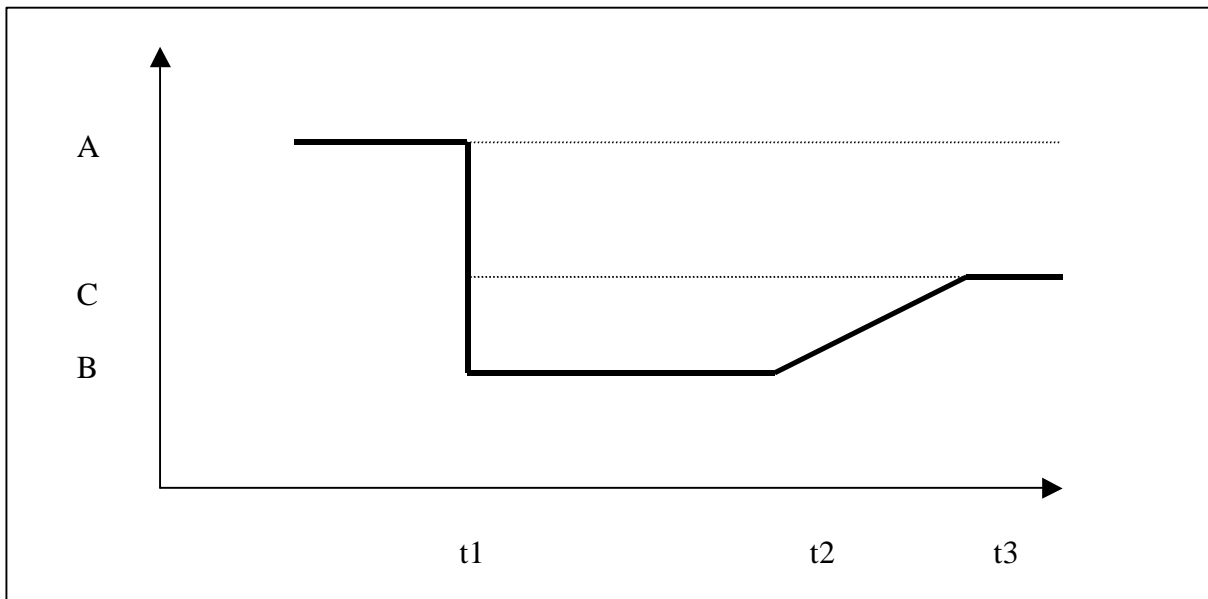
Wenn eine Fläche im Istzustand für den vorgesehenen *land use type* nicht geeignet ist, so muss vorgängig der *land occupation* eine Veränderung ihres Eigenschaftenprofils erzwungen werden. Dies ist der Prozess der *land transformation*. Dabei wird z.B. Sumpfland in trockenes Land umgewandelt, oder Wald wird zu ackerfähigem Land. Während das Eigenschaftenprofil der Landfläche durch diese Massnahme für die angestrebte *land occupation* verbessert wird, resultiert aus der Sicht der Umweltqualität meistens eine Verschlechterung. Der Prozess der *land transformation* braucht eine gewisse Zeit zu seiner Ausführung. Es wird jedoch vorgeschlagen, diese Zeitdauer wegen relativer Geringfügigkeit zu ignorieren oder sie der nachfolgenden *land occupation* zuzuschlagen.

Im Ökoinventar ist für den Fall von *land transformation* anzugeben, wie gross die Fläche ist, und von welchem Anfangszustand (*initial land cover*) sie in welchen modifizierten Zustand (*modified land cover*) gebracht werden soll. Auch hier ist eine Angabe über den geografischen Ort erwünscht, denn in der nachfolgenden Effektanalyse ist es wesentlich, ob z.B. eine Umwandlung von Wald in Weideland in Skandinavien oder am Mittelmeer erfolgt.

Die nach der initialen *land transformation* einer Fläche folgende Kette von *land occupations* bricht irgendwann einmal ab, wobei dann entweder eine andersartige Nutzung erfolgt oder die Aufgabe der Nutzung (Brachlegung). Nach Aufgabe der Nutzung auf einer Fläche findet wieder eine *land transformation* statt, bei der sich das natürliche Eigenschaftenprofil des Bodens ändert, häufig in Richtung einer Verbesserung der natürlichen Qualität. Diese *land transformation* kann spontan ablaufen aufgrund der Naturkräfte, sie kann aber auch durch menschliche Eingriffe beschleunigt oder modifiziert werden. Zum Beispiel kann schon bei Eröffnung eines Minengeländes feststehen, dass dieses nach Beendigung der Ausbeutung vom Betreiber wieder in bestimmter Art renaturiert werden muss. Diesfalls muss das Ökoinventar bei der initialen *land transformation* eine entsprechende Angabe enthalten.

### Bild-Darstellung

Die Fälle *land occupation* und *land transformation* können im Bild wie folgt dargestellt werden:



Die betrachtete Fläche befindet sich anfänglich auf einem Qualitätsniveau A. Zum Zeitpunkt t1 findet eine *land transformation* statt, welche die Fläche geeignet macht für die nachfolgende Nutzung nach einem bestimmten *land use type*. Dabei sinkt das Qualitätsniveau aus Sicht der natürlichen Umwelt auf B hinunter. Zwischen Zeitpunkt t1 und t2 erfolgt eine Phase der *land occupation* entsprechend dem gewünschten *land use type*. Nach t2 wird die Nutzung vollständig eingestellt, und die brachliegende Fläche geht spontan wieder in einen naturnaheren Zustand von der Qualität C über, was zum Zeitpunkt t3 erreicht wird. Der Zustand C ist im allgemeinen unterschiedlich vom Zustand A, und die Differenz AC heisst *net transformation*. Diese *net transformation* dürfte im allgemeinen eine Verschlechterung der Qualität bedeuten; je nach der Art der letzten Nutzung, dem Klima und den Naturverhältnissen in der Umgebung ist allerdings auch eine Qualitätsverbesserung denkbar. Eine vereinfachende Annahme ist, dass sich nach einer Nutzungsaufgabe mit der Zeit wieder eine Qualität der Fläche einstellt, die mit der ursprünglichen vergleichbar ist, also *net transformation* gleich Null. Das Bild verdeutlicht, dass die *land occupation* zwischen t1 und t2 einer Schädigung der Natur gleichkommt, denn zwischen t1 und t2 liegt das Qualitätsniveau wegen des Fortdauerns der Nutzung auf dem tiefen Wert B, während es bei Verzicht auf *land occupation* auf C steigen würde. Wer also weiterhin Mais pflanzt, wo vorher schon Mais war, verursacht einen ungünstigen Umwelteffekt. Noch stärker ist dieser Effekt freilich, wenn Mais auf einem bisherigen Sumpfgebiet angepflanzt wird.

Eine wichtige Frage ist nun, wie die natürliche Qualität einer Bodenfläche ausgedrückt werden soll: Was sind denn die Folgen, wenn ein Wald oder ein Feuchtgebiet in ein Ackerfeld oder eine Flugzeug-Landebahn umgewandelt wird?

#### 4. Land use effects

Im Vergleich zur Emission eines Gases hat die Beanspruchung von Landflächen eine grosse Vielfalt von unerwünschten Wirkungen, Das ist einer der Gründe, wieso *land use* in der Ökobilanzierung eine so schwierige Kategorie bildet.

## Land competition

Eine erste Art von Wirkungen der Landnutzung wird als *land competition* bezeichnet. Man kann Landflächen analog den Bodenschätzen als eine natürliche Ressource bezeichnen. Im Gegensatz zu Erdölreserven verschwindet Land als Folge seiner Nutzung zwar nicht, aber solange eine Fläche für einen bestimmten Zweck genutzt wird, steht sie für gewisse andere Nutzungen nicht zur Verfügung. Überlappende Nutzungen sind manchmal möglich: Auf einer Alpweide können sowohl die Kühe des Besitzers weiden als auch Erholungsuchende wandern. Vielfach sind Nutzungen aber von ausschliesslicher Art: Auf der gleichen Fläche können die Menschen nicht zugleich Baumwolle für den Export und Bohnen für die Ernährung der lokalen Bevölkerung wachsen lassen. Aus diesem Grund ist *Land competition* im Zusammenhang mit gegenseitig sich ausschliessenden menschlichen Nutzungsabsichten vor allem in dichtbesiedelten Ländern ein schwerwiegendes Thema: Es herrscht bei SETAC allerdings die Meinung vor, land competition sei vor allem eine wirtschaftliche Angelegenheit, die nicht innerhalb der Ökobilanzierung zu behandeln sei.

## Biodiversity degradation

Beanspruchung von Land für menschliche Nutzung führt im allgemeinen zu einer Reduktion von Biodiversität, d.h. die Zahl und/oder die geographische Verbreitung der Arten geht zurück. Entweder verschwinden Arten von selbst aus einer durch einen bestimmten *land use type* beanspruchten Fläche, weil deren Habitatansprüche nicht mehr ausreichend befriedigt werden. Oder die Arten verschwinden, weil deren Anwesenheit aus der Sicht des Nutzers schädlich ist und dieser sie durch Schädlingsbekämpfung aktiv beseitigt. Wichtig ist, dass die Nutzung einer bestimmten Fläche nicht nur den Artenreichtum auf dieser selben Fläche mindert, sondern auch in den anderen Flächen der betreffenden Region: Wenn z.B. Frösche eine vielbefahrene Strassenfläche nicht mehr überqueren können, verschwinden sie auch aus dem benachbarten Feuchtgebiet.

*Land use* ist als die wichtigste Ursache für den Rückgang des Artenvielfalt identifiziert worden. Es ist daher nötig, dieser Wirkung in der Ökobilanzierung Rechnung zu tragen. *Land transformation* reduziert die Artenvielfalt dauernd, wenn der Typ der umgewandelten Fläche nach der Aufgabe der Nutzung erfahrungsgemäss eine geringere Artenzahl aufweist. Zusätzlich ergibt sich eine temporäre Reduktion der Artenvielfalt während der Phase der Renaturierung nach erfolgter Brachlegung. *Land occupation* reduziert die Artenvielfalt temporär, wenn die Artenzahl während der Nutzungsphase kleiner ist als die Artenzahl, die sich nach der Aufgabe der Nutzung mit der Zeit einstellen würde: Wer also eine Fläche für ein weiteres Jahr mit einer Strasse oder einem Maisacker besetzt, schiebt den Zeitpunkt der Renaturierung dieser Fläche um ein weiteres Jahr hinaus und verursacht daher einen ungünstigen Effekt auf die Biodiversität. Was bei der Brachlegung einer Fläche bezüglich Artenvielfalt passieren würde, hängt insbesondere vom Klima ab. Aus diesem Grund ist es erwünscht, im Falle von *land use* im Ökoinventar eine Information über die Region anzugeben, in der die betroffene Landfläche liegt.

## Life support functions degradation

Der nutzungsbedingte Zustand einer Landfläche hat auch einen Einfluss auf übergeordnete Systeme, deren Funktionieren wichtig ist für alles Leben auf der Erde, wie Klima, Wasserkreislauf, Kreislauf der organischen Substanz. Wer eine Waldfläche zu einer Strassenfläche umwandelt, reduziert deren CO<sub>2</sub>-Aufnahme und deren Versickerungskapazität, und er erhöht die durchschnittliche Helligkeit (Albedo) der Erdoberfläche. Es ist heute nachgewiesen, dass die menschliche Nutzung der Landflächen

einen nicht-vernachlässigbaren Einfluss auf das Funktionieren fundamentaler *life support systems* der Erde hat. Noch nicht klar ist, ob und wie diese Effekte zusätzlich zum direkten Biodiversitäts-Effekt im Rahmen der Ökobilanzierung modelliert werden müssen. Damit kann auch nicht gesagt werden, ob hierfür zusätzliche Informationen im Ökoinventar notwendig wären.

### Cultural values degradation

Landnutzung durch den Menschen kann ausser natürlichen Werten auch kulturelle Werte, wie historische Bauten, Kulturlandschaften u.dgl. beeinträchtigen. Es sind aber keine Vorschläge vorhanden, wie solche Wirkungen im Rahmen der Ökobilanzierung behandelt werden könnten. Damit fehlt auch die Grundlage für die Einführung entsprechender Informationen in Ökoinventare.

## 1.5 Effect allocation

### Zuordnung auf funktionale Einheit

Wenn es gelingt, die Effekte von *land transformation* und *land occupation* quantitativ zu modellieren, so bleibt noch die Frage zurück, welches die Zuordnung dieser schädlichen Wirkungen auf die dem Ökoinventar zugrundeliegende funktionelle Einheit ist. Bei *land occupation* ist die Antwort relativ einfach: Wenn ein Weizenfeld mit bestimmter Fläche während eines Jahres 100 Tonnen Weizen liefert, so kann die Grösse des schädlichen Effekts pro 1 Tonne Weizen oder pro m<sup>2</sup> Weizenfeld bestimmt werden. Bei *land transformation* ist die Zuordnung des Effekts weniger klar, weil das Rohden eines Waldes zwecks Bereitstellung einer Ackerfläche zunächst keinen Bezug zu einer Weizenmenge hat. Man muss also bei *land transformation* entweder im Ökoinventar angeben, auf welche Gesamtdauer von *land occupations* der Effekt der *land transformation* zu verteilen sei, oder man muss hierzu allgemeine Amortisations-Regeln aufstellen. Diese Frage ist bisher offen. Immerhin spricht einiges dafür, den Effekt der *land transformation* ganz oder vor allem der Erstnutzung der umgewandelten Fläche zu belasten.

### Zuordnung auf nächsthöherer Stufe

*Land transformation* und *land occupation* für Gebäude und Verkehrsflächen erscheinen zwar zuerst einmal in den Ökobilanzen der Arbeitsprozesse von Baufirmen. Die Verfügbarstellung von Bauten und Verkehrsflächen ist indessen nur eine Vorstufe für die Prozesse der Bautenbenützer und der Verkehrsteilnehmer. Eine wichtige Frage ist daher z.B., wie die Effekte von *land occupation* für das bestehende Strassennetz sowie die jährliche *land transformation* für die laufende Erweiterung dieses Strassennetzes auf die gefahrenen Fahrzeugkilometer der Verkehrsteilnehmer abzuwälzen sind. Diese Frage ist allerdings nicht von *land use* – spezifischer Art, sie stellt sich natürlich auch für andere Einwirkungsarten.

### Schlussbemerkung

Die Arbeiten im Schosse von SETAC haben zur Frage der Behandlung von *land use* und zu den entsprechenden Anforderungen bei der Erstellung von Ökoinventaren wichtige Klärungen gebracht. Doch ist die Entwicklung sicher nicht abgeschlossen. Im Rahmen der Ökobilanzierung beeinflussen die Fortschritte bei Inventarisierung, bei Wirkungsanalyse und bei Bewertung sich gegenseitig, und der Fortschritt auf einem der Teilgebiete hat Konsequenzen auf die anderen Teilgebiete. Trotz der dadurch geschaffenen Unsicherheit ist es wertvoll, wenn Ökoinventare laufend verbessert werden. Wenn jeder auf jeden warten würde, so entstünde gar kein Fortschritt.