

Sozial-Ökologische Charakteristika von Agrarsystemen

Ein globaler Überblick und Vergleich

Christian Lauk

November 2005

Lauk, Christian 2005: *Sozial-Ökologische Charakteristika von Agrarsystemen. Ein globaler Überblick und Vergleich*. Social Ecology Working Paper 78. Vienna.

Social Ecology Working Paper 78

Vienna, November 2005

ISSN 1726-3816

Institute of Social Ecology
IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna)
Klagenfurt University
Schottenfeldgasse 29
A-1070 Vienna
+43-(0)1-522 40 00-401
www.iff.ac.at/socec
iff.socec@uni-klu.ac.at

© 2005 by IFF – Social Ecology

Vorbemerkung

Die nachfolgend dargelegte Arbeit entstand zwischen Juli 2003 und Januar 2005 am Institut für Soziale Ökologie der Universität Klagenfurt als Diplomarbeit eines Biologiestudiums der Universität Wien. Der Betreuer dieser Diplomarbeit war Prof. Dr. Helmut Haberl, zusätzlicher fachlicher Ansprechpartner war Univ.-Doz. Dr. Fridolin Krausmann.

Das hier veröffentlichte Working Paper stellt eine leicht abgeänderte Fassung der Diplomarbeit dar, korrigiert wurde – verglichen mit der Diplomarbeit – die Berechnung der HANPP als Kolonisierungsindikator im Abschnitt 3.4.2.3. über die Langbrachesysteme.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Ein Überblick über bestehende Klassifikationen	6
2.1. Geographisch orientierte Klassifikationen	6
2.2. Die Einteilungen Boserups und Ruthenbergs	10
2.3. Die Klassifikation der International Geographic Union	12
2.4. Die Klassifikation von Weltbank und FAO (Dixon et al. 2001).....	12
3. Eine Sozial-Ökologische Klassifikation	14
3.1. Klassifizieren: Grundsätzliches.....	14
3.1.1. Problemstrukturierung	14
3.1.2. Klassifizierungsprozess	15
3.2. Ein Modellentwurf	16
3.2.1. Das Konzept der Sozialen Ökologie.....	17
3.2.2. Ein Agrarsystem-Modell	18
3.2.3. Analyse Kriterien: Die Aspekte.....	23
3.2.3.1. Energiefluss: Energieeinsatz und Energieertrag.....	23
3.2.3.2. Kolonisierung: HANPP	24
3.2.3.3. Zeiteinsatz	27
3.2.3.4. Waren- und Geldfluss.....	27
3.2.3.5. Vergleich und Darstellung der ermittelten Größen	28
3.3. Analyse und Gruppierung der Fallstudien	28
3.3.1. Datengrundlagen.....	28
3.3.2. Energiefluss: Energieeinsatz und Energieertrag	29
3.3.3. Kolonisierung: HANPP%	29
3.3.4. Zeitverwendung: Zeiteinsatz	32
3.4. Klassifikation und Vergleich der Agrarsysteme	32
3.4.1. Unterteilungskriterien	32
3.4.2. Charakterisierung und Vergleich der Einheiten.....	35
3.4.2.1. Jagen und Sammeln	37
3.4.2.2. Traditionelle Weide.....	40
3.4.2.3. Langbrachesysteme	47
3.4.2.4. Intensiver Subsistenzackerbau	55
3.4.2.5. Extensiv-Industrieller Ackerbau.....	62
Box 1: Organische und Konventionelle Landwirtschaft	66
3.4.2.6. Dauerkulturen.....	69
3.4.2.7. Auf Grünland basierende Tierproduktion	71
3.4.2.8. Auf Ackerland basierende Tierproduktion.....	76
Box 2: Die Funktion von Tieren in Agrarsystemen	79
4. Zusammenfassung	82
5. Literatur	83
Appendix	93
Zuordnung der Fallstudien-Codes.....	93
Zusammenfassung der Schlüsselindikatoren für die berücksichtigten Fallstudien.....	95
Verwendete Brennwerte landwirtschaftlicher Produkte	100
Verwendete Umrechnungsfaktoren für den Energieeinsatz.....	102
Verwendete Ernteindizes zur Berechnung der ANPP _e	103
Verwendete ANPP ₀ -Fallstudien.....	107
Spezifische Bemerkungen zu den jeweiligen Fallstudien	109

1. Einleitung

Lange Zeit war die Geschichte des Menschen ausschließlich eine Geschichte von Jägern und Sammlern. Wie die Tiere nahm der Mensch sich, was er in seiner natürlichen Umgebung finden konnte. Erst vor ca. 13000 Jahren begann, vermutlich parallel an verschiedenen Orten der Erde, die Entwicklung einer eigentlichen Landwirtschaft, das heißt die gezielte Umgestaltung tierischer und pflanzlicher Organismen und des aus ihnen bestehenden Ökosystems. Das Ökosystem wurde zum Agroökosystem. Die gesellschaftlichen und technologischen Veränderungen, die mit diesem Wandel einhergingen, waren so bedeutsam, dass der australisch-britische Archäologe Vere Gordon Childe dafür in den 1930er Jahren den Begriff der „neolithischen Revolution“ einführte¹. Ackerbau und die Haltung von Weidetieren machten eine sesshafte Lebensform möglich und teilweise auch notwendig. Da nun die zum Leben benutzten Dinge nicht mehr allesamt transportabel zu sein hatten, wurden die benutzten Technologien aufwendiger und zudem eine Akkumulation der erzeugten Produkte möglich.

Der Wechsel vom Jagen und Sammeln zur Landwirtschaft bedeutete eine erheblich größere Kontrolle der natürlichen Umwelt durch den Menschen. Durch die gezielte Umgestaltung des Ökosystems konnte ein größerer Teil der von Pflanzen akkumulierten Solarenergie für den Menschen nutzbar gemacht werden, was eine um ein vielfaches gesteigerte Bevölkerungsdichte ermöglichte; sieht man von der heutigen Gesellschaft des universellen Tausches ab, so war die Intensität und damit auch Technologie der Landwirtschaft abhängig von der Bevölkerungsdichte an dem entsprechenden Ort. In den der neolithischen Revolution folgenden Jahrtausenden kam es zu einer Ausdifferenzierung der Landwirtschaftsformen und der damit verbundenen Technologien, mit einem Trend zu immer intensiveren Formen der Landwirtschaft, die eine zunehmende menschliche Bevölkerung ernähren konnte.

Eine zweite tiefgreifende gesellschaftliche Transformation, welche neben der Gesellschaft als ganzes auch die Landwirtschaft im speziellen betraf und Agrarsysteme mit neuen Charakteristika hervorbrachte, wird ebenfalls als Revolution bezeichnet, obwohl auch sie, wie die neolithische Revolution, eher einer allmählichen Transformation glich und immer noch gleicht². Gemeint ist die Industrielle Revolution. Sie nahm Anfang des 18. Jahrhunderts ihren Ausgang in England und verbreitete sich von dort aus über die meisten Teile der Welt. Innerhalb der Landwirtschaft ermöglichte diese „Revolution“ einen vielfach gesteigerten Energieeinsatz und den Einsatz von mit Fossilenergie betriebenen Maschinen, was zu einer gewaltigen Erhöhung der Arbeitsproduktivität führte.

Bei allen Differenzierungen im Detail betrafen die beiden fundamentalen Transformationen also vor allem zwei Dimensionen: Energie und Zeit. Es ist kein Zufall, dass diese beiden Dimensionen, neben dem später erläuterten Aspekt der Kolonisierung, Hauptaspekte der Sozialen Ökologie sind, eines Wissenschaftszweiges, der versucht, Gesellschafts-Natur-Interaktionen, zu denen ganz wesentlich die Form der Nahrungsproduktion gehört, einen Erklärungsrahmen zu geben.

In der folgenden Arbeit soll nicht versucht werden, die gegenwärtige Verbreitung oder historische Entwicklung der Agrarsysteme zu beschreiben oder gar zu erklären. Es soll eine Arbeit sein, die vor dergleichen Fragestellungen stehen muss: Die Klassifizierung der Agrarsysteme, das heißt ihre Einordnung anhand bestimmter Kriterien. Erst eine Klassifikation schafft das Raster, mit dem verallgemeinernde Aussagen über Verbreitung und historische Entwicklung getroffen werden können. Es wird in dieser Arbeit der Versuch einer Klassifikation und damit zugleich eines Vergleichs von Agrarsystemen unternommen werden. Vergleich und Klassifikation sollen dabei auf globaler Ebene und anhand sozial-ökologischer Kriterien erfolgen. Die Arbeit besteht aus zwei Hauptteilen. Im ersten Teil wird auf die als wesentlich erachteten, bereits bestehenden Klassifikationen von Agrarsystemen

¹ Da der Vorgang der „neolithischen Revolution“ graduell über einen Zeitraum von vielen Jahrhunderten stattfand wäre es wohl passender, von einer Transformation oder Transition zu sprechen. Der Begriff ist aber in der Fachdiskussion etabliert und wird deshalb im folgenden Text weiter benutzt.

² Allerdings mit erheblich schnellerer Veränderungsgeschwindigkeit als die neolithische „Revolution“.

eingegangen, ehe im zweiten Teil, auf dem der Schwerpunkt liegt, anhand einer globalen Klassifikation die sozial-ökologischen Kriterien der Agrarsysteme verglichen werden.

2. Ein Überblick über bestehende Klassifikationen

Vor dem eigenen Entwurf einer auf sozial-ökologischen Kriterien beruhenden Klassifikation soll geklärt werden, welche Einteilungssysteme für Agrarsysteme in der Literatur bereits existieren.

Wie später noch ausführlicher diskutiert werden wird, existieren keine universalen, das heißt allgemein gültigen oder „wahren“ Klassifikationen. Statt dessen ist jegliche Einteilung³ vom Zweck abhängig, für den sie erstellt wurde und mehr noch, grenzt schon durch die Kriterien, welche für die Einteilung verwendet wurden, die Fragestellungen ein, welche mit dieser Einteilung gestellt bzw. beantwortet werden können. Man kann deshalb Klassifikationen bestimmten Diskursfeldern zuordnen, innerhalb derer sie erstellt und verwendet werden. Dabei meine ich, bei der Untersuchung von Agrarsystemen zwei Hauptrichtungen feststellen zu können: Zum einen klassisch geographisch orientierte Klassifikationen, zum anderen die vor allem von Boserup (1965) und Ruthenberg (1980) eingeführten Klassifikationen, welche am ehesten im humanökologischen Feld anzusiedeln sind. Darüber hinaus werde ich mit der in den 1970er Jahren entwickelten Klassifikation der International Geographic Union (I.G.U.) eine Klassifikation vorstellen und diskutieren, welche insofern etwas aus dem Rahmen fällt, als sie den Anspruch einer möglichst universalen Einteilung hatte. Diese Klassifikation ist auch deshalb interessant, weil sie meines Erachtens einen entscheidenden Fehler machte⁴ und aus diesem Grund kaum verwendet wurde, was im umgekehrten Verhältnis zu ihren großen Ambitionen stand. Des Weiteren in der Review inkludiert ist eine – ebenfalls schwieriger einzuordnende – von der Weltbank und FAO erstellte Klassifikation, die vor allem aus der Perspektive einer Modernisierungsstrategie, mit dem Ziel einer ökonomischen Entwicklung ärmerer Weltregionen, entstand. Die Review hat dabei – den begrenzten Umfang und Zeitrahmen der Arbeit im Auge behaltend – keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.1. Geographisch orientierte Klassifikationen

Im Jahr 1936 veröffentlichte der in Harvard lehrende Geograph Derwent Whittlesey den Artikel „Major Agricultural Regions of the Earth“ (Whittlesey 1936). Die globale Einteilung der Landwirtschaft, die er in diesem Artikel entwirft, kann als grundlegend für die folgenden, geographisch orientierten Klassifikationen bezeichnet werden. Grigg (1969) zeigt in einer Review, dass fast sämtliche bis dato veröffentlichten Klassifikationen weitestgehend Abwandlungen der Klassifikation von Whittlesey darstellen, neben wenigen, die in der Tradition von Hahn (1892) stehen. Auch die beiden jüngeren hier berücksichtigten geographischen Einteilungen, Andreae (1983) und Arnold (1997), stehen weitestgehend in der Tradition Whittleseys.

Für die vor dem Jahr 1969 erschienenen Klassifikationen sei deshalb auf die einen sehr guten Überblick bietende Review von Grigg (1969) verwiesen. Im folgenden werden die in Whittleseys Arbeit abgegrenzten Agrarsysteme zusammenfassend wiedergegeben und im Anschluss angegeben, ob und inwiefern diese Einheiten in den neueren Klassifikation von Andreae (1983) und Arnold (1997) vorkommen. Die Einheiten Whittleseys wurden übersetzt, in Klammern ist die im Artikel verwendete Originalbezeichnung angegeben.

Weidenomadismus („Nomadic Herding“)

Weidenomadismus wird von Whittlesey als die urtümliche Form der Tierhaltung bezeichnet. Wie spätere Autoren betont Whittlesey, dass Nomadentum sich im wesentlichen in Regionen ausbilden würde, in denen die Niederschläge, auf die das Vieh angewiesen ist, zeitlich oder örtlich sehr ungleich verteilt sind. Dies seien zum einen Wüsten- oder Halbwüstengebiete, in denen die Nomaden Brunnen und Oasen aufsuchen, sowie Gebirge, in denen der Niederschlag im Laufe des Jahres sehr ungleich über die Höhenzonen verteilt ist. Als kommerziellen Doppelgänger des Weidenomadismus bezeichnet Whittlesey die Ranchwirtschaften, die einhergehend mit der zunehmenden Ausrichtung auf den Verkauf der Tierprodukte den Weidenomadismus ablösen würden.

³ "Einteilung" wird hier synonym zu "Klassifikation" verwendet.

⁴ Zur näheren Erläuterung dieser Schwäche, siehe Abschnitt 2.3.

Andreae 1983: Weidenomadismus
Arnold 1997: Nomadismus

Ranchwirtschaften⁵ („Livestock Ranching“)

Laut Whittlesey wurde die Ranchwirtschaft durchgängig von europäischen, sich in Trockengebieten sesshaft machenden Siedlern eingeführt. Die Siedler hätten ihre europäischen Traditionen auf Siedlungsgebiete der Kolonien übertragen, wozu auch die Produktion für einen externen Markt gehöre. Dementsprechend seien Ranchwirtschaften in den beiden Amerikas, Australien, Neuseeland, sowie dem südlichen Afrika erst nach der Kolonisierung durch Europäer entstanden. Die Ranchwirtschaft bezeichnet Whittlesey als halb-sesshaft. Während das Ranchhaus ein permanentes Zentrum bilde, ziehe die Herde, gefolgt von „Cowboys“, umher. Whittlesey weist darauf hin, dass die Ranchwirtschaft ein sehr extensives System in dem Sinn darstelle, dass pro Tier eine relativ große Fläche notwendig sei.

Andreae 1983: Ranchwirtschaften
Arnold 1997: Extensive Stationäre Weidewirtschaft (Ranching)

Wanderfeldbau („Shifting Cultivation“)

Bei dem vor allem in den Tropen und Subtropen verbreiteten Wanderfeldbau handele es sich um eine Art der Bewirtschaftung, bei der jeweils ein Stück Wald geschlagen und anschließend meist verbrannt werde. Nach einiger Zeit, meist ein bis drei Jahren, würden die Bauern dieses Stück Land verlassen und die Bewirtschaftung auf einem weiteren Stück Wald fortgesetzt. Die nur wenige Jahre dauernde Nutzung ein und desselben Stücks Land hänge mit der geringen Fruchtbarkeit und der hohen Auswaschung der Böden in tropischen Regionen zusammen. Nach wenigen Jahren seien die Nährstoffe von den Pflanzen aufgebraucht. Der Boden benötige dann eine gewisse Brachezeit, ehe wieder genügend Nährstoffe im Boden gebunden sind.

Andreae 1983: Wanderfeldbau
Arnold 1997: Wanderfeldbau (Gemeinsam mit Landwechselwirtschaft genannt)

Rudimentär sesshafter Landbau („Rudimental Sedentary Tillage“)

Dieses Agrarsystem stelle eine Transitionsform zwischen Wanderfeldbau und sesshaftem Ackerbau dar. Whittlesey spricht dabei von einer Form der Landwirtschaft, bei der die Bauern permanent an einem Ort bleiben, solange sie nicht von einer Art Katastrophe zur Wanderung gezwungen werden. Er erklärt dies unter anderem damit, dass in besonders fruchtbaren Regionen das Stück Land vorzugsweise weiter kultiviert wird, anstatt es für ein anderes Stück Land aufzugeben. Der Nachteil sei dabei vor allem der höhere Arbeitsaufwand, da das Land einer nur kurzzeitig brachliegenden Fläche vor allem mit Gras bewachsen sei, dessen Entfernung mehr Zeit benötige als das Schlagen und Verbrennen des Waldes. Einen weiteren Erklärungsansatz für den Übergang vom Wanderfeldbau zum sesshaften Ackerbau sieht Whittlesey im vermehrten Verkauf von exotischen Früchten. Die entsprechende Verlagerung vom Anbau einjähriger zu mehrjährigen Pflanzen (Bäumen, Palmen), bringe eine geringere Auslaugung des Bodens mit sich.

Arnold 1997: Landwechselwirtschaft (Gemeinsam mit Wanderfeldbau genannt)
Bei Andreae 1983 findet sich keine Entsprechung dieses Übergangssystems

Intensiver Subsistenzlandbau mit Reis dominierend („Intensive Subsistence Tillage with Rice dominant“)

⁵ Die Ranchwirtschaften entsprechen in der in Abschnitt 3.4.2 entworfenen, sozial-ökologischen Klassifikation einer sehr extensiven Form der auf Grünland basierenden Tierproduktion.

Dieser Landwirtschaftstyp, der fast ausschließlich in Südostasien anzutreffen sei, trage eine höhere landwirtschaftliche Bevölkerung als jede andere Form der Bodenbewirtschaftung. Flussdeltas, überflutete Ebenen, Küstengebiete, sowie bewässerte Terrassen seien bei diesem Typ für den Anbau von Reis genutzt, nicht bewässertes Land werde für eine Reihe anderer Feldfrüchte genutzt. Oftmals werde dies ergänzt durch den Fang von Fischen aus angrenzenden Flüssen und sonstigen Gewässern, üblich seien zudem künstliche Fischteiche.

Andrae 1983: Teil der Körnerbauwirtschaften

Arnold 1997: Reisbau

Intensiver Subsistenzlandbau ohne Reis („Intensive Subsistence Tillage without Paddy Rice“)

Diesen Typ, den Whittlesey gemeinsam mit dem vorigen auch als “orientalische Landwirtschaft” bezeichnet, werde durch das weitgehende Fehlen von Reis charakterisiert und komme in orientalischen Regionen vor, in denen entweder durch eine zu kurze Saison oder durch zu große Trockenheit der Anbau von Reis verhindert wird. Entsprechend den weniger produktiven, alternativ genutzten Feldfrüchten sei die Bevölkerungsdichte in diesen Gebieten weniger hoch. Abgesehen des auf die klimatischen Bedingungen zurückführbaren Fehlens von Reis seien aber die Methoden – Einteilung in bewässerte und unbewässerte Felder, sowie Obstbäume an den Hängen, mechanische Methoden und dementsprechend hoher Zeitbedarf – weitgehend mit jenen des Subsistenzlandbaus mit Reis vergleichbar. Zu Landwirtschaftspraktiken in Regionen wie dem mexikanischen Hochland würden Ähnlichkeiten bestehen, so Whittlesey, jedoch unterscheide sich sämtliche Landwirtschaft außerhalb der orientalischen Region von der dort vorkommenden durch einen wesentlich geringeren Flächenertrag.

Andrae 1983: Teil der Körnerbauwirtschaften

Arnold 1997: Traditioneller, kleinbetrieblicher Ackerbau ohne Reis

Kommerzielle Plantagenwirtschaft („Commercial Plantation Crop Tillage“)

Dieser Landwirtschaftstyp, zu dem z.B. Tee-, Kakao-, Kaffee- und Bananenplantagen gehören würden, sei von Europäern in Gebieten eingeführt worden, in denen zuvor der Subsistenzanbau von Reis oder Wanderfeldbau vorherrschte. Anders als bei den übrigen, in den Tropen vorkommenden Agrarsystemen sei hier die Produktion fast ausschließlich zum Verkauf, meist in mittlere Breiten, bestimmt. Auf der anderen Seite werde das Kapital von meist europäischen Firmen – anzunehmen ist: der jeweiligen Kolonialmacht – bereitgestellt. Ebenfalls wie kein anderes Agrarsystem sei dieses System von industriellen Produkten für die Verarbeitung und den Transport abhängig, so sei es z.B. nur mit Kühlaggregaten möglich, Bananen nach Übersee zu verschiffen. Abschließend merkt Whittlesey an, dass diese Plantagenwirtschaft sowohl große Ländereien als auch Kleinbauern umfasst, die ihre Produkte an große Firmen weiterverkaufen. Eine Unterscheidung, die man bis heute treffen kann.

Andrae 1983: Dauerkultursysteme: Plantagen

Arnold 1997: Spezialisierter Marktfruchtbau: Plantagenwirtschaft der Tropen und Subtropen

Mediterrane Landwirtschaft („Mediterranean Agriculture“)

Diesen Landwirtschaftstypen bezeichnet Whittlesey als den aus geographischer Perspektive zufriedenstellendsten aller Typen. Er begründet dies damit, dass dieses Agrarsystem auch in der Ursprungsregion (also der europäischen Mittelmeerregion), trotz des weltweiten Übergangs von isolierten zu wechselseitig abhängigen Ökonomien (heute würde man das als Globalisierung bezeichnen), seinen ausgeprägten Charakter behalten hat. Ohne darauf im einzelnen einzugehen, beschreibt Whittlesey die mediterrane Landwirtschaft als ein System mit einer klar abgrenzbaren Kombination verschiedener Feldfrüchte mit Weidetieren.

Aus heutiger Sicht erscheint Whittleseys Begeisterung über die Ausnahmerolle dieses Agrarsystems in der Hinsicht, dass sich aufgrund der natürlichen Umwelt eine charakteristische Merkmalskombination des entsprechenden Landwirtschaftstyps herausgebildet hat, nicht mehr berechtigt. Es fragt sich auch, wieso ausgerechnet dieses Agrarsystem von Marktkräften verschont bleiben soll. Heute kann wohl nicht mehr von einem eigenen mediterranen Typ der Landwirtschaft gesprochen werden. In weiten Teilen wurde dieses Agrarsystem von Monokulturen, besonders Dauerkulturen (Wein, Oliven, etc.) ersetzt. Exemplarisch beschreibt Sabelberg (1975) diesen Niedergang des mediterranen Landwirtschaftstyps und sein Ersetzen durch arbeitsextensive Monokulturen für eine Region in der Toskana.

Kein entsprechendes System bei Andreae 1983 und Arnold 1997.

Kommerzieller Getreideanbau („Commercial Grain Farming“)

Kein anderer Landwirtschaftstyp sei so sehr ein Kind der industriellen Revolution, wie das als „kommerzieller Getreideanbau“ bezeichnete System. Es sei dementsprechend erst mit dem Stahlpflug⁶ und Erntemaschinen, beides Erfindungen der 1830er Jahre, entstanden. Weizen sei bei diesem an der Grenze zwischen semiaridem und feuchtem Klima vorkommenden Agrarsystem die bei weitem dominierende Marktfrucht. Tiere würden, entsprechend der weit fortgeschrittenen Spezialisierung, allenfalls als Zugtiere eine Rolle spielen. Ein weiteres Charakteristikum sei die vergleichsweise geringe Erntemenge pro Fläche, verbunden mit einer hohen Instabilität der Ernte, das heißt teilweisen oder kompletten Ernteaussfällen. Auch würden in diesem System keine Düngemittel verwendet. Whittlesey fasst dies so zusammen: „*Methods are progressive but not intensive.*“ (S.229)

Whittlesey beschrieb dieses System im Jahr 1936. Kann man auch heute noch einen entsprechenden Typ von Landwirtschaft beobachten? Ich denke, dass es durchaus auch heute noch Sinn macht, ein Agrarsystem dieses Typs abzugrenzen, wengleich sich die Charakteristika im Detail verändert haben; Zugtiere kommen bei dieser extensiven, jedoch hochindustrialisierten und -rationalisierten Form des Getreidebaus heute sicher nicht mehr vor. Auch Düngemittel werden heute zumeist eingesetzt, jedoch noch immer in deutlich geringerem Ausmaß als bei europäischen, intensiven Formen des Getreideanbaus.

Andreae 1983: Teil der Körnerbauwirtschaften

Kommerzieller Vieh- und Ackerbau („Commercial Livestock and Crop Farming“)

Trotz seiner, wie Whittlesey bemerkt, großen Vielfalt im Detail, sei dieser Typ als eigenes System abgrenzbar. Er beschreibt es als einen der drei Nachfolger der mittelalterlichen Landwirtschaft in Europa. Im Gegensatz zu dem oben beschriebenen kommerziellen Getreideanbau sei hier ein wesentlicher Bestandteil das vor allem zum Verkauf bestimmte Vieh. 1936 schreibt Whittlesey, dass diese Art der Landwirtschaft außer in Europa auch in anderen Regionen der mittleren Breiten verbreitet sei, jedoch nicht in Asien. Weizen, Mais und Hafer seien die Hauptgetreidesorten, wobei der Hafer zur Verfütterung an die Tiere bestimmt sei. Durch die Produktion und den Verkauf des Überschusses sei der Einsatz von Maschinen, sowie durch die relativ hohe Viehdichte eine starke Düngung der Felder möglich. Charakteristisch sei dabei auch die starke Verflechtung dieses Agrarsystems mit Marktzentren, in denen die Überschüsse verkauft werden können.

Es ist anzunehmen, dass sich heute, mit zunehmender Orientierung der Produktion am Markt, auch eine zunehmende Spezialisierung auf zum einen Tierhaltung, zum anderen reinem Getreideanbau nachweisen lässt. Ermöglicht wird diese Spezialisierung – im Gegensatz zum oben beschriebenen kommerziellen Getreideanbau, bei welchem die Ernte relativ gering ausfällt – auch durch chemische Düngemittel.

⁶ Der von den ersten Siedlern des amerikanischen mittleren Westens aus New England mitgebrachte, aus Gusseisen gefertigte Pflug, war für den Boden dieser Region wenig geeignet. Der Stahleisenpflug wurde von John Deere für diesen Boden entwickelt (Deere 2004).

Andreae 1983: Keine wirkliche Entsprechung, am ehesten den Körnerbauwirtschaften unterzuordnen
Arnold 1997: Spezialisierter Marktfruchtbau: Gemischtbetriebe Westeuropas und Nordamerikas

Vieh- und Ackerbau auf Subsistenzbasis („Subsistence Crop and Stock Farming“)

Dieses ist das zweite der drei aus Nordeuropa stammenden, von Whittlesey beschriebenen Systeme. Im Gegensatz zum kommerziellen Vieh- und Ackerbau produziert hier die Bauernfamilie fast ausschließlich für ihren eigenen Bedarf, die Mechanisierung sei deutlich weniger fortgeschritten.

Neben der mediterranen Landwirtschaft ist dies wohl ebenfalls ein Agrarsystem, das so heute in der von Whittlesey beschriebenen Form nicht mehr vorliegt. Zumindest in West- und Mitteleuropa dürfte dieser Typ heute weitgehend durch den kommerziellen Vieh- und Ackerbau oder gar durch eine weiter spezialisierte Form der Landwirtschaft ersetzt worden sein. Doch auch hier kann man sich die Frage stellen, inwieweit durch ein Zusammenbruch des Ostblocks viele Bauern wieder – zumindest vorübergehend und gezwungenermaßen – zu dieser Form der Landwirtschaft zurückgekehrt sind.

Keine Entsprechung bei Andreae 1983 und Arnold 1997

Kommerzielle Molkereien („Commercial Dairy Farming“)

Dieser dritte Typ der aus Europa stammenden Landwirtschaft sei vor allem in Regionen zu finden, in denen die Sommer zu kühl und nass für entweder Mais oder Weizen sind. Unter diesen klimatischen Bedingungen sei permanentes Grünland am besten angepasst. Eine weitere Bedingung, insofern seine Beschränkung auf mittlere Breiten, sei ein der Milchproduktion naher städtischer Markt, auf dem die Milchprodukte verkauft werden können.

Andreae 1983: Intensive Grünlandwirtschaften
Arnold 1997: Intensive Viehwirtschaft auf Grünlandbasis

Spezialisierter Gartenbau („Specialized Horticulture“)

Als diesen Typ der Landwirtschaft charakterisiert Whittlesey den spezialisierten Anbau von Obst und Gemüse – für manche Regionen zählt er Spezialkulturen wie Baumwolle hinzu – außerhalb des Mittelmeerraums. Mit dem oben diskutierten möglichen Verschwinden eines eigenen Mittelmeersystems kann möglicherweise auch der Anbau von Obst und Gemüse in dieser Region zu dieser Einheit addiert werden. Als ältestes Beispiel eines entsprechend spezialisierten Gartenbaus nennt er die Weingärten Europas (heute können hier sicher auch jene der anderen Kontinente hinzugerechnet werden). Wie bei den Molkereien zuvor, ist auch bei dieser spezialisierten Form der Landwirtschaft das Entstehen großer Städte mit entsprechenden Abnehmern Voraussetzung.

Auch dieses Agrarsystem kann auch für heute angenommen werden, sicher sogar – aufgrund der zunehmenden Spezialisierung und der Erweiterung der städtischen Märkte – in noch größerem Ausmaß.

Andreae 1983: Dauerkultursysteme: Pflanzungen. Für spezialisierten Gemüsebau keinen eigenen Typ
Arnold 1997: Spezialisierter Marktfruchtbau: Marktfruchtbau der gemäßigten Breiten

2.2. Die Einteilungen Boserups und Ruthenbergs

Zwar können sowohl Boserup als auch Ruthenberg ebenfalls in der Geographie angesiedelt werden, doch ausgehend von Boserup (1965) ist eine Art der Klassifikation zu erkennen, die deutlich von den bisherigen, oben am Beispiel von Whittlesey (1936) illustrierten, geographischen Einteilungen abweicht. Das wichtigste Kriterium hierbei ist die Dauer der Brache (bei Boserup), bzw. das Verhältnis zwischen Anbau- und Brachedauer (bei Ruthenberg). Diese beiden Klassifikationen stehen näher an dem hier benutzten sozial-ökologischen Ansatz als die zuvor erläuterten geographischen

Einteilungen. Ruthenbergs Klassifikation, die weiter ausgearbeitet ist als jene von Boserup, soll im folgenden näher vorgestellt werden.

Ruthenberg (1980, S.14-18) erwähnt zunächst verschiedene Möglichkeiten der Einteilung von Agrarsystemen, an denen sich später seine eigene Einteilung orientieren wird. Er teilt zunächst Sammelwirtschaften (Sammeln, Jagen und Fischen) vom landwirtschaftlichen Anbau ab und teilt die Klassifikationen letzterer in der folgenden Weise auf (jeweilige Referenzen von ihm genannt):

- Klassifikationen nach der Art der Fruchtfolge (Aereboe 1919, Brinkmann 1924, Woermann 1959). Dabei könne man unterscheiden zwischen (1) Natürlicher Brache, (2) Weidesystemen, (3) Feldsystemen (permanenter Ackerbau) und (4) Dauerkulturen.
- Klassifikationen nach der Intensität der Fruchtfolge (Terra 1958, Nye und Greenland 1961, Faucher 1949, Joosten 1962, FAO/SIDA 1974). Von Joosten (1962) sei dabei der R-Wert eingeführt worden⁷, die Einteilung der FAO/SIDA (1974, S.17) unterscheide diesem folgend zwischen (1) Wanderfeldbau ($R < 33$), (2) Brachesystemen ($33 < R < 66$), (3) Permanentem Anbau ($R > 66$) und (4) dem kombinierten Anbau von Futterpflanzen und Ackerbau, im deutschen oft als Feldgraswirtschaften bezeichnet. In diese Kategorie von Klassifikationen wäre auch Boserup (1965) einzuordnen, welche von Ruthenberg nicht erwähnt wird.
- Klassifikationen nach der Art der Bewässerung mit (1) bewässerter Landwirtschaft und (2) regengespeister („rainfed“) Landwirtschaft.
- Klassifikationen nach den Anbau- und Tierproduktionsmustern, das heißt aufgeteilt nach dem Schwerpunkt der angebauten Feldfrüchte bzw. gehaltenen Tiere.
- Klassifikationen nach den für den Anbau genutzten Werkzeugen mit (1) der Haue, (2) dem Pflug, gezogen von Tieren und (3) dem von Traktoren gezogenen Pflug.
- Klassifikationen nach dem Grad der Kommerzialisierung. Der 1970 World Census of Agriculture unterscheidet demnach zwischen (1) Subsistenzanbau, (2) In Teilen kommerzialisierter Landwirtschaft, bei der mehr als 50% der Produkte für den eigenen Konsum bestimmt ist und (3) kommerzialisierter Landwirtschaft, bei welcher mehr als 50% der erzeugten Produkte verkauft werden⁸.

Ruthenbergs Aufzählung zeigt, dass es unzählige Möglichkeiten der Einteilung gibt, man könnte sicherlich weitere hinzufügen. Die Hauptschwierigkeit jeder Einteilung besteht deshalb in der Auswahl von für die spezifische Klassifikation adäquaten Kriterien. In seiner eigenen Einteilung wählt Ruthenberg die Intensität der Fruchtfolge, das heißt das Verhältnis zwischen Anbau- und Bracheperiode, quantitativ ausgedrückt im R-Wert, als grundlegendes Einteilungskriterium. Ruthenberg unterscheidet, ausgehend von den obigen Einteilungskriterien, folgende Hauptklassen von Agrarsystemen:

- Wanderfeldbau ($R < 33$).
- Brachesysteme ($33 < R < 66$).
- Grünlandwirtschaften und Molkereien mit (1) nicht regulierten Grünlandwirtschaften und (2) regulierten Grünlandwirtschaften.
- Permanente Hochlandwirtschaft⁹.
- Bewässerter Ackerbau mit (1) künstlicher Bewässerung und (2) „Bewässerung“ durch reduzierten Abfluss¹⁰.
- Dauerkulturen mit (1) Plantagenwirtschaften und (2) von Kleinbauern betriebenen Pflanzungen.
- Weidewirtschaften mit (1) Totalem Nomadismus, (2) Semi-Nomadismus und (3) Ranch-Wirtschaften.

⁷ Der R-Wert ergibt sich rechnerisch aus dem Anteil der Anbauperiode an der gesamten Fruchtfolge (einschließlich Brachedauer), multipliziert mit 100.

⁸ Der Anteil bezeichnet dabei den Anteil des Wertes der selbst konsumierten bzw. verkauften Produkte am (potentiellen) Gesamtwert aller Produkte.

⁹ Diese Klasse bezeichnete Ruthenberg (1980) in der ersten Edition noch als „Permanent cultivation on rainfed land“. Diese Bezeichnung würde allerdings die regengespeisten Nassreisfelder (Sawah) einschließen, welche Ruthenberg jedoch von dieser Klasse abtrennt und – auch in sozial-ökologischer Hinsicht sinnvoll – gemeinsam mit den künstlich bewässerten Feldern den „Systems with arable irrigation farming“ zurechnet.

¹⁰ Darunter fallen vor allem die über Regenwasser gespeisten Nassreisfelder, bei denen der Abfluss durch entsprechende Technologien vermindert wird.

2.3. Die Klassifikation der International Geographic Union

Im Jahr 1964 wurde von der International Geographic Union, unter der Leitung von Jerzy Kostrowicki, die „IGU Commission on Agricultural Typology“ eingesetzt, welche zum Ziel hatte, eine möglichst breit akzeptierte, geographische Klassifikation von Agrarsystemen zu entwerfen. In den folgenden Jahren beteiligten sich über 80 Wissenschaftler aus über 30 Ländern – offenbar hauptsächlich des Ostblocks – an diesem Unterfangen, es fanden zahlreiche, in fünf Konferenzbänden dokumentierte internationale Meetings statt (Kostrowicki 1979). Das Ergebnis dieser gemeinschaftlichen Anstrengung wurde im Jahr 1976 präsentiert.

Erstaunlich ist, betrachtet man den Aufwand, der zur Herstellung dieser Klassifikation getrieben wurde, dass sie offenbar niemals eine Bedeutung gewann, das heißt nie in nennenswertem Umfang als Grundlage für Fragestellungen in der Forschung über Agrarsysteme verwendet wurde. Die Ursache dafür liegt meines Erachtens in ihrem zu umfassenden Anspruch begründet: Durch den Einbezug möglichst vieler Kriterien und Ansätzen wurde eine Klassifikation erstellt, die zwar einen Anspruch auf möglichst allgemeine Gültigkeit hatte, gerade dadurch aber für spezifische Forschungsfelder kaum brauchbar war.

Das Scheitern der IGU-Klassifikation zeigt, dass bei der Erstellung einer Klassifikation *erstens* im Auge behalten werden sollte, dass ihre Kriterien von Anfang an von den Fragestellungen und dem Diskursfeld abhängig gemacht werden müssen, dem diese Klassifikation dient und *zweitens* demnach eine Klassifikation niemals eine auch nur annähernd universelle Gültigkeit beanspruchen kann, sondern immer eine zur Beantwortung von Fragestellungen dienende Hilfskonstruktion bleibt.

2.4. Die Klassifikation von FAO und Weltbank (Dixon et al. 2001)

Die in der von Weltbank und FAO Studie „Farming Systems and Poverty“ zu findende, sehr ausführliche und mit Verbreitungsdaten versehene Klassifikation lässt sich weder den klassisch geographisch orientierten, noch den humanökologisch orientierten Klassifikationen zuordnen und soll daher gesondert besprochen werden. Die Einteilung beschränkt sich auf die Regionen der Entwicklungsländer und wurde explizit aus einer an einer industriellen Modernisierung ausgerichteten Entwicklungsperspektive erstellt. Die Klassen von Agrarsystemen werden daher konstruiert als „*a population of individual farm systems that have broadly similar resource bases, enterprise patterns, household livelihoods and constraints, and for which similar development strategies and interventions would be appropriate*“ (S.9)

Als Kriterien für die Einteilung werden die verfügbare natürliche Ressourcenbasis (Wasser, Land, Wald und Weide, Klima, Landschaft, Farmgröße, Pachtverhältnis¹¹ und Organisation) und die dominierenden Muster der Farmaktivitäten und des Unterhalts (Feldfrüchte, Tiere, Bäume, Aquakulturen, Jagen und Sammeln, Verarbeitung und Aktivitäten außerhalb der Landwirtschaft, hauptsächlich gebrauchte Technologien) benutzt (S.11). Daraus hervorgehend werden die folgenden acht Hauptklassen von Agrarsystemen gebildet (S.11/12):

- Irrigated farming systems
- Wetland rice based farming systems
- Rainfed farming systems in humid areas of high resource potential
- Rainfed farming systems in steep and highland areas
- Rainfed farming systems in dry or cold low potential areas
- Dualistic (mixed large commercial and smallholder) farming systems
- Coastal artisanal fishing
- Urban based farming systems

¹¹ Das Pachtverhältnis kann allerdings kaum zur natürlichen Ressourcenbasis gerechnet werden, wie dies in der Weltbank/FAO-Studie gemacht wird.

Diese Hauptgruppen werden *“applied to the six main regions of the developing world in a pragmatic fashion, with a view to drawing conclusions with regard to poverty reduction and agricultural growth.”* (S.12)

Für die Region “Middle East and North Africa“ ergeben sich dabei z.B. folgende Typen von Agrarsystemen (S.87-91):

- Irrigated Farming System (With Small Scale Irrigated Sub-System)
- Highland Mixed Farming System
- Rainfed Mixed Farming System
- Dryland Mixed Farming System
- Pastoral Farming System
- Sparse (Arid) Farming System
- Coastal Artisanal Fishing System
- Urban Based Farming System

Wenngleich die Einteilung von Weltbank und FAO nicht auf sozial-ökologische Kriterien, sondern auf den ökonomischen Entwicklungsaspekt ausgerichtet, zudem auf Regionen der Entwicklungsländer beschränkt ist, bietet sie nützliche Inhalte: Es wird, weitaus detaillierter als z.B. in den klassisch geographischen Klassifikationen, der Habitus (angebaute Feldfrüchte, gehaltene Tiere, Anbautechniken usw.) verschiedener Ausprägungen der Landwirtschaft in den untersuchten Regionen beschrieben, zudem wird für jedes Agrarsystem die mit diesem assoziierte Bevölkerung, sowie die Gesamtfläche, teilweise auch spezifischer die angebaute Fläche, angegeben. Weiters ist die Verbreitung der verschiedenen Typen kartiert. Die Weltbank/FAO-Studie könnte somit als ein möglicher Ausgangspunkt für die in dieser Arbeit nicht näher bearbeitete Frage der Verbreitung der Agrarklassen dienen, indem die Klassen der Weltbank/FAO-Studie jeweiligen sozial-ökologisch definierten Gruppen zugeordnet werden.

3. Eine Sozial-Ökologische Klassifikation

Die Vorgangsweise beim Erstellen einer Klassifikation unterscheidet sich grundsätzlich von der Beantwortung einer Frage in den Erfahrungswissenschaften. Dem Naturwissenschaftler zum Beispiel ist eine hypothetisch-deduktive Methode zur Beantwortung einer Frage vorgegeben. Was in naturwissenschaftlichen Artikeln unter der Rubrik „Methode“ beschrieben wird, ist denn auch nicht die Methode selbst, sondern die Art und Weise, in der eine bestimmte, vorgegebene – also in diesem Fall naturwissenschaftliche – Methode auf diesen Fall angewandt wird (z.B. angewandte Messverfahren, Art der statistischen Auswertung, etc.). Auch bestimmte Kategorien sind vorgegeben, beispielsweise für den Chemiker das Periodensystem der Elemente.

Das Klassifizieren hingegen beantwortet keine Frage. Vielmehr strukturiert eine Klassifikation die Wahrnehmung in bestimmter Weise und schränkt damit sowohl die Fragen, die gestellt, als auch die Antworten, die – auf Grundlage dieser Klassifikation – gewonnen werden können, ein: Das Periodensystem der Elemente ist nicht tauglich, die Frage nach der phylogeographischen Entwicklung einer Artengruppe zu stellen.

Die folgenden Ausführungen können also nicht sinnvoll, wie bei naturwissenschaftlichen Fragestellungen üblich, in „Methode“, „Ergebnisse“ und „Diskussion“ gegliedert werden. Statt dessen wird unter der Überschrift **„Klassifizieren: Grundsätzliches“** (3.1.) die grundlegende Vorgehensweise beim Klassifizieren allgemein skizziert, um anschließend im zweiten bzw. dritten Abschnitt unter **„Modellentwurf“** (3.2.) bzw. **„Analyse und Gruppierung der Fallstudien“** (3.3.) die zuvor grundsätzlich erörterte Vorgangsweise auf die hier gegebene Aufgabe anzuwenden und schließlich im vierten Abschnitt, unter **„Die Klassifikation“** (3.4.) als hauptsächliches Ergebnis dieser Arbeit die sozial-ökologische Klassifikation vorzustellen und die Einheiten zu vergleichen.

3.1. Klassifizieren: Grundsätzliches

Der Prozess des Klassifizierens lässt sich in zwei Schritte aufteilen. Im ersten Schritt, den ich **Problemstrukturierung** (3.1.1.) nenne, wird die Perspektive festgelegt, die beim klassifizieren eingenommen wird. Um Lesern der Einteilung die Möglichkeit zu geben, Einblick in die Art und Weise der Klassifizierung zu gewinnen und eine spätere Kritik und Modifikation dieser zu ermöglichen, ist es unbedingt notwendig, die Perspektive und den Prozess des Klassifizierens so transparent wie möglich zu machen. Im zweiten Schritt, hier **Klassifizierungsprozess** (3.1.2.) genannt, findet die Bildung der der Klassen und evtl. Gruppierung der Klassen statt.

3.1.1. Problemstrukturierung

Was sind Klassifikationen?

Jede Erfahrungswissenschaft hat zum Ziel, Aussagen über allgemein gültige Regeln und Zusammenhänge zu erforschen. Die Grundlage besteht dabei in der Zusammenfassung von Elementen zu Klassen, wobei solche Elemente zusammengefasst werden, die sich in bestimmten Merkmalen gleichen. Die andere Seite der Medaille von Klassifikationen ist die entsprechende Abgrenzung der dadurch entstehenden Klassen voneinander.

Worauf beruht der Unterschied von Klassifikationen?

Klassifikationen unterscheiden sich nicht nur vollkommen hinsichtlich dem, *was* klassifiziert wird, sondern auch in jenem, *wofür* klassifiziert wird. Entsprechend können zwei Klassifikationen ein und derselben Sammlung von Dingen vollkommen unterschiedlich ausfallen – und dennoch beide korrekt sein. Vom Zweck, das heißt vom *wofür* der Klassifikation, hängt die Auswahl der Kriterien ab, nach denen die zu untersuchenden Elemente zu Klassen zusammengefasst und damit voneinander abgegrenzt werden. Das Ergebnis einer Untersuchung ist ganz wesentlich von der

Problemstrukturierung abhängig, die vor der eigentlichen Klassifikationsarbeit vorgeschaltet ist. Giampietro (2004) schreibt dazu:

„The various causal relations found by scientific analysis will depend not only on the intrinsic characteristics of the investigated system, but also on decisions made in the preanalytical steps of problem structuring.“ (Giampietro 2004, S.67)

Mit der Fragestellung untrennbar verbunden ist ein bestimmtes Modell, ein bestimmtes Bild des zu untersuchenden Ausschnitts der Wirklichkeit. Niemals kann es bei Untersuchungen komplexer Systeme das eine, richtige Bild dieses Systems geben. Vielmehr hängt dieses Bild immer von der Perspektive ab, welche der Betrachter einnimmt (Giampietro 2004, S.5/6). Diese Perspektive unterscheidet sich in folgenden Aspekten:

a) Skalenebene

Die Betrachtung kann auf verschiedenen Skalenebenen stattfinden, z.B. auf der Ebene eines Landes („wie viel Stickstoffdünger verwendet der landwirtschaftliche Sektor Österreichs?“) oder der Ebene eines landwirtschaftlichen Haushalts („wie viele Arbeitsstunden setzt der landwirtschaftliche Haushalt x pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche ein?“).

b) Betrachteter Aspekt des Systems

Setzen wir unsere Betrachtung auf einer bestimmten, klar definierten Skalenebene an, so können die verschiedenen Systembeschreibungen gleichwohl vollkommen unterschiedlich ausfallen. Dies ergibt sich dadurch, dass verschiedene Aspekte eines Systems betrachtet werden können. Versuchen wir beispielsweise ein Agrarsystem eines bestimmten Dorfes darzustellen, so könnten wir die in diesem Agrarsystem arbeitenden Personen und deren Beziehungen (familiär, geldvermittelt, etc.), oder auch die Energieflüsse zwischen verschiedenen Komponenten (Feld, Schweine, Hühner, Menschen), sowie eine Vielzahl weitere Aspekte darstellen. Giampietro (2004) spricht von „Epistemic Categories“, die zuvor definiert sein müssen.

c) Systemgrenze

Nach Festlegung von Skalenebene und Aspekt muss innerhalb dieser die Systemgrenze festgelegt werden. Beispielsweise kann man sich fragen, ob bei industrieller Massentierhaltung jene Fläche, auf der das für die Tiere verwendete Futter angebaut wird, in das System einzuschließen ist, selbst wenn die Agrarsysteme dieser Fläche ökonomisch außerhalb des Betriebssystems liegen.

Das Aufstellen eines hinsichtlich Skalenebene, betrachteten Komponenten und Systemgrenzen klar beschriebenen Modells ist somit keineswegs nebensächlich, sondern elementar, um daraus hervorgehend einen Vergleich der verschiedenen Agrarsysteme zu entwickeln. Es gibt nicht das eine, richtige Modell (als Widerspiegelung der Wirklichkeit), sondern unzählige von möglichen Modellen und damit auch Klassifikationen, die alle „richtig“, das heißt nützlich für einen bestimmten Zweck sein können. Durch die Konstruktion des von mir anschließend für die Klassifikation verwendeten Modells schränke ich bereits die möglichen Kriterien der Klassifikation ein und beeinflusse deren Charakter (Giampietro 2004).

3.1.2. Klassifizierungsprozess

Die unvorhersagbare Schleife

Nachdem in der oben beschriebenen Weise die Perspektive, das heißt die Skalenebene, die berücksichtigten Aspekte und die Systemgrenzen der Klassifikation festgelegt wurden, geht es darum, gegebene Elemente zu Klassen zusammenzufassen. Die Vorgangsweise zur Bildung von Klassen bezeichnet Giampietro als ein „impredicative loop“ und beschreibt das Paradoxon beim Bilden von Klassen folgendermaßen:

„(1) You must know **a priori** the pattern recognition associated with an epistemic category to recognize a legitimate member of the class (e.g. you have to know what dogs are to recognize one) and (2) you can learn the characteristics associated with the label of the class only by studying the characteristics of legitimate members of the relative class (e.g. you can learn about the class of dogs only by looking at individual dogs).“ (Giampietro 2004, S.27)

Konkret und im hier gegebenen Fall bedeutet dies: Um die Klassen der Agrarsysteme zu bilden, ist die Betrachtung einzelner Elemente – das heißt hier: landwirtschaftlicher Produktionssysteme – aus der festgelegten Perspektive notwendig. Bestimmte, sich in den Einteilungskriterien ähnelnde Elemente werden zu Klassen zusammengefasst, welche dann wieder anhand weiterer Elemente überprüft werden müssen. Der Vorgang ist also ein rekursiver Prozess, der prinzipiell nie abgeschlossen ist. Auch bei der hier vorliegenden Klassifikation ist es wichtig, zu bemerken, dass sie nicht die letztgültige Klassifikation darstellt, sondern im Gegenteil einen Rahmen und einen ersten Vorschlag vorgibt, der aber, da das Grundmuster der Klassen klar beschrieben wird, immer wieder anhand weiterer Fallbeispiele überprüft und modifiziert werden kann.

Die Bildung beobachtbarer und praktikabler Klassen

Wie in Abschnitt 3.2. der Arbeit ausführlicher erläutert werden wird, sollen die Elemente anhand der im sozial-ökologischen Diskursfeld besonders relevanten Größen des Energieflusses, der Kolonisierung und des Zeiteinsatzes klassifiziert werden. Das Problem einer Einteilung, die sich ausschließlich an gut modellierbaren, weil messbaren Größen orientiert, besteht jedoch darin, dass diese Einheiten schlecht praktikabel sind. Was ist anzufangen mit einem Agrarsystem, das dadurch beschrieben ist, dass es einen niedrigen Energieeinsatz und einen niedrigen Energieertrag pro Fläche, einen geringen Kolonisierungsgrad und einen geringen Zeiteinsatz pro Fläche aufweist? Viel mehr können wir schon mit den Einheiten „Sammeln und Jagd“ und „Traditionelle Weidesysteme“ anfangen, die beide in unterschiedlichem Ausmaß diese Charakteristika aufweisen. Dieser Prozess stellt eine Form der *Zuordnung* beobachtbarer Einheiten zu den anhand der sozial-ökologischen Kriterien gebildeten Einheiten dar. Die beobachtbaren Einheiten orientieren sich dabei vor allem an den verschiedenen klassischen Klassifikationen von Agrarsystemen, über die im ersten Teil dieser Arbeit ein Überblick gegeben wurde. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass die Einteilung an bestehende Studien – z.B. über die Verbreitung der Agrarsysteme – anschlussfähig ist.

Konklusion

Die auf den folgenden Seiten näher beschriebene Klassifizierung setzt sich also aus folgenden drei Schritten zusammen:

1. Festlegung von Skalenebene, Aspekten und Systemgrenzen: Das Modell.
2. Analyse und Gruppierung der Elemente anhand dieses Modells.
3. Anhand dessen Zuordnung beobachtbarer und praktikabler Klassen.

3.2. Ein Modellentwurf¹²

In der zuvor beschriebenen Weise wird in diesem Abschnitt die Perspektive entworfen, aus welcher das Agrarsystem betrachtet wird, das heißt Skalenebene, Aspekte und Systemgrenze festgelegt und erläutert. Die Perspektive ist dabei in erster Linie durch das Diskursfeld vorgegeben, innerhalb dessen die Klassifikation genutzt werden soll: Die Soziale Ökologie. Es werden deshalb zunächst im Abschnitt „**Das Konzept der Sozialen Ökologie**“ (3.2.1.) die Hauptkonzepte der Sozialen Ökologie vorgestellt. Unter der Überschrift „**Ein Agrarsystem-Modell**“ (3.2.2.) folgt anschließend eine

¹² Modell und System verstehe ich im Sinne von Odum 1983. Demnach ist ein Modell „a simplified version of a system.“ (S.3) und ein System „a group of parts that are interacting to some kind of process [...]. The whole becomes more than the sum of the parts when there are interactions. Such wholes that have emergent properties from the interaction of the parts we call systems.“ (S.4)

allgemeine Skizze der Kompartimente des benutzten Agrarsystem-Modells, ehe unter „Analysekriterien: Die Aspekte“ (3.2.3.) die innerhalb des Kompartimentmodells benutzten Aspekte und damit Analyse- und Vergleichskriterien näher erläutert werden.

3.2.1. Das Konzept der Sozialen Ökologie

Bei der theoretischen Erfassung des Umweltwandels zeigt sich das Problem der Trennung der Wissenschaft in einzelne Teildisziplinen besonders deutlich. Denn anders als z.B. der Blutkreislauf eines Insekts, der vor allem durch biologische Konzepte erklärt werden kann, tangiert die Problematik des Umweltwandels viele verschiedene Disziplinen.

Die Soziale Ökologie erkennt somit an, dass Probleme ökologischer Nachhaltigkeit letztlich von bestimmten gesellschaftlichen Systemen verursacht sind und keine Einzeldisziplin allein der Untersuchung dieser Thematik gerecht wird. In interdisziplinärer Zusammenarbeit wird deshalb aus dem Blickwinkel verschiedenster Disziplinen – z.B. Ökologie, Soziologie und Geschichte – die Fragestellung betrachtet. Die Ergebnisse, die sich aus diesen unterschiedlichen Perspektiven ergeben, sollen dann in einem gemeinsamen Modell integriert werden.¹³

Innerhalb der sozialen Ökologie im Sinne des hier verwendeten Verständnisses gibt es derzeit zwei Hauptkonzepte. Zum einen der sogenannte gesellschaftliche Stoffwechsel, in Analogie zum Stoffwechsel von Organismen, zum anderen das Konzept der Kolonisierung von Natur. In jüngerer Zeit wird auch vermehrt ein dritter Aspekt, jener der gesellschaftlichen Verwendung von Zeit, in das Modell integriert. Diese drei Konzepte sollen im folgenden kurz in allgemeiner Weise erläutert werden, ehe spezifischer auf das hier entworfene, sozial-ökologische Modell für Agrarsysteme eingegangen wird.

Gesellschaftlicher Stoffwechsel

Beim Konzept des gesellschaftlichen Stoffwechsels werden – in Analogie zum Stoffwechsel der Organismen – der Stoff- und Energieaustausch zwischen menschlichen Gesellschaften und der natürlichen Umwelt, sowie interne Material- und Energieflüsse menschlicher Gesellschaften untersucht (Haberl 2001). Dabei wird angenommen, dass die Nachhaltigkeitsprobleme von Gesellschaften wesentlich auf zu hohen Energie- und Materialflüssen beruhen. Bei letzteren kann nochmals zwischen Material- und Stoffflussanalysen unterschieden werden. Materialflussanalysen betrachten in aggregierter Weise große Gruppen von Materialien (z.B. Biomasse, Fossilenergieträger, Mineralien), die in großen Mengen umgesetzt werden. Dagegen beziehen sich Stoffflussanalysen auf chemisch definierte Substanzen, die häufig in verhältnismäßig kleinen Mengen umgesetzt werden, dabei jedoch bereits erheblich negative ökologische Auswirkungen haben. Ein Beispiel hierfür sind Schwermetalle.

Kolonisierung von Natur

Da gesellschaftliche Eingriffe in die Natur mit dem gesellschaftlichen Metabolismus nur unzureichend beschrieben können, wurde ein weiteres Konzept in das Diskursfeld der Sozialen Ökologie eingeführt: Kolonisierende Eingriffe in die Natur. Nach dem Konzept der Kolonisierung gehen Teile der Natur durch gezielte Eingriffe der Gesellschaft in unterschiedlichem Ausmaß zu „gesellschaftlichen Kolonien“ über. Das heißt, dass nicht mehr die Natur in der vorliegenden Weise genutzt wird, wie etwa bei Jäger- und Sammlerkulturen, sondern in gezielter Weise in natürliche Systeme eingegriffen wird. Die Art des kolonisierenden Eingriffs ist dabei sehr vielgestaltig und lässt sich nach verschiedenen Kriterien einordnen: Nach (1) der Skalenebene des natürlichen Systems, das durch den Eingriff verändert wird (z.B. Organismen durch Zucht, Ökosysteme durch landwirtschaftliche Eingriffe), (2) dem Zweck, der durch die Kolonisierungsstrategie verfolgt wird (z.B. Asphaltierung

¹³ Für eine ausführliche Darstellung der Sozialen Ökologie im hier verstandenen Sinne, siehe z.B. Fischer-Kowalski et al. 1997.

zum Zwecke schnellerer Fortbewegung) und (3) der Dimension des kolonisierten Systems (z.B. Energiehaushalt, Wasserhaushalt, Chemiehaushalt).

Der Indikator der HANPP¹⁴ bzw. der HANPP% der die gesellschaftliche – absolute bzw. relative – Aneignung von Nettoprimärproduktion ausdrückt, stellt eine Möglichkeit dar, einen bestimmten Aspekt der Kolonisierung, nämlich die Veränderung des Energiehaushalts auf einer bestimmten Fläche, zu quantifizieren¹⁵. Im Falle der hier fokussierten Agrarsysteme besteht der Zweck dieses Eingriffs in einer erhöhten Produktion der erwünschten Biomasse. Die quantitative Ermittlung der HANPP%, die als eine der Hauptklassifikationskriterien benutzt wird, ist in den Abschnitten 3.2.3.2. und 3.3.3. näher beschrieben.

Zeitverwendung

Ein bislang wenig beachteter Aspekt, der in Zukunft jedoch zunehmend Einzug in das Diskursfeld der Sozialen Ökologie finden könnte, ist die Zeitverwendung einer Gesellschaft. Auf der einen Seite kann man dabei fragen, wie viel verwendbare Zeit einer Gesellschaft überhaupt zur Verfügung steht. Die für verschiedene Aktivitäten zur Verfügung stehende Gesamtzeit wird dabei vor allem bestimmt durch die Gesamtbevölkerung und den Anteil der aktiven Personen, welcher wiederum stark mit der demographischen Entwicklung der betreffenden Bevölkerungen verknüpft ist. Auf der anderen Seite ist es für das Schicksal einer Gesellschaft von ganz entscheidender Bedeutung, in welcher Weise, das heißt für welche Zwecke die über den Nahrungserwerb hinaus zur Verfügung stehende Zeit eingesetzt wird¹⁶.

Energiefluss (an Stelle des gesellschaftlichen Metabolismus), Kolonisierung und Zeitverwendung sind somit jene drei Aspekte, welche Eingang in eine am Konzept der Sozialen Ökologie orientierte Klassifikation finden sollten.

3.2.2. Ein Agrarsystem-Modell

Vor der Festlegung und näheren Spezifizierung der einzelnen Aspekte soll ein Kompartimentmodell eines Agrarsystems skizziert werden. Kompartimentmodelle wurden in der Ökologie von den Odum-Brüdern (siehe z.B. Odum 1983) entwickelt und werden in erster Linie dazu verwendet, Energieflüsse, aber auch Flüsse bestimmter Stoffe wie Stickstoff zwischen verschiedenen Kompartimenten eines Systems darzustellen. Kompartimente sind dabei innerhalb des Systems abgegrenzte Bestandteile oder Subsysteme, die Energie aufnehmen oder weitergeben können. Im folgenden soll zunächst ein allgemeines Modell eines Agrarsystems skizziert werden, ehe dann dieses spezifischer auf die verschiedenen Aspekte (Energie, HANPP und Zeiteinsatz) angewandt und ggf. spezifiziert wird. In Abbildung 1 wird das im folgenden beschriebene Modell eines Agrarsystems illustriert, die jeweilig angegebenen Kompartimente werden im Text mit angegeben.

¹⁴ HANPP = Human Appropriation of Net Primary Production

¹⁵ Eine der Fragen, die derzeit intensiv bearbeitet werden ist, inwieweit die HANPP (bzw. die HANPP%) mit der Artenzahl korreliert ist und somit einen guten großräumigen Indikator für den Verlust von Arten darstellen könnte (siehe z.B. Haberl et al. 2004).

¹⁶ Für eine grundsätzliche Diskussion dieser Fragestellung, siehe Bataille 1985.

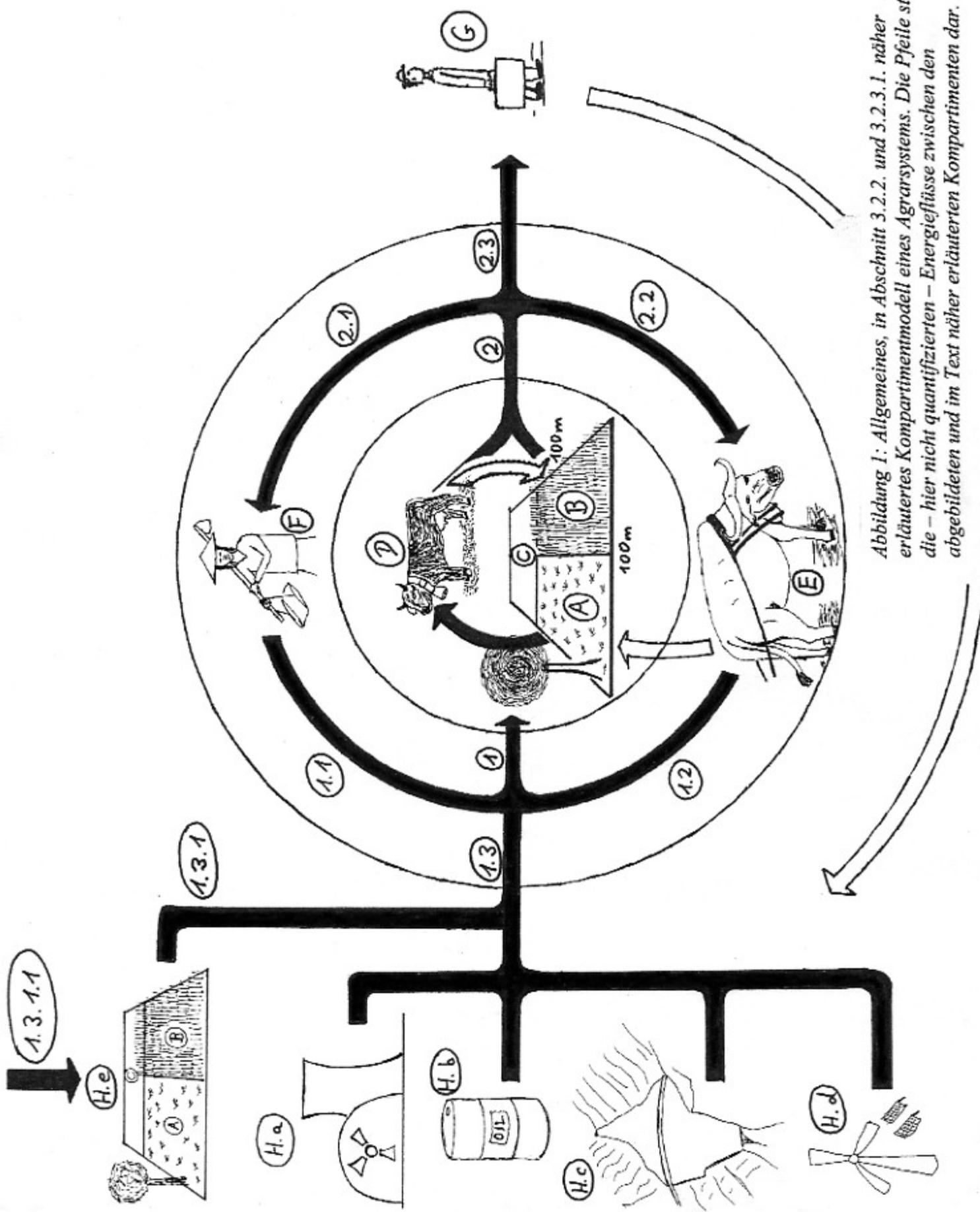


Abbildung 1: Allgemeines, in Abschnitt 3.2.2. und 3.2.3.1. näher erläutertes Kompartimentmodell eines Agrarsystems. Die Pfeile stellen die – hier nicht quantifizierten – Energieflüsse zwischen den abgebildeten und im Text näher erläuterten Kompartimenten dar.

Die Fläche als Bezugsgröße

Beim Vergleich quantitativer Merkmale benötigt man eine gemeinsame Bezugsgröße, zu der die anderen Größen in Relation gesetzt werden. Wer z.B. den Einsatz von Düngemitteln in einem System misst, kann das immer nur bezogen auf etwas tun: Eine bestimmten Ackerfläche, eine bestimmte Erntemenge, ein bestimmtes Dorf usw. Es scheint sinnvoll, bei dieser Untersuchung die Fläche als diese Bezugsgröße festzulegen. Innerhalb des Agrarsystems werde ich diese Fläche in zum einen Ackerland (A), zum anderen Wald und Weide (B) aufteilen.

Zu Wald und Weide zählen dabei jene Flächen, die mindestens fünf Jahre nicht umgebrochen werden (Krausmann, pers. Mitt.). In den einzelnen Fallbeispielen kann diese Trennlinie in manchen Fällen nicht klar gezogen werden, wird jedoch ggf. für die einzelne Referenzen näher spezifiziert.

Welche Gründe sprechen für diese Aufteilung? Zunächst scheint diese Unterteilung von einem optisch-ästhetischen Blickwinkel betrachtet sinnvoll. Wald und Weide können wir in den meisten Fällen von Ackerland unterscheiden. Ein weiterer, sehr wichtiger Aspekt ist der unterschiedliche Eingriff in das Natursystem. Es leuchtet ein, dass eine Mais-Monokultur die natürliche Vegetation in anderer Weise verändert, als eine Weide oder ein wirtschaftlich genutzter Wald. Ein weiterer Grund für die Aufteilung ist die meist unterschiedliche Funktion von Ackerland auf der einen, Wald und Weide auf der anderen Seite. Während nämlich auf Ackerland meist vom Menschen direkt verwertbare Nahrung angebaut wird, wird die auf dem Wald- und Weideland wachsende Biomasse entweder von Tieren verwertet, ehe diese vom Menschen genutzt werden, oder es wird Biomasse erzeugt, welche anders als zu Nahrungszwecken genutzt wird. Die Nutzung von Holz als Brennstoff und Papier wären hierfür Beispiele.

Um einen Vergleich verschiedener Agrarsysteme zu ermöglichen, werden die Indikatoren auf eine bestimmte Flächenmaß bezogen, hier ein Hektar. Dazu wird innerhalb des zu untersuchenden Produktionssystems ein *repräsentativer Ausschnitt* der Gesamtfläche ausgewählt. Da die Gesamtfläche von Agrarsystemen, betrachtet über einen mehrjährigen Zeitraum, sich in *Raum und Zeit* verändert – z.B. durch die Fruchtfolge einschließlich eventueller Brachejahre – muss der Ausschnitt diese beiden Dimensionen berücksichtigen. Das heißt, dass alle zu vergleichenden Größen sich so weit wie möglich – methodische Schwierigkeiten werden an gegebener Stelle geschildert – auf einen *räumlich und zeitlich repräsentativen Ausschnitt* des agrarischen Produktionssystems beziehen. Neben den auf die Fläche bezogenen Vergleichsgrößen werden die gesellschaftlich relevanten Größen der *Arbeitsproduktivität* und *Energieeffizienz* ermittelt. Die Brachefläche ist in Abbildung 1 als (C) angegeben.

Systemgrenzen: Intern und Extern

An flächenlosen Massentierhaltungssystemen, bei denen Futtermittel von außerhalb des Produktionssystems importiert werden, lässt sich besonders klar verdeutlichen, dass mit der Festlegung der Fläche als Bezugsgröße eine weitere Frage geklärt werden muss: Die nach dem Ein- oder Ausschluss bestimmter Flächenanteile. Denn bei landlosen Tierproduktionssystemen werden die Futtermittel zwar außerhalb der ökonomisch abgegrenzten Produktionseinheit erzeugt, die Produktion der Futtermittel gehört jedoch in einer systemökologischen Sicht zur Tierproduktion dazu: Ohne den – außerhalb des Produktionssystems stattfindenden – Anbau der Futtermittel wäre die Produktion von Milch, Fleisch und sonstigen Tierprodukten nicht möglich.

Es wird deshalb in dieser Arbeit innerhalb des betrachteten, Nahrungsmittel produzierenden Systems zwischen einem internen und einem externen Teil unterschieden. Die sich in Abbildung 1 innerhalb des inneren Zirkel befindlichen Teile stellen das Agroökosystem dar, welches vom Menschen, ggf. mit bestimmten Hilfsmitteln (Arbeitstieren und Werkzeugen) gezielt verändert wird. Von diesem im Zentrum stehenden System stammt sämtliche vom Menschen genutzte Biomasse. Innerhalb des zweiten Zirkels befindet sich das Produktionssystem. Dieses umfasst zusätzlich zum einen die Menschen, die unmittelbar mit dem Agroökosystem assoziiert sind, also aus diesem Energie beziehen oder Energie einsetzen, zum anderen die Arbeitstiere, welche zur Umgestaltung des Agroökosystems

eingesetzt werden. Zumeist geht diese Trennung zwischen intern und extern einher mit einer Trennung von lokalen und überregionalen Kompartimenten des Gesamtsystems. Die mit dem Agrarsystem unmittelbar assoziierten Menschen steuern den Stoff- und Energiefluss des Produktionssystems, entweder mit dem Ziel der Maximierung des Profits (in marktorientierten Systemen), oder mit dem Ziel der Sicherung der Ernährung (in subsistenzorientierten Systemen).

Zum Produktionssystem bzw. der Produktionseinheit gehören jene Elemente des stofflichen Gesamtsystems, die von dem mit dem Produktionssystem assoziierten Manager gezielt verändert werden. Die Ziele dieser Veränderung sind, wie in Abschnitt 3.4.1. über die Unterteilungskriterien noch ausführlicher diskutiert werden wird, von grundlegendem Unterschied und bestimmen die sozial-ökologischen Kriterien ganz wesentlich.

Jegliche Größen werden im folgenden auf die *interne*, das heißt zum Produktionssystem gehörige Fläche bezogen. Sowohl beim *Einsatz* verschiedener Komponenten in das System (Zeit, Energie, Fläche usw.), als auch beim *Ertrag* kann und sollte dabei jeweils zwischen intern und extern im oben beschriebenen Sinne unterschieden werden. Überschreitet innerhalb des in Abbildung 1 skizzierten Kompartimentmodells ein Aspekt (Energie, Zeit, Fläche etc.) den äußeren Zirkel, so ist dies als extern zu bezeichnen, wird nur der innere Zirkel überschritten, so findet lediglich ein interner Fluss statt.

Die im folgenden ausführlicher beschriebenen Kompartimente müssen somit jeweils immer unterschieden werden zwischen internen Kompartimenten, die zum Produktionssystem selbst gehören, dies ist z.B. meist bei Arbeitstieren der Fall und externen, sich außerhalb des Produktionssystemen befindlichen Kompartimenten, wie den externen Energieträgern.

Kompartiment I: Die entnommene Biomasse

Als entnommene Biomasse definiere ich die Biomasse, die auf einer bestimmten Fläche innerhalb eines bestimmten Zeitraums direkt oder indirekt entnommen wird. Unter indirekter Entnahme verstehe ich dabei das Abweiden von pflanzlichem Material durch Tiere, die im weiteren Verlauf vom Menschen verzehrt oder anderweitig genutzt werden. Der Begriff Biomasseentnahme umfasst in diesem Sinn sowohl das von auf einer Weide von Kühen verzehrte Gras, als auch die von später vom Menschen genutzten Wildtieren verzehrte Biomasse. Dabei muss der Weg dieser Biomasse nicht notwendigerweise über den Magen von Nutztieren oder Menschen verlaufen. Sie kann auch anderweitig genutzt werden, beispielsweise als Bau- oder Brennmaterial.

Es stellt sich die Frage, inwieweit Biomasse, die vom Menschen nur insofern entnommen wird, als sie auf dem Feld verbrannt wird, zur entnommenen Biomasse zählen sollte. Dieser Aspekt des Verbrennens der Biomasse ist in vielen Agrarsystemen nicht unwesentlich, am bedeutendsten im Wanderfeldbau, bei dem das Holz des geschlagenen Waldes meist vor Ort abgebrannt wird, wobei die Asche als Dünger dient. Auch bei manchen Getreideanbausystemen, bei denen die Stoppeln verbrannt werden, ist diese ungenutzte Entnahme ökologisch bedeutsam.

Die entnommene Biomasse ist in Abbildung 1 nicht als eigenes Kompartiment dargestellt, entspricht jedoch der Summe des Energieflusses zwischen der Agrarfläche und dem Nutztier (D), den Arbeitstieren (E) der mit dem Produktionssystem assoziierten Familie (F) und der externen Gesellschaft (G).

Kompartiment II: Die Nutztiere

Anders als die Fläche und die Biomasseentnahme müssen Nutztiere nicht notwendigerweise in jedem Agrarsystem vorhanden sein. Nutztiere können zwei verschiedene, sich zum Teil überschneidende Funktionen haben, die jedoch in einem Energieflussmodell klar voneinander unterschieden werden müssen: Zum einen die Umwandlung pflanzlicher in tierische Nahrung (in Abbildung 1 als die Nutztiere (D) dargestellt), zum anderen die Lieferung von Arbeitsenergie (in Abbildung 1 durch die Arbeitstiere (E) dargestellt).

Arbeitstiere sind dabei funktionell eher den in industriellen Agrarsystemen eingesetzten Maschinen analog. Ihre wesentliche Funktion für den Menschen besteht aus der Energie, die sie als mechanische Arbeit zur Veränderung des Ökosystems liefern, sowie der Verwertung von Ernterückständen (z.B. Stroh) und der Übertragung von Nährstoffen von Wald- und Weide- auf Ackerland. Odend'hal (1993) berichtet, dass in den ländlichen Regionen Nordchinas sogar die Milch der Kühe vollständig an die Kälber geht, das heißt die Tiere ausschließlich als Lieferanten von Dung und Arbeitsenergie dienen. Neben den als Nahrung und den zur Leistung von Arbeitsenergie genutzten Tieren könnte man noch eine dritte Gruppe von Tieren abgrenzen, die Materialien liefern, welche anders als zu Nahrungszwecken genutzt werden, vor allem Wolle. Hier wird dieser Teil des Energieertrags jedoch gemeinsam mit der als Nahrung genutzten tierischen Biomasse betrachtet.

Kompartiment III: Der Mensch

Einem Agrarsystem sind mehr oder weniger eindeutig jene Menschen zuzuordnen, die auf der einen Seite über dieses ernährt werden oder Produkte anderer Form von ihm erhalten, auf der anderen Seite – direkt oder indirekt – Zeit und damit Energie zur Umgestaltung des Agroökosystems aufwenden. Nur bei reinen Subsistenzsystemen ist dabei eine klare Zuordnung einer bestimmten Gruppe von Menschen zu einem bestimmten Agrarsystem möglich. Beim reinen Subsistenzsystem ernährt dieses genau die Menschen, die dieses System bearbeiten. Je komplexer jedoch der Austausch von Produkten (einschließlich agrarischer Produkte) in einer Gesellschaft wird, umso schwieriger ist ein bestimmtes Agrarsystem bestimmten Menschen zuzuordnen. Ein Beispiel dafür wäre ein – kommerziell orientierter – Reisbauer in Südostasien, der zwar seinen Reis zum Teil selbst verzehren mag, daneben jedoch Reis verkauft und so ganz verschiedene Gesellschaften mit seinem Reis beliefert. Auf der anderen Seite stammt die von einer europäischen Familie verzehrte Nahrung unter Umständen aus ganz verschiedenen Teilen der Welt.

Bei all dieser Komplexität in den Relationen zwischen Agrarsystem und den von ihm ernährten Menschen lässt sich jedoch wiederum sinnvoll unterscheiden zwischen den internen, mit dem Agrarsystem direkt assoziierten Menschen (F), welche das Agrarsystem innerhalb ihrer Möglichkeiten steuern – freilich auf verschiedene Ziele hin ausgerichtet, und der externen Gesellschaft (G), die außerhalb des Agrarsystems leben, mit diesem aber dadurch verbunden sind, dass sie zum einen ihre Nahrung von diesem erhalten, zum anderen Produkte herstellen (z.B. synthetische Düngemittel), die innerhalb des Agrarsystems eingesetzt werden.

Kompartiment IV: Die Werkzeuge

Im Fall der Agrarsysteme betrachte ich als Werkzeuge alle nicht belebten Objekte, die genutzt werden, um den Arbeitsprozess zu gestalten. Als in Agrarsystemen eingesetzte Werkzeuge kann man somit alles vom Speer der Jäger, über die Spitzhacke des Wanderfeldbauers, den Traktor des europäischen Bauers, bis hin zu den in manchen Agrarsystemen eingesetzten Flugzeugen zum Ausbringen des Saatguts oder der Pestizide bezeichnen. Auch Pestizide und chemische Düngemittel würde ich zu dieser Kategorie zählen, sie entsprechen genauso wie z.B. Traktoren der obigen Definition.

Kompartiment V: Die Werkzeugfabrikation

Die Industrialisierung von Agrarsystemen lässt sich unter anderem als eine gewaltige Ausweitung des Einsatzes und damit Herstellung von Werkzeugen denken. Das Merkmal der Werkzeuge selbst von der Herstellung dieser abzugrenzen, ist wichtig für das Verständnis des Energieeinsatzes. Bei traditionellen Agrarsystemen nimmt die Herstellung von Werkzeugen vermutlich einen vernachlässigbaren Teil ein. Große Bedeutung erlangt das Kompartiment der Werkzeugproduktion erst bei industriellen Agrarsystemen, wo ein großer Teil des Energieeinsatzes indirekt über die Herstellung der Werkzeuge erfolgt.

Das Kompartiment der Werkzeuge, genauso wie der Werkzeugproduktion, ist in Abbildung 1 nicht eigens dargestellt. Es befindet sich auf dem Weg zwischen den externen Energiequellen (H.x) und dem agrarischen Produktionssystem.

Kompartiment VI: Die externen Energieträger

Die externen Energieträger stammen von außerhalb des agrarischen Produktionssystems stammen und dienen dazu, das Agroökosystem umzugestalten. Insbesondere die als in Abbildung 1 als (H.e) bezeichnete Produktion von Biomasse sollte hierbei nochmals gesondert behandelt werden. Diese externe Produktion von Biomasse spielt insbesondere bei landlosen Tierproduktionssystemen eine große Rolle, bei denen die Futtermittel von außerhalb des agrarischen Produktionssystems stammen.

3.2.3. Analysekriterien: Die Aspekte

Im folgenden soll auf die in die für die integrierte Analyse und Klassifikation der Agrarsysteme verwendeten Aspekte einzeln, mit Bezug auf das obige allgemeine Kompartimentmodell, eingegangen werden.

3.2.3.1. Energiefluss: Energieeinsatz und Energieertrag

Das Konzept des Energieflusses wurde schon vor geraumer Zeit in die Ökologie eingeführt und ist heute eines der wichtigsten Konzepte der Systemökologie.¹⁷ Die Energieflüsse zwischen den Komponenten sind in Abbildung 1 mit Zahlen bezeichnet und werden im folgenden Text anhand dieser erläutert.

Beim Energiefluss in Agroökosystemen lässt sich zunächst zwischen **Energieeinsatz** (1) und **Energieertrag** (2) differenzieren. Der Energieeinsatz ist dabei jene Energiemenge, die zum Zwecke der Pflanzen- und Tierproduktion eingesetzt wird. Der Energieertrag bezeichnet die Menge an genutzter Energie, die aus der entsprechenden Fläche gewonnen wird. Sie entspricht in dem obigen, allgemeinen Modell der genutzten Biomasseentnahme.

Beim **Energieertrag** ist dabei allgemein zunächst zu unterscheiden zwischen für den Menschen genießbaren und ungenießbaren Teilen, innerhalb ersterer wiederum zwischen elementaren Nahrungsmitteln wie Getreide und Wurzelknollen (Kartoffeln etwa), Obst und Gemüse, Ölsamen und sonstigen Bestandteilen, bei letzteren zwischen Holz, Futterpflanzen (meist Luzerne¹⁸), Ernterückständen und sonstigen Bestandteilen.¹⁹ Diese Differenzierung wird in Abbildung 1 jedoch nicht dargestellt.

Die in Abbildung 1 dargestellte Unterscheidung zwischen dem Energieertrag, der innerhalb des Produktionssystems verbleibt ((2.1.) und (2.2.)) und dem für die externe Gesellschaft bestimmten Energieertrag kann, aufgrund der dafür fehlenden Daten in den Fallstudien, meist quantitativ beantwortet werden und wird deshalb in Appendix 8 nicht angegeben, wird aber in der Beschreibung der einzelnen Agrarsystemeinheiten in Abschnitt 3.4.2 diskutiert.

Beim **Energieeinsatz** kann ebenfalls zwischen verschiedenen Komponenten differenziert werden. In der Literatur wird oftmals unterschieden zwischen **direktem** und **indirektem** Energieeinsatz. Unter ersterem wird dabei zum Beispiel der Einsatz von fossiler Energie zum Betreiben der Landmaschinen, unter letzterem die Energie zur Fabrikation der Landmaschinen und der übrigen industriellen Werkzeuge (z.B. Düngemittel) verstanden.

Meines Erachtens gibt es zwei weitere sinnvolle Differenzierungskriterien beim Energieeinsatz. Zum einen kann man unterscheiden zwischen **internem und externem Energieeinsatz**.

¹⁷ Für eine ausführliche Darstellung der Systemökologie und insbesondere Kompartimentmodellen, siehe Odum 1983.

¹⁸ Die englische, teilweise auch in deutschen Veröffentlichungen hierfür gebrauchte Bezeichnung ist Alfalfa.

¹⁹ Im zusammenfassenden Vergleich (Abschnitt 3.4.) differenziere ich nicht zwischen den verschiedenen Bestandteilen, sie sind jedoch, soweit Daten dazu vorhanden waren, in Appendix 8 aufgeschlüsselt.

Unter **internem Energieeinsatz** ist dabei die eingesetzte Energie zu verstehen, welche innerhalb des Produktionssystems gewonnen wurde. Dazu gehört die vom zum Produktionssystem zugehörigen Feld stammende Nahrungsenergie, die zum einen vom Feldarbeiter (1.1), zum anderen – soweit vorhanden – von seinen Arbeitstieren (1.2) metabolisiert wird, um wiederum dieses Feld zu bearbeiten. Bei traditionellen Agrarsystemen erschöpft sich der Energieeinsatz bei diesen beiden Formen, typischerweise ist also der Energiefluss ein Kreislaufsystem, bei dem die von Mensch und Tier durch Feldarbeit eingesetzte Energie durch die auf diesem Feld entstehende Nahrungsenergie gedeckt wird. Die als menschliche Arbeit eingesetzte Energie wäre konsequenterweise aufzuteilen zwischen externer, zugekaufter Arbeit interner, von der zum Produktionssystem zugehörigen Familie geleisteter Arbeit. In der hier vorliegenden Arbeit war es jedoch nicht möglich, dies zu differenzieren, da in den verwendeten Fallstudien nur selten der Anteil an zugekaufter und eigener Arbeit angegeben wird. Die gesamte als menschliche Arbeit direkt im agrarischen Produktionssystem eingesetzte Energie wird somit vorläufig als interner Energieeinsatz gewertet.

Der **externe Energieeinsatz** (1.3) wird durch den universellen Tausch im kapitalistisch-industriellen Gesellschaftssystem in größerem Ausmaß ermöglicht. Die Energie wird dabei in Form von Waren aus anderen Teilen des gesamtgesellschaftlichen Systems in verschiedener Form zugekauft, was durch den Verkauf der erzeugten Energie, das heißt der landwirtschaftlichen Waren, ermöglicht wird. Beim externen Energieeinsatz unterscheidet sich zunächst zwischen verschiedenen Komponenten des Energieeinsatzes: Herstellung synthetischer Düngemittel²⁰, Herstellung von Pestiziden, Herstellung von Maschinen (als Teil der industriellen Werkzeuge) und Betrieb von Maschinen. In Abbildung 1 sind diese Komponenten nicht differenziert dargestellt, sie werden jedoch, soweit möglich, in Appendix 8 aufgeschlüsselt. Eine Sonderrolle beim externen Energieeinsatz spielen die importierten und somit als externer Energieeinsatz zu bewertenden Futtermittel. Die Fläche davon ist in Abbildung 1 als (H.e) bezeichnet, der entsprechende Energiefluss als (1.3.1). Dabei muss auch beachtet werden, dass zu den Futtermitteln selbst die Energie, welche zur Herstellung dieser Futtermittel aufgewendet wurde (1.3.1.1), ebenfalls als Energieeinsatz zu zählen hat.

Eine zweite sinnvolle Differenzierung besteht in der **Form der Energie**, die eingesetzt wird. Bei Agrarsystemen unterscheiden könnte man dabei zwischen der **Metabolisierung von Biomasse** und der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Biomasse ist vor allem für traditionelle Agrarsysteme relevant, bei denen sie die ausschließliche Quelle der Energie darstellt. **Fossile Brennstoffe** als Energiequelle dominieren hingegen bei industriellen Agrarsystemen. Letztlich entspricht diese Form der Energie einer in weiterer Vergangenheit akkumulierter Biomasse und beruht somit ebenso auf Sonnenenergie wie die Biomasse, verbraucht jedoch im Gegensatz zur Biomasse keine gegenwärtige Fläche. Das Problem dieser Form der Energie besteht allerdings im wesentlichen in der Erzeugung von CO₂, welches für den Treibhauseffekt mitverantwortlich gemacht wird, sowie der Erschöpfbarkeit dieser Ressource.

Daneben spielen in industriellen Gesellschaften und damit Agrarsystemen – das eine lässt sich beim indirekten Energieeinsatz nicht vom anderen trennen – Nuklear- bzw. Wasserenergie mit 6,9% bzw. 2,2% Anteil an der weltweiten Energieerzeugung (IEA 2004) eine gewisse Rolle. Photovoltaik, Wind und Geothermik liegen derzeit noch weltweit bei weit unter einem Prozent Anteil an der Energieerzeugung und sind daher vernachlässigbar.

In Abbildung 1 sind die unterschiedlichen externen Energieträger als (H.a) bis (H.e) bezeichnet, wobei (H.e) sowohl als Futtermittel, als auch in der Form von Biotreibstoffen, eingesetzt werden kann.

3.2.3.2. Kolonisierung: HANPP

Was allgemein innerhalb der Sozialen Ökologie unter dem Konzept der „Kolonisierung von Natur“ zu verstehen ist, wurde bereits in Abschnitt 3.2.1. besprochen. Der hier verwendete Indikator der HANPP bzw. HANPP% lässt sich in dem in Abschnitt 3.2.2. beschriebenen, allgemeinen Kompartimentmodell vor allem innerhalb des Merkmals der Fläche und der Biomasseentnahme verorten. Die HANPP

²⁰ In empirischen Analysen werden meist die wichtigsten Komponenten Stickstoff, Phosphor und Kalium (NPK) berücksichtigt.

bezieht sich dabei speziell auf den Eingriff in den Energiefluss: Mit zunehmender HANPP steht ein immer geringerer Anteil der potentiell auf einer bestimmten Fläche akkumulierenden Energie für die dort – abgesehen vom Menschen – lebenden Organismen zur Verfügung.

Wie beim Energieeinsatz, so ist meines Erachtens auch bei der Kolonisierung eine Unterscheidung zwischen *interner und externer Kolonisierung* möglich.

Die *interne Kolonisierung* stellt dabei den kolonisierenden Eingriff in das zum Produktionssystem gehörige Land dar.

Die *externe Kolonisierung* hängt vor allem mit der extern erzeugten Energie zusammen, die innerhalb des Agrarsystems, direkt in Form von Futtermitteln, indirekt zur Herstellung und zum Betrieb industrieller Werkzeuge, eingesetzt wird, teilweise auch mit den eingesetzten Energieträgern. Deutlich wird die Bedeutung der externen Kolonisierung, wenn man die Herstellung von Futtermitteln und den Einsatz (extern erzeugter) Wasser- oder Biomasseenergie betrachtet. Durch die Überschwemmung ganzer Landstriche stellt die Wasserkraft einen bedeutsamen kolonisierenden Eingriff dar und die Verwendung von Biomasse, in Form von Futtermittel für Tiere und Treibstoff für die verwendeten Maschinen, stellt ebenfalls einen externen Landverbrauch und damit kolonisierenden Eingriff dar. Würde man beispielsweise zwei ansonsten identische Agrarsysteme vergleichen, von denen eines seinen Ertrag durch den Einsatz synthetischer Düngemittel steigert, die zuvor durch über Biomasse erzeugte Energie produziert wurden, so kann man den Einsatz von Düngemitteln als eine Art „Externalisierung von Flächenverbrauch“ betrachten.²¹

Im Gegensatz zum externen Energieeinsatz wurde, aufgrund methodischer Schwierigkeiten, diese hier als externe Kolonisierung bezeichnete Größe nicht berechnet.

Die einzelnen Faktoren, aus denen sich der in dieser Arbeit verwendete, quantitative Indikator der HANPP_% zusammensetzt, soll im folgenden kurz beschrieben werden (siehe auch Abbildung 1).

Die **ANPP₀** beschreibt die potentielle, jährliche, oberirdische Produktivität der autotrophen Organismen, das heißt jene Produktivität, die ohne menschliche Eingriffe an dem jeweiligen Standort angenommen werden kann. Durch menschliche Eingriffe in das Ökosystem verändert sich die tatsächliche, aktuelle ANPP. Diese aktuelle Produktivität einer Fläche wird als **ANPP_{akt}** bezeichnet. Die **ANPP_{akt}** liegt meist niedriger als die ANPP₀, im Extremfall, etwa bei asphaltierten Flächen, bei 0, kann aber auch über der potentiellen ANPP (ANPP₀) der entsprechenden Fläche liegen, so etwa, wenn trockenes Land bewässert wird. Von der aktuell vorhandenen ANPP (ANPP_{akt}) wird, im speziellen bei Agrarsystemen, jährlich ein Teil entnommen. Die Energie der Biomasse, die jährlich auf der entsprechenden Fläche entnommen wird (und maximal den Wert der ANPP_{akt} erreichen kann) wird als **ANPP_e** (extracted ANPP) bezeichnet. Die ANPP_e lässt sich aufteilen in genutzte („used“) und ungenutzte Entnahme („unused extraction“). Die ungenutzte Entnahme spielt vor allem durch das Verbrennen von Bestandteilen der Vegetation, im Wanderfeldbau und beim Getreideanbau (Verbrennen der Stoppeln) eine wichtige Rolle. Zieht man von der aktuell vorhandenen NPP (ANPP_{akt}) die entnommene NPP (ANPP_e) ab, so ergibt sich daraus die nach der eventuellen Entnahme von Biomasse (meiste der Ernte) im Ökosystem verbleibende NPP (ANPP_t):

$$ANPP_t = ANPP_{akt} - ANPP_e \quad (1)$$

²¹ Derzeit wird über ein Freihandelsabkommen zwischen der EU und der südamerikanischen Freihandelszone MERCOSUR verhandelt. Nach derzeitigem Stand bietet die EU eine zusätzliche zollfreie Einfuhrquote von jährlich 1 Mio. Tonnen Bioethanol (Fritz 2004).

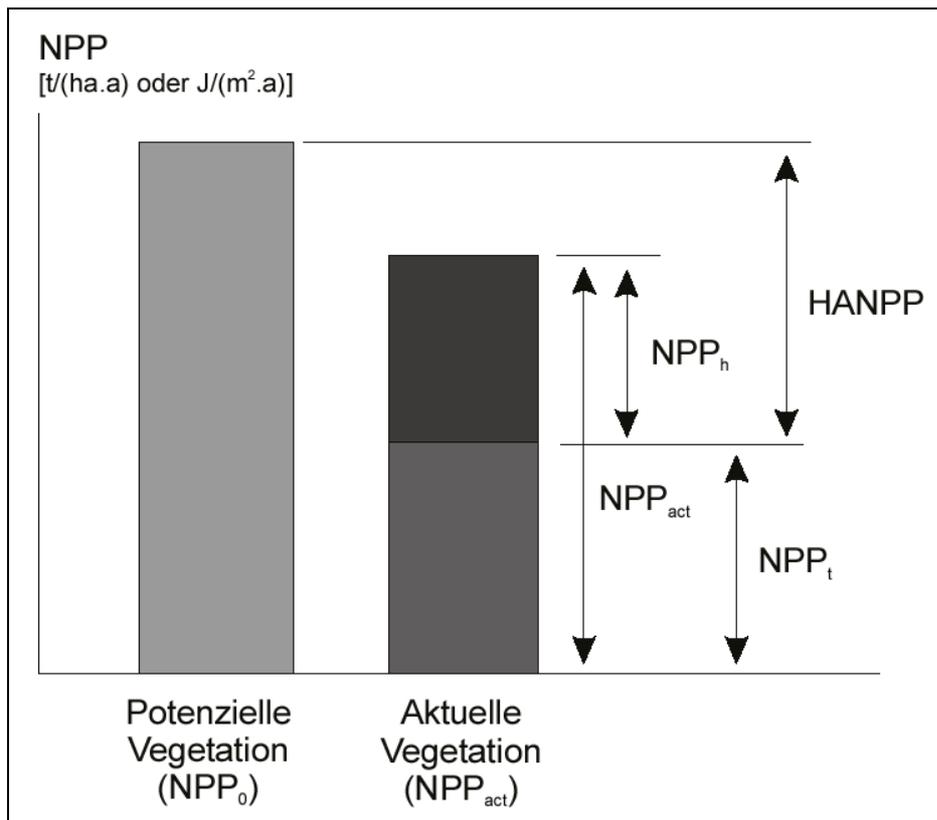


Abbildung 2: Überblick über die Zusammenhänge zwischen den NPP-Parametern zur Ermittlung der HANPP, als Maß für den kolonisierenden Eingriff in Ökosysteme. Die NPP- werden in diesem Fall synonym zu den ANPP-Werten verwendet, der im Text als $ANPP_e$ (e von extracted) wird hier als $ANPP_h$ (h von harvested) bezeichnet.
Aus Haberl et al. 2004

Die $ANPP_t$ bezeichnet die organische Energie, die dem natürlichen Ökosystem der betreffenden Fläche zur Verfügung steht und dort von heterotrophen Organismen zersetzt werden kann. Dieser Wert stellt ökologisch einen wichtigen Indikator dar, da mit abnehmender im System verbleibender Biomasse (also abnehmender $ANPP_t$) auch eine abnehmende Energie den im Ökosystem lebenden, heterotrophen Organismen zur Verfügung steht. Das **Ausmaß des gesellschaftlichen Eingriffs** in das Ökosystem einer bestimmten Fläche wird durch das Maß der gesellschaftlichen Aneignung der Nettoprimärproduktion (HANPP) angegeben. Dieses ergibt sich durch die Differenz zwischen potentieller NPP und verbleibender NPP:

$$HANPP = ANPP_0 - ANPP_t \quad (2)$$

Das heißt: Je größer die HANPP, desto mehr Nettoprimärproduktion eignet sich, in absoluten Werten, die Gesellschaft an, teilweise durch Veränderung der Vegetation, teilweise durch Entnahme von Biomasse. Ein besserer Indikator für die Höhe der Belastung von Ökosystemen durch den Menschen ist allerdings die **relative Aneignung der NPP (HANPP_%)**. Diese gibt den Anteil der HANPP an der NPP_0 , wird also ermittelt durch die Formel

$$HANPP_{\%} = (HANPP / ANPP_0) \times 100\% \quad (3)$$

Durch Kombination der Gleichungen (1), (2) und (3) lässt sich also die $HANPP_{\%}$ aus aktueller ANPP ($ANPP_{akt}$), entnommener ANPP ($ANPP_e$) und potentieller ANPP berechnen durch:

$$HANPP_{\%} = ((ANPP_0 - (ANPP_{akt} - ANPP_e)) / ANPP_0) \times 100\% \quad (4)$$

Die spezifische Ermittlung der $HANPP_{\%}$ aus den in den Fallbeispielen vorhandenen Daten wird in Abschnitt 3.3.2. näher beschrieben.

3.2.3.3. Zeiteinsatz

Wie schon bei der Kolonisierung und dem Energiefluss ist es auch hier sinnvoll, zwischen dem **internen und externen Einsatz**, in diesem Fall von Zeit, zu unterscheiden.

Der **interne Zeiteinsatz** bezeichnet dabei all die Zeit, die innerhalb des Produktionssystems, das heißt von den zu diesen gehörigen Personen, aufgewandt wird.

Der **externe Zeiteinsatz** tritt, entsprechend dem externen Energieeinsatz, erst bei industriellen Agrarsystemen auf. In meiner Sicht wäre, entsprechend dem Energieeinsatz, die für die Herstellung der industriellen Werkzeuge (Maschinen, Düngemittel, Pestizide) aufgewandte Zeit als externer Zeiteinsatz zu werten. Entsprechend einer gewissen Zeit, die bei einem traditionellen asiatischen Reisanbausystem beispielsweise für den Unterhalt eines Wasserbüffels eingesetzt wird, so wird bei modernen Systemen eine gewisse Zeit benötigt, um die Maschinen und ihre Antriebsmittel herzustellen. Nur dass nun diese Zeit außerhalb des Produktionssystems aufgewandt wird und durch den Tausch, das heißt Kauf, indirekt innerhalb des Systems eingesetzt werden kann. Gleichwohl wurde in dieser Arbeit, aufgrund der fehlenden Daten, der externe Zeiteinsatz nicht quantifiziert.

Zusätzlich zum Zeiteinsatz pro Fläche wurde ein Wert berechnet, der veranschaulichen soll, wie hoch der Anteil der gesamtgesellschaftlich zu Verfügung stehenden Zeit ist, der in die Bearbeitung des Agroökosystems fließt. Diese Größe wurde als **Zeiteinsatz pro Person** bezeichnet. Sie gibt an, wie viel Zeit pro Tag und Person zum Nahrungserwerb aufgewendet werden müsste, würde jede Person 3,5 GJ/Jahr vom entsprechenden Agrarsystem erhalten. Rechnerisch ergibt sich diese Größe durch Division des sich aus den 3,5 GJ/Jahr ergebendem täglichen Energiebedarf durch die Produktivität:

$$\text{Zeiteinsatz pro Person} = \text{Täglicher Energiebedarf} / \text{Produktivität}$$

Wohlgemerkt ist dies eine hypothetische Größe, die vor allem eine ungefähre Vorstellung und einen Vergleich über das Ausmaß der gesellschaftlich in die Produktion von Nahrungsmitteln eingesetzte Zeit ermöglichen soll. Der tatsächliche Zeiteinsatz pro Person liegt, bedingt durch eine mehr oder weniger Fleisch enthaltene Nahrung und den Ausschluss großer Bevölkerungsgruppen (vor allem sehr jungen und sehr alten Mitgliedern der Gesellschaft) aus dem aktiven Nahrungserwerb, höher.

3.2.3.4. Waren- und Geldfluss

Die in Geldgrößen gemessenen ökonomischen Einheiten sind in dieser vergleichenden Studie nicht mit einbezogen. Im wesentlichen gibt es dafür zwei Gründe:

a) Methodische Schwierigkeiten: In den für die Klassifikation verwendeten Fallstudien sind ökonomische Einheiten (also etwa wirtschaftliche Ausgaben und Einnahmen des Produktionssystems) nur selten angegeben.

b) Eingeschränkte Gültigkeit des Indikators: Waren- und Geldflüsse finden nur in modernen Gesellschaften statt, in denen sich ein System des geldvermittelten, profitorientierten, universalen Warentauschs etabliert hat. Eine Klassifikation wie die hier erarbeitete, die sowohl historisch als auch geographisch möglichst weitreichend anwendbar sein soll, kann nicht auf einem Kriterium beruhen, welches nur auf ein Teil der Agrarsysteme überhaupt anwendbar ist. Für subsistenzorientierte Systeme kann zwar Energieeinsatz, Energieertrag, Zeiteinsatz und HANPP% ermittelt werden, Geldgrößen wie Umsatz oder Gewinn existieren jedoch nicht. Ein sich an Geldgrößen orientierender Indikator blendet zudem umso mehr aus, je höher der Subsistenzanteil eines Agrarsystems ist. Werden zwei Agrarsysteme verglichen, kann es vorkommen, dass der (in Geldgrößen gemessene) Gewinn von Produktionssystem A sehr viel höher liegt jener von Produktionssystem B, Produktionssystem A aber eine sehr viel bessere Subsistenzversorgung besitzt, die jedoch außerhalb des ökonomischen Blickwinkels liegt.

Im Gegensatz dazu kann allerdings universal für alle Agrarsysteme der *Anteil* der erzeugten Produkte angegeben werden, welche vermarktet werden, bzw. jener Anteil, der für den Eigenbedarf (die Subsistenz) innerhalb des Produktionssystems bestimmt ist. Diese Größe halte ich für so wesentlich für die sozial-ökologischen Charakteristika der Agrarsysteme, dass ich sie, wie in Abschnitt 3.4.1. ausführlicher erläutere, als grundlegendes Einteilungskriterium der Agrarsysteme verwende.

3.2.3.5. Vergleich und Darstellung der ermittelten Größen

Folgende Größen wurden, soweit auf der Grundlage der angegebenen Daten möglich, für jedes der Fallbeispiele ermittelt:

Dimension Energieeinsatz:

- Interner Energieeinsatz pro Fläche
- Externer Energieeinsatz pro Fläche

Dimension Energieertrag:

- Energieertrag pro Fläche
- Energieertrag pro Zeiteinsatz (Arbeitsproduktivität)
- Energieertrag pro Energieeinsatz (Energieeffizienz)

Dimension Kolonisierung:

- HANPP% (als Indikator für die interne Kolonisierung pro Fläche)

Dimension Zeit:

- Interner Zeiteinsatz pro Fläche
- Interner Zeiteinsatz pro Person

Dimension Fläche:

- Interne Fläche des Produktionssystems

Diese Größen sind in Appendix 2 für jedes der Fallbeispiele angegeben, weitere Differenzierungen – z.B. die Aufteilung des Energieertrags in einzelne Bestandteile – sind aus Appendix 8 ersichtlich.

3.3. Analyse und Gruppierung der Fallstudien

Nachdem somit die grundsätzliche Vorgangsweise beim klassifizieren diskutiert wurde und die eingenommene Perspektive spezifiziert wurde, soll nun näher beschrieben werden, wie die Analyse Kriterien aus den als Datengrundlage dienenden, verschiedenen Fallstudien gewonnen wurden.

Zunächst wird dazu auf die **Datengrundlagen** eingegangen, welche als Grundlage der Klassifikation verwendet wurden. Da die Elemente der Klassifikation verschiedene Fallbeispiele sind, die mit teilweise unterschiedlicher Methodik erstellt wurden, ergeben sich weitere Schwierigkeiten bei der Herstellung ihrer Vergleichbarkeit. Dieser Prozess wird unter den Abschnitten 3.3.2., 3.3.3. und 3.3.4. für die drei Hauptaspekte beschrieben.

3.3.1. Datengrundlagen

Zur quantitativen Illustration und als Grundlage des in Abschnitt 3.1.2. beschriebenen Klassifikationsprozesses dienen publizierte Fallstudien, in denen Energieflüsse von Agrarsystemen untersucht wurden, oder aus denen solche hervorgehen. Deren Referenzen sind aus Appendix 1 ersichtlich. Die Skalenebene der Fallstudie sollte dabei auf einem möglichst niedrigen Level, das heißt auf Haushalts- bis maximal Dorfebene²², liegen. Daten, die auf der Ebene eines Nationalstaates generiert wurden, sind nicht mit aufgenommen worden, da hier davon ausgegangen werden muss, dass diese Daten eine Vielzahl verschiedener Agrarsysteme, von der Viehweide bis zum Ackerbaubetrieb, umfassen.

²² Soweit angenommen werden konnte, dass die verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionssysteme des Dorfes noch weitgehend homogen sind, was mit der zunehmenden Segregation der industriellen Landwirtschaft immer weniger Gültigkeit besitzt.

Verschiedene Schwierigkeiten traten bei der Auswahl der Fallstudien auf. Die erste bestand in der für einen umfassenden globalen Vergleich der Agrarsysteme zu niedriger Anzahl an Fallstudien. Die Fallbeispiele können, müssen aber keineswegs typisch für die Agrarsysteme dieser bestimmten Region sein. Hinzu kommt, dass die Fallstudien geographisch sehr ungleich verteilt sind. Sehr viele Studien waren beispielsweise für Südostasien zu finden, sehr wenige dagegen für Afrika und Südamerika. Weiters wurde in Studien über Agrarsysteme industrialisierter Länder meist nur einzelne Feldfrüchte (z.B. Mais) untersucht, was nicht im eigentlichen Sinn das gesamte System, sondern nur einen zeitlichen Ausschnitt untersucht: Je nach Fruchtfolge und eingeschlossener Brache kann das Gesamtbild für Energiefluss, Kolonisierungsgrad und Zeiteinsatz ganz unterschiedlich ausfallen. Eine einzelne Feldfrucht zu untersuchen, bedeutet, nur einen kleinen zeitlichen Ausschnitt des Gesamtsystems ins Blickfeld zu nehmen. Ebenso vor allem für industrialisierte Regionen gilt, dass vor allem Studien mit sehr hoher geographischer Skalenebene zu finden sind, zum Beispiel die Untersuchung des Energieflusses eines ganzen Nationalstaats. So sinnvoll diese Untersuchungen zum Beispiel innerhalb sozioökonomischer Fragestellungen sein mag, so unbrauchbar sind diese Studien für die Erstellung einer Klassifikation von agrarischen Produktionssystemen, da ein Nationalstaat – wie schon weiter oben angesprochen – eine Vielzahl verschiedener Agrarsysteme beinhaltet und diese innerhalb von auf überregionaler Ebene generierten Daten nicht differenziert werden können.

Die Herausforderung bestand, nachdem die Fallstudien recherchiert und ausgewählt waren, in der Herstellung ihrer Vergleichbarkeit. Betrachtet man die Energieflüsse, so bestehen Unterschiede in erster Linie in verschiedenen Umrechnungsfaktoren und den verschiedenen Systemkompartimenten und Systemgrenzen, die verwendet wurden. Für jede der Fallstudien wurde, soweit wie möglich, die in Abschnitt 3.2.3. diskutierten Analyse Kriterien berechnet. Das allgemeine Vorgehen für die jeweiligen Aspekte wird im folgenden Methodenteil beschreiben, die ggf. spezifisch unterschiedliche Vorgangsweise für die einzelnen Studien wird in Appendix 7 näher erläutert.

3.3.2. Energiefluss: Energieeinsatz und Energieertrag

Für den direkten Einsatz von Treibstoff zum Betreiben der Maschinen wurden von den verschiedenen Autoren weitgehend identische Umrechnungsfaktoren verwendet. Die angegebenen Energiewerte für den Einsatz für Treibstoff wurden deshalb nicht korrigiert und können als vergleichbar angenommen werden.

Wenn die Energiedaten (d.h. die Brennwerte) der Ernten angegeben waren, wurden diese direkt übernommen. In Fällen, in denen nur die Erntemengen angegeben waren, wurde die entsprechende Energie durch die in Appendix 3 angegebenen Brennwerte berechnet. Die auf die möglicherweise leicht unterschiedlichen Umrechnungsfaktoren zurückzuführenden Differenzen dürften im globalen Maßstab kaum ins Gewicht fallen.

Die Abweichungen von dieser allgemeinen Vorgangsweise und evtl. zusätzliche Annahmen bei einzelnen Fallstudien werden ggf. in Appendix 7 beschrieben.

Bei diesen verschiedenen Unsicherheiten stellt sich durchaus die Frage, wie weit und in welchem Umfang der Vergleich der einzelnen Studien gültig ist. Geringfügige Unterschiede zwischen verschiedenen Studien sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da diese auf die besprochenen Unterschiede in der Methodik zurückzuführen sein könnten. Jedoch kann durch die Auswahl weitgehend vergleichbarer und den Ausschluss problematischer Studien (z.B. Späth 1987), sowie des weiteren durch den Ausgleich einiger Unterschiede durch die oben beschriebene Methodik davon ausgegangen werden, dass die verwendeten Studien auf einem globalen Maßstab die realen Unterschiede gut darstellen und sich allgemeine Aussagen für einen globalen Vergleich treffen lassen.

3.3.3. Kolonisierung: HANPP%

Für den Kolonisierungsgrad wurden, soweit wie aufgrund der gegebenen Daten für die einzelnen Studien möglich, die dafür relevanten Größen $ANPP_0$, $ANPP_{akt}$, $ANPP_e$ und $ANPP_t$ ermittelt. Aus

diesen Größen ergibt sich in der in Abschnitt 3.2.3.2. beschriebenen Weise der für den Kolonisierungsgrad relevante Indikator der HANPP%. Die HANPP% war nicht für alle Fallstudien zuverlässig zu ermitteln. Die größte Unsicherheit bestand in der Abschätzung der ANPP₀, daneben sind die Angaben über ANPP_{akt} und ANPP_e mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da nicht immer klar aus den Studien hervorgeht, ob und inwieweit Ernterückstände (z.B. Stroh) vom Feld entfernt oder verbrannt werden.

Die HANPP% wurde deshalb nur für Fälle ermittelt, in denen die relevanten Faktoren ermittelt werden konnten. Dennoch liegt auch für diese Studien der Fehler der HANPP% relativ hoch, so dass insbesondere diese Größe mit Vorbehalt betrachtet werden sollten.

Im Folgenden wird erläutert, wie die zur Ermittlung der HANPP% notwendigen Größen aus den Studien gewonnen wurden.

ANPP₀

Die ANPP₀, genauso wie alle übrigen Produktivitätswerte, wird im allgemeinen entweder durch den Kohlenstoff angegeben, welcher innerhalb eines Jahres von der Vegetation auf einer bestimmten Fläche akkumuliert wird, oder in dem diesem Kohlenstoff entsprechenden Energiewert. Für alle in dieser Arbeit verwendeten Produktivitätswerte wurde der Energiewert benutzt, dafür gegebenenfalls die Kohlenstoffwerte mit den von Lieth 1975 angegebenen Umrechnungsfaktoren für verschiedene Vegetationstypen in Energiewerte umgerechnet.

Für die Schätzung der ANPP₀ wurden zum einen verschiedene empirische Studien, in denen die ANPP₀ an bestimmten Standorten abgeschätzt wurde, verwendet. Dabei wurden Fallstudien ausgewählt, an deren Standorten die klimatischen Bedingungen möglichst ähnlich jenen sind, die an den betreffenden Standorten der Fallstudien der Agrarsysteme zu finden sind.

Zusätzlich zu den empirischen Studien wurde, vor allem wenn keine adäquate ANPP₀-Fallstudie vorhanden war, das Modell von Lieth (Lieth 1975, zitiert in Haberl 1995) verwendet, mit dem anhand der Schlüsselparameter von entweder jährlicher Jahresdurchschnittstemperatur oder jährlichem Niederschlag die NPP am betreffenden Ort abgeschätzt wird. Aus der mittleren Jahresdurchschnittstemperatur ergibt sich dabei die NPP durch die Gleichung

$$NPP = (3000 / (1 + e^{(1,315 - 0,119x)})) \quad [g / m^2 * a] \text{ (Trockensubstanz)}$$

mit x als Jahresmitteltemperatur in °C.

Durch eine zweite Gleichung kann die NPP aus dem jährlichen Niederschlag ermittelt werden:

$$NPP = 3000 * (1 - e^{-0,000664x}) \quad [g / m^2 * a] \text{ (Trockensubstanz)}$$

mit x als Jahresniederschlag in mm.

Bei der als von Lieth als „Miami-Modell“ bezeichneten Methode wird die NPP nach beiden Gleichungen für den betreffenden Standort berechnet und der kleinere NPP-Wert benutzt. Diese Vorgangsweise folgt der Logik des Minimumsprinzip von Justus von Liebig, nach dem der im Minimum stehende Faktor die Produktivität begrenzt (z.B. ist die Produktivität Wüsten trotz der hohen Jahresdurchschnittstemperatur nahe 0, weil der geringe Jahresniederschlag die Produktivität begrenzt).

Durch das Miami-Modell ergibt sich die gesamte NPP₀, einschließlich der unterirdischen Biomasse. Da hier jedoch ausschließlich mit der oberirdischen Produktivität gerechnet wird, mussten die so ermittelten NPP₀-Werte in ANPP₀-Werte umgerechnet werden. Dazu wurde, Haberl 1995 folgend, angenommen, dass Lieth die NPP₀ mit einem Aufschlag von 20% von der ANPP₀ abgeleitet hat. Die ANPP₀ ergibt sich somit aus der mit Hilfe des Miami-Modells ermittelten NPP₀ durch

$$ANPP_0 = 0,83 \times NPP_0$$

Beim Vergleich der nach dem Modell von Lieth ermittelten Werte mit eventuell vorhandenen NPP-Fallstudien des gleichen Standorts zeigte sich dennoch, dass die Werte nach Lieth erheblich höher ausfielen. Für diesen Unterschied sind mindestens zwei Gründe denkbar: Auf der Seite des Lieth-Modells könnte der Fehler seine Ursache in einem über das Jahr stark ungleich verteiltem Niederschlag haben, der nicht in die Berechnung mit eingeht, vermutlich aber stark die NPP_0 beeinflusst. Auf der Seite der NPP-Fallstudien sind Fehler durch den nur näherungsweise entsprechenden Standort denkbar.

Appendix 6 gibt für jede der Agrar-Fallbeispiele, für welche die $HANPP\%$ ermittelt wurde, die $ANPP_0$ -Studien an, auf denen die Annahme für die letztlich getroffene $ANPP_0$ -Schätzung basiert. Die Schätzung, welche für die Berechnung der $HANPP\%$ verwendet wurde, ist oben in fetter Schrift angegeben, darunter die jeweilig berücksichtigte Fallstudie bzw. nach dem Miami-Modell ermittelten Werte.

ANPP_{akt}

Die $ANPP_{akt}$ einer agrarisch genutzten Fläche kann über die Erntedaten der angebauten Kulturpflanzen ermittelt werden. Zur Berechnung der $ANPP_{akt}$ werden dabei so genannte Ernteindizes verwendet. Ernteindizes bezeichnen dabei den genutzten Anteil der Pflanze (meistens die Getreidekörner der Pflanze), relativ zum oberirdischen Teil der gesamten Pflanze, dies bezogen auf die Trockenmasse. Aus der Division von den in den Fallstudien angegebenen Erntedaten durch den angenommenen Ernteindex ergibt sich die Trockenmasse der gesamten Pflanze.

Bei dieser Berechnung wurden verschiedene Faktoren vernachlässigt. Zunächst der Unterschied zwischen dem Ernteindex, bezogen auf die Trockenmassen und dem Ernteindex, bezogen auf den Brennwert. Da der Brennwert der Trockenmassen der verschiedenen Teile der Pflanze, hauptsächlich Korn und Stroh, nahezu identisch ist, ist der daraus entstehende Fehler vernachlässigbar. Für Weizen ergibt sich z.B. bei den angenommenen Brennwerten für Stroh- und Getreideteil (s. Appendix 3) ein diesbezüglicher Fehler von 2,8%. Des Weiteren werden bei dieser Art der Ermittlung des $ANPP_{akt}$ jene Pflanzenteile vernachlässigt, die durch Tierfraß verloren gehen oder durch Destruenten abgebaut werden. Diese Anteile können zum Beispiel je nach Einsatz von Insektiziden in verschiedenen Agrarsystemen differieren. Die Berechnung dieses Unterschieds ist jedoch, zumindest im Rahmen dieser Arbeit, nicht möglich. Eine weitere mögliche Fehlerquelle ergibt sich durch die Vernachlässigung der Beikräuter, die zum einen zwischen den Kulturpflanzen wachsen, zum anderen unter Umständen zwischen den Anbauperioden entstehen und (beispielsweise durch den Einsatz von Herbiziden) ebenfalls je nach Anbaumethode differieren können.

ANPP_e

Vor allem auf die Frage des Abbrennens beim Wanderfeldbau und teilweise Ackerbau²³ bezieht sich die Unsicherheit im Wert der $ANPP_e$ für die verschiedenen Fallstudien. Meist geht nicht aus den Publikationen hervor, was mit den im Feld verbleibenden Pflanzenteilen geschieht. Insbesondere bei den südostasiatischen Reisanbausystemen lässt sich die $ANPP_e$ somit nur schwer abschätzen, da zur Unsicherheit in der Frage des Abbrennens jene über die Benutzung des Strohs hinzukommt: Der Reis wird, je nach Agrarsystem, in verschiedenen Höhen abgeschnitten, das übrige Stroh verbleibt entweder im Feld, wird für andere Zwecke genutzt (z.B. als Baumaterial), oder auf dem Feld verbrannt.

ANPP_t und HANPP%

²³ Hierunter fällt vor allem das auch in industrialisierten Regionen oftmals betriebene Abbrennen der Getreidestoppeln.

ANPP_t und HANPP_% ergeben sich rechnerisch aus ANPP₀, ANPP_{akt} und ANPP_e. Für eine nähere Erläuterung, siehe Abschnitt 3.2.3.2.

3.3.4. Zeitverwendung: Zeiteinsatz

Die Relevanz des Zeiteinsatzes wurde in Abschnitt 3.2.3.3. diskutiert. Nur in wenigen Fällen sind in den Fallstudien direkte Zeitangaben vorhanden. Zumeist beruht der hier verglichene Zeiteinsatz auf im Rahmen von Energieflussanalysen angegebenen Werten für die eingesetzte Arbeitsenergie. Diese wurden mit Hilfe der in den entsprechenden Studien angegebenen Umrechnungsfaktoren in die Größe der Zeit konvertiert.

Dabei ist anzumerken, dass diese Angaben unter Umständen mit einer relativ großen Unsicherheit behaftet sein können, da die Fallstudien zumeist nicht darauf ausgerichtet waren, den Zeitaspekt zu untersuchen. Teilweise beruhen die Zeitangaben auf Befragungen der Bauern oder auf groben Schätzungen. Gleichwohl ist, trotz dieser Unsicherheit, ein Vergleich auf globaler Ebene, bei der die Unterschiede mehrere Größenordnungen betragen, durchaus aussagekräftig.

3.4. Klassifikation und Vergleich der Agrarsysteme

Der folgende Abschnitt stellt den eigentlichen Kern und das Ergebnis dieser Arbeit dar. Im folgenden werden zunächst die Einteilungskriterien festgelegt, anhand derer die Klassifikation strukturiert und in Bezug zu den entsprechenden Analysekriseien gesetzt wurde. Anschließend werden die abgegrenzten Hauptklassen vorgestellt, mit einer Diskussion der verschiedenen Aspekte des Systems.

3.4.1. Unterteilungskriterien

Unkontrollierte Extraktions- und kontrollierte Produktionssysteme

Zunächst gilt es, Agrarsysteme grundsätzlich gegenüber anderen Formen des Nahrungserwerbs abzugrenzen. Sämtliche Formen des Nahrungserwerbs betrachtend kann dabei grundsätzlich zwischen einerseits den Extraktionssystemen Jagen und Sammeln und Fischerei, andererseits den im folgenden weiter differenzierten Agrarsystemen im eigentlichen Sinne unterschieden werden. Während bei allen Formen des Jagen und Sammelns, genauso wie bei der Küsten- und Hochseefischerei lediglich ein Teil der natürlichen Umwelt genutzt wird, diese aber nicht gezielt verändert wird, verstehe ich Agrarsysteme als jene Formen des Nahrungserwerbs, bei denen, in mehr oder weniger starkem Ausmaß, in das Ökosystem eingegriffen, dieses also kontrolliert wird, um so einen höheren oder spezifischen Biomasseertrag zu erhalten.

Historisch fand die Differenzierung zwischen Extraktions- und Produktionssystemen (bzw. Agrarsystemen im eigentlichen Sinne) im Laufe der neolithischen Revolution statt. Erst ab diesem Zeitpunkt entstanden die Agrarsysteme im eigentlichen Sinne.

Prinzipiell wären bei einer genaueren Betrachtung der Extraktionssysteme die ersten beiden der im folgenden für die Agrarsysteme angeführten Unterteilungskriterien (Produktionsmodus und Nahrungspyramidenebene) auch auf Teile der Extraktionssysteme anwendbar. So spielt etwa vor allem die Fischerei auch als marktorientiertes System eine wichtige Rolle und hinsichtlich der Nahrungspyramidenebene wären vornehmlich jagende und vornehmlich sammelnde Gruppen unterscheidbar.

Unterteilungskriterium 1: Produktionsmodus

Sowohl im geschichtlichen, als auch im geographischen Vergleich kann man zwischen zwei wesentlichen Produktionsweisen unterscheiden. Die erste und bis zum Siegeszug des Kapitalismus einzig bestehende bezeichnet Sahlins 1972 als „domestic mode of production“ als häusliche Produktionsweise zu übersetzen. Das agrarische Produktionssystem besteht dabei meist aus einem

Haushalt und wird durch mehr oder weniger komplexe verwandtschaftliche Beziehungen bestimmt und abgegrenzt. Produziert wird innerhalb dieser Einheiten im wesentlichen für den Bedarf der mit der Produktionseinheit assoziierten Menschen, Tausch findet allenfalls am Rande statt. Die Technologie – in einem umfassenden Sinne verstanden – ist eher an der Bedarfssicherung ausgerichtet, wodurch beispielsweise das nicht vollständig ausgenutzte Potential der Herden bei der Traditionellen Weide zu erklären ist (Giampietro et al. 1992). Die zweite Produktionsweise, welche während der letzten zwei Jahrhunderte immer mehr den „domestic mode of production“ ablöste, ist die am Tauschwert und dem daraus hervorgehenden Profit orientierte Produktionsweise. Ich werde im folgenden erstere als subsistenzorientierte, letztere als marktorientierte Produktionsweise bezeichnen.

Die Ausrichtung der Produktion auf einen Markt bringt mehrere Veränderungstendenzen der sozial-ökologischen Kriterien mit sich, die es rechtfertigen, den Produktionsmodus als grundlegendes Einteilungskriterium festzulegen.

Im wesentlichen sind drei Hauptentwicklungen bei zunehmender Marktintegration des Agrarsystems zu beobachten: *Erstens* nimmt der Einsatz menschlicher Arbeit für die Herstellung der Nahrungsmittel dramatisch ab, während gleichzeitig der Einsatz maschineller Energie stark ansteigt. *Zweitens* findet eine Spezialisierung von Agrarbetrieben statt, wodurch insgesamt eine räumliche Segregation bisher integrierter agrarischer Bestandteile zu beobachten ist. Und *drittens* ist, zumindest bei Ackerbausystemen, die Ausrichtung auf den Verkauf mit einer tendenziell geringeren HANPP% auf der Anbaufläche verbunden.

Die letztgenannte Tendenz ist auf zwei Ursachen zurückzuführen. Zum einen wird die ANPP_{akt} auf der angebauten Fläche durch den Einsatz technischer Hilfsmittel, vor allem synthetischer Düngemittel und vermehrter künstlicher Bewässerung, erhöht, zum anderen bleibt ein höherer Anteil der Ernterückstände (v.a. Stroh) im Feld zurück, das heißt die ANPP_e wird niedriger. Beide Faktoren reduzieren die HANPP%. Bei der Interpretation hinsichtlich des gesamten landwirtschaftlichen Sektors gilt es dabei allerdings im Auge zu behalten, dass die vom Feld entfernten Ernterückstände im Subsistenzackerbau meist dazu dienen, Tiere zu füttern, die im wesentlichen als Zugtiere auf den Feldern dienen und die in kommerziell ausgerichteten Systemen durch fossilenergiebetriebene Maschinen ersetzt wurden, zudem ist auch die Herstellung der die ANPP_{akt} erhöhenden Werkzeuge im wesentlichen auf den Einsatz von Fossilenergie zurückzuführen. Die fallende HANPP% ist somit eine indirekte Folge der Substitution von menschlicher und tierischer und damit auf Biomasse basierender durch fossile Energie in auf den Markt ausgerichteten Systemen.

Unterteilungskriterium 2: Nahrungspyramidenebene

Sowohl bei marktorientierten als auch bei subsistenzorientierten Systemen ist als Kriterium zweiten Grades die Einteilung zwischen Agrarsystemen, welche hauptsächlich pflanzliche Biomasse und solchen, welche im wesentlichen tierische Biomasse produzieren, sinnvoll.

Der sozial-ökologisch wesentliche Unterschied wird bei der Betrachtung des Energieflusses, deutlich. Bei der Produktion und Konsumtion tierischer Biomasse ist im Energiefluss von den Sonnenstrahlen bis zur vom Menschen genutzten Biomasse, ein zusätzliches Kompartiment zwischengeschaltet: Das Tier. Dieses verbraucht den größten Teil der aufgenommenen Nahrungsenergie für den eigenen Stoffwechsel. Hinsichtlich der in dieser Arbeit benutzten sozial-ökologischen Kriterien äußert sich dies, bei gegebener Fläche und Zeitintervall, in einem erheblich reduzierten Energieertrag.

Unterteilungskriterium 3a (Pflanzenproduktionssysteme): Brache-Anbau-Verhältnis (R-Wert)

Die Pflanzenproduktionssysteme werden weiters nach ihrem Anbau-Brache-Verhältnis unterteilt. Ruthenberg (1980) benutzt dieses Kriterium als grundlegend für seine Klassifikation tropischer Agrarsysteme und benutzt für die quantitative Unterscheidung den R-Wert (nach Joosten 1962). Dieser gibt den prozentualen Anteil des Anbau- am gesamten Anbau/Brache-Zyklus an. Ein Wanderfeldbausystem mit einem Anbauzyklus von zwei Jahren und einem Brachezyklus von zehn Jahren würde demnach einen R-Wert von $(2/12) \cdot 100 = 17$ aufweisen. Der R-Wert kann dabei auch

über 100 liegen, nämlich bei solchen Systemen, in denen auf der selben Fläche mehrere Feldfrüchte innerhalb eines Jahres angebaut werden. Wird zum Beispiel drei mal im Jahr Reis angebaut und geerntet, wäre der R-Wert mit 300 zu beziffern.

Der R-Wert wirkt sich, bei ansonsten gleichen Bedingungen, wesentlich auf die sozial-ökologischen Kriterien der Agrarsysteme aus: Energieeinsatz und Energieertrag erhöhen sich mit zunehmendem R-Wert, genauso der Zeiteinsatz. Komplexer ist der Zusammenhang zwischen HANPP und R-Wert, da hierfür die zu Anfang der Sukzessionsvegetation der Brache reduzierte NPP zu berücksichtigen ist. Dieser Aspekt wird im Abschnitt über Langbrachesysteme näher besprochen werden.

Unterteilungskriterium 3b (Tierproduktionssysteme): Verwendete Futtermittel

Bei subsistenzorientierten Systemen beschränken sich Tierproduktionssysteme im wesentlichen auf Weidesysteme. Die Hauptfunktion der bei gemischt-integrierten Ackerbausystemen vorhandenen Tiere besteht vor allem in der Lieferung von Arbeitsenergie und des Nährstoffmanagements, die Lieferung von Nahrungsmitteln nimmt nur eine untergeordnete Rolle ein. Erst in der industriellen, auf den Markt ausgerichteten Landwirtschaft treten die auf Ackerbau basierende Tierproduktionssysteme auf, bei denen nicht nur Gras und Ernterückstände wie Stroh, sondern auch in großem Ausmaß für den Menschen direkt verwertbare, in Ackerbausystemen eigens als Futtermittel produzierte Biomasse (z.B. Mais) verwendet werden. Bei den industriellen Tierproduktionssystemen lässt sich deshalb sinnvoll unterscheiden zwischen auf Grünland und auf Ackerland basierender Tierproduktion. Diese Aufteilung wird in der Beschreibung der auf Grünland basierenden Tierproduktion näher erläutert werden.

Weitere Unterteilungskriterien

Die **Traditionellen Weidesysteme** werden von fast allen Autoren nach dem Grad der Sesshaftigkeit aufgeteilt, der wiederum im wesentlichen von der Niederschlagsmenge bestimmt wird. Auch die sozial-ökologischen Charakteristika betreffend weisen diese Formen, aufgrund des unterschiedlichen Energieertrags und der bei sesshafteren Formen zunehmenden Bedeutung des Ackerbaus, wichtige Differenzen auf, weshalb diese Einteilung hier übernommen wird.

Auch die **Industriellen Tierproduktionssysteme** können weiter über die Art des Acker- oder Weidesystems differenziert werden, innerhalb dessen die Futtermittel angebaut werden.

Innerhalb des Industriellen Ackerbaus werden zusätzlich zur Unterscheidung nach dem Grad der Intensität im Sinne des R-Wertes die Einheiten der Dauerkulturen und der Spezial- und Gewächshauskulturen eingeschlossen. Beides sind Systeme, die sich durch die Spezialisierung landwirtschaftlicher Betriebe herausbilden konnten und in sozial-ökologischer Hinsicht wichtige Differenzen aufweisen, die bei den jeweiligen Agrarklassen besprochen werden.

Weitere Unterteilungskriterien sind denkbar und letztlich erschöpft sich die Aufteilung erst, wenn sämtliche Elemente, also hier Fallbeispiele, voneinander getrennt wurden. Doch der Sinn einer Klassifikation besteht in der Vereinfachung und Gruppierung. Eine für sozial-ökologische Fragestellungen anwendbare Klassifikation globalen Maßstabs muss somit notwendigerweise innerhalb eines sehr groben Rasters bleiben.

Unterteilungskriterium „Natürliche Produktionsbedingungen“?

Es leuchtet ein, dass ein Agrarsystem in der Sahelzone Afrikas, auch bei ansonsten gleichen, zuvor erläuterten Einteilungskriterien (Produktionsmodus, Nahrungspyramidenebene usw.) immense Unterschiede zu einem anderen, etwa in den mittleren Breiten liegenden System, aufweist. Dies betrifft insbesondere das Kriterium des Energieertrags, das bei einem Agrarsystem nicht nur von den gesellschaftliche bestimmten Faktoren, sondern eben auch von dem natürlich vorhandenen Potential, quantitativ ausgedrückt durch den Indikator der NPP₀, abhängt. Dies zeigt schon ein Blick auf die Beispiele des Intensiven Subsistenzackerbaus (siehe Appendix 2), die sämtlich in die selbe Klasse von

Agrarsystemen eingeordnet wurden, jedoch ganz erheblich Unterschiede im Energieertrag und den davon abgeleiteten Werten aufweisen.

Die Frage stellt sich also, ob das hier als natürliche Produktionsbedingung bezeichnete Kriterium, vor allem durch die Fruchtbarkeit des Bodens und die klimatischen Bedingungen bestimmt, als zusätzliches, womöglich sogar grundlegendes Einteilungskriterium benutzt werden sollte. Grigg (1969) schreibt zu dieser Frage in seiner Review der Agrarsystem-Klassifikationen: „*It now seems generally accepted that agricultural regions should demonstrate differences in farming methods and production, not simply reflect the supposed causes of such differences.*“ Diesem Diktum folgend scheint die Antwort klar: Die natürlichen Produktionsbedingungen stellen einen von außen auf das Agrarsystem einwirkenden Faktor dar, also ein „*cause of differences*“, demnach sollten diese nicht als Einteilungskriterium benutzt werden. In dieser Arbeit wird jedoch nicht, wie Grigg dies tut, zwischen Anbau- und Produktionsmethode („*farming method and production*“) auf der einen und den angenommenen Gründen auf der anderen Seite unterschieden, sondern, in der oben erläuterten Weise, zwischen quantitativen, hier sozial-ökologischen Analysekriterien auf der einen und Einteilungskriterien auf der anderen Seite. Die hier zur Einteilung benutzten Kriterien gehen also mit bestimmten sozial-ökologischen Charakteristika einher und wurden deshalb benutzt, um die Agrarsystem-Klassen zu bilden.

In einer auf einer breiteren Datengrundlage stehenden differenzierteren Einteilung wäre es sinnvoll, die natürlichen Produktionsbedingungen, also etwa Klima und Boden, als Einteilungskriterium mit aufzunehmen. Dennoch wurde darauf in dieser Arbeit, vor allem aufgrund der nicht ausreichenden Datengrundlage, darauf verzichtet.

3.4.2. Charakterisierung und Vergleich der Einheiten

Im übrigen Teil der Arbeit werden die nach den obigen Einteilungskriterien abgegrenzten Klassen von Agrarsystemen hinsichtlich ihrer sozial-ökologischen Charakteristika vergleichend beschrieben. Zuzüglich zu den abgegrenzten Einheiten von agrarischen Produktionssystemen wird, exemplarisch als Extraktionssystem, auch die Einheit des subsistenzorientierten Jagen und Sammelns besprochen. Für die zusammenfassende Darstellung der Klassifikation, siehe Abschnitt 4.

Für jede der gebildeten Agrarsystem-Einheiten wird zunächst ein typisches Energieflussmodell angegeben. Dieses Energieflussmodell orientiert sich an dem in Abbildung 1 veranschaulichten, sowie in Abschnitt 3.2.2. allgemein beschriebenen und in Abschnitt 3.2.3.1. für den Energiefluss spezifizierten Kompartimentmodell. *Innerhalb* einer Abbildung entspricht dabei die Dicke der Pfeile der relativen Höhe des Energieflusses. Eine solche den Relationen entsprechende Darstellung *zwischen* den verschiedenen Abbildungen und Agrarsystemeinheiten war, aufgrund der sich teilweise um mehrere Zehnerpotenzen unterscheidenden Werte, nicht möglich²⁴. Für die in den Energieflussmodellen nicht ausgefüllten Pfeile konnte der entsprechende Wert nicht quantifiziert werden, die entsprechenden Energieflüsse sind jedoch für das Gesamtsystem von erheblicher Bedeutung. Darunter fällt das von Tieren geweidete Gras und die Übertragung von Nährstoffen, vor allem Stickstoff als Energielieferant durch die Tiere, in Form des energiereichen Dungs.

Im Anschluss an diese Darstellung des Energieflusses wird für jede Agrarsystemeinheit, hauptsächlich auf den Fallstudien basierend, jedoch ggf. durch weitere Literaturangaben ergänzt, die sozial-ökologischen Charakteristika Energieeinsatz, Energieertrag, Kolonisierung und Zeiteinsatz diskutiert.

²⁴ So unterscheidet sich etwa der flächenbezogene Energieeinsatz zwischen dem dargestellten System des Jagen und Sammelns und jenem des Gewächshausanbaus um den Faktor 10^6 , der entsprechende Energieertrag um den Faktor 20.000.

Jagen und Sammeln

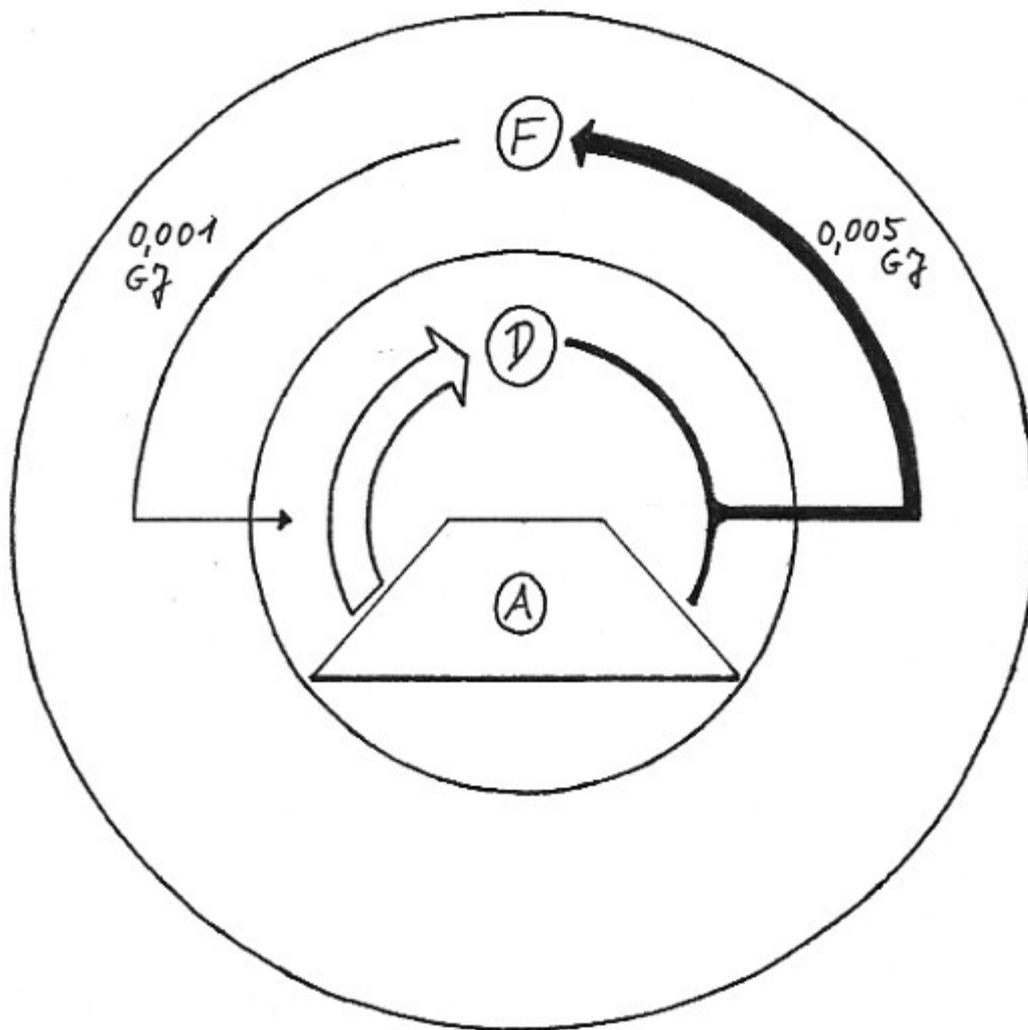


Abbildung 3: Energieflussmodell eines typischen Systems des Jagen und Sammelns

3.4.2.1 Jagen und Sammeln

Die Jäger- und Sammlergesellschaften wurden in den vergangenen 13000 Jahren, ausgehend von der neolithischen Revolution, bis auf einige Restbestände von Ackerbau betreibenden Gesellschaften nach und nach verdrängt (Diamond 2002). Heute trifft man Jäger- und Sammlergesellschaften allenfalls noch in extremen Umwelten an, in denen (aufgrund verschiedener Faktoren) keine Kultivierung von Pflanzen oder die Weide von Tieren möglich ist (Haberl 2001). Meist sind dies entweder extreme Trockengebiete, oder sehr kalte Gebiete in höheren Breiten. In einer kapitalistischen Gesellschaft erschwert wird Jagen und Sammeln, ähnlich wie der Weidenomadismus, durch die Erfordernis großer besitzloser Bodenflächen. An der weltweiten Produktionsmenge gemessen spielt dieses System somit zwar keine Rolle mehr, es darf jedoch nicht übersehen werden, dass dieses System vor allem in der weiter zurückreichenden historischen Betrachtung wichtig ist. Bis zur neolithischen Revolution vor 13000 Jahren war der Mensch ausschließlich Jäger und Sammler. In der Zukunft gibt es, zumindest solange kein erheblicher Rückgang der menschlichen Bevölkerung eintritt, kein zurück zu dieser Form des Nahrungserwerbs, da Jagen und Sammeln nur in sehr dünn besiedelten Regionen ausreichend Nahrung liefert.

Energieeinsatz

Bezogen auf die Fläche wird beim System des Jagens und Sammelns mit Abstand am wenigsten Energie eingesetzt, bei dem hier verwendeten Fallbeispiel (Lee 1969, zitiert in Leach 1976) der !Kung in Botswana beträgt der **Energieeinsatz pro Flächeneinheit** 0.000456 GJ/ha/Jahr. Im Nahrungsproduktionssystem mit dem nächst höheren Energieeinsatz pro Fläche, der Traditionelle Weide, wird im Falle des verwendeten Beispiels bereits das ungefähr 35fache der Energie in die entsprechende Fläche investiert (Coughenour et al. 1985). Da es sich beim Jagen und Sammeln im hier verstandenen Sinn um ein ausschließlich vorindustrielles Produktionssystem handelt, des weiteren – anders als dann beim sesshaften Ackerbau – Tiere nicht zur Umgestaltung des Ökosystems dienen, stellt die beim Jagen und Sammeln eingesetzte Energie ausschließlich die metabolisierte Energie der am System beteiligten Menschen dar.

Energieertrag

Der Energieertrag liegt, genauso wie der Energieeinsatz, deutlich unterhalb aller agrarischen Produktionssysteme. Es wird also zwar sehr wenig Energie in eine bestimmte Fläche investiert, aus dieser Fläche wird aber gleichzeitig nur wenig Energie extrahiert.

Im Falle der Jäger- und Sammlergesellschaft Botswanas beträgt der **Energieertrag pro Flächeneinheit** 0,0029 GJ/ha/Jahr. Vergleichen wir dies wiederum mit dem Fallbeispiel der Traditionellen Weide in Kenia, so zeigt sich bei diesem System des Jagens und Sammelns um den Faktor sieben niedriger liegender Energieertrag pro Fläche. Für die **Energieeffizienz** bedeutet dies, dass bei dem hier exemplarisch aufgeführten Jäger- und Sammlersystem die Menschen für jedes eingesetzte Quantum Energie das sechsfache an Energie zurück erhalten, was einer **Arbeitsproduktivität** von 4,46 MJ/h entspricht. Beim kenianischen System des Weidenomadismus ("Kenia 3") zeigt sich ein wesentlich günstigeres Verhältnis : Die Weidenomaden erhalten dort für jedes eingesetzte Quantum Energie das 19fache an Energie zurück. Jedoch kann man aus diesem Befund noch keine verallgemeinernden Schlussfolgerungen bezüglich des Vergleichs von Jagen und Sammeln auf der einen und der Traditionellen Weide auf der anderen Seite ziehen. Abgesehen von den in Abschnitt 3.3.2. erläuterten methodischen Unsicherheiten beim Vergleich der Studien muss nämlich berücksichtigt werden, dass diese beiden Systeme je nach Bevölkerungsdichte und Umweltbedingungen große Varianzen in der spezifischen Ausprägung hinsichtlich sämtlicher hier berücksichtigter Faktoren aufweisen.

Bei der Annahme eines durchschnittlichen Energiebedarfs von 3,5 GJ/Person/Jahr ergibt sich für das botswanische Beispiel eine **maximale Bevölkerungsdichte** von 0,8 Personen/km². Sahlins (1972, S.50) zitiert Clark und Haswell (1964) mit einer Schätzung einer maximalen Tragkapazität von ca. 2

Personen/km² für eine in Ostafrika ansässige Jäger- und Sammlergesellschaft, bei ausschließlicher Ernährung durch gejagte Tiere.

Kolonisierung

Mit traditionellen Weidesystemen, genauso wie mit der extensiven industriellen Form der Weide, oft als Ranching bezeichnet, hat das Jagen und Sammeln die Gemeinsamkeit, dass die Vegetation nicht gezielt verändert wird. Darüber hinaus findet aber, anders als bei extensiven Weidewirtschaften, in denen domestizierte Tiere verwendet werden, kein kolonisierender Eingriff auf der Ebene des tierischen Organismus statt. Wir können deshalb die Aussage treffen, dass das Jagen und Sammeln den niedrigsten Kolonisierungsgrad aller nahrungsproduzierenden Systeme aufweist, was sich in einer entsprechend niedrigen **HANPP%** nahe 0 als quantitativem Indikator äußert. Laut Boyden (1992, zitiert in Haberl 2001) wird von Jäger- und Sammlergesellschaften ein verschwindend geringer Anteil von 1/100 000 bis 1/10 000 der NPP einer Region genutzt. Betrachtet man den Intensiven Subsistenzackerbau, bei dem die typische HANPP% nahe 100 Prozent liegt, so wird der enorme Unterschied des Eingriffs verschiedener Nahrungsproduktionssysteme deutlich.

Zeiteinsatz

Bezogen auf die Fläche wird bei keinem zum Nahrungserwerb dienenden System so wenig Zeit aufgewendet wie beim Jagen und Sammeln. Der **Zeiteinsatz pro Fläche** beträgt nur 39 min/ha/Jahr, was z.B. weniger als einem Tausendstel des durchschnittlichen Zeiteinsatzes pro Fläche des Intensiven Subsistenzackerbau entspricht. Zunächst kann dies durch die geringe Umgestaltung der Umgebung erklärt werden, wobei statt dessen größere Flächen genutzt werden müssen, um genügend Nahrungsenergie zu sammeln. Wollen wir vergleichen, wie hoch der Anteil der gesellschaftlich verfügbaren Zeit ist, der innerhalb eines bestimmten Agrarsystems zum Nahrungserwerb aufgewandt wird, so ist das Verhältnis zwischen Zeit pro eingenommenem Energiequantum die entscheidende Größe. Angesichts der oben ermittelten Arbeitsproduktivität von 4,46 MJ/h und einem Energiebedarf von 3,5 GJ/Person/Jahr ergibt sich ein **Zeiteinsatz pro Person** von 2h09min. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in jeder Gesellschaft ein Teil ihrer Mitglieder, vor allem sehr alte und sehr junge Menschen, nicht in der Lage sind, sich am Nahrungserwerb zu beteiligen, andere Personengruppen unter Umständen aus kulturellen Gründen ausgeschlossen bleiben, die von den tatsächlich am Nahrungserwerb beteiligten Personen eingesetzte Zeit deshalb über diesem über alle Individuen gemittelten Wert liegt.

Die von Sahlins 1972 zitierten Arbeiten bestätigen diesen relativ niedrigen, zum Nahrungserwerb notwendigen Zeiteinsatz. Bei zwei Gruppen von Aborigines im Arnhem Land in Australien lag der Zeiteinsatz bei durchschnittlich 3 Stunden und 47 Minuten, bzw. 5 Stunden und 8 Minuten (Sahlins 1972, nach McCarthy & McArthur 1960). Für eine andere Gruppe von Aborigines in Australien wird ein ungefähre Zeiteinsatz von 3-4 Stunden täglich angegeben, auch hier nur auf die tatsächlich aktiven Personen bezogen (Sahlins 1972 nach McCarthy & McArthur 1960 nach Grey 1841). Berücksichtigend, dass diese Werte lediglich über die Personen gemittelt sind, die sich aktiv am Nahrungserwerb beteiligen, dürfte auch nach diesen Angaben der über alle Gesellschaftsmitglieder gemittelte Wert zwischen 2 und 3 Stunden liegen. Sahlins spekuliert, dass die eingesetzte Zeit bei vielen Jägern und Sammlern unter diesem Wert lag, da die heute noch vorhandenen Reste solcher Kulturen in Gebieten liegen, in denen ein vergleichsweise schlechtes Nahrungsangebot herrscht, im obigen Fall den Trockengebieten Australiens.

Traditionelle Weide

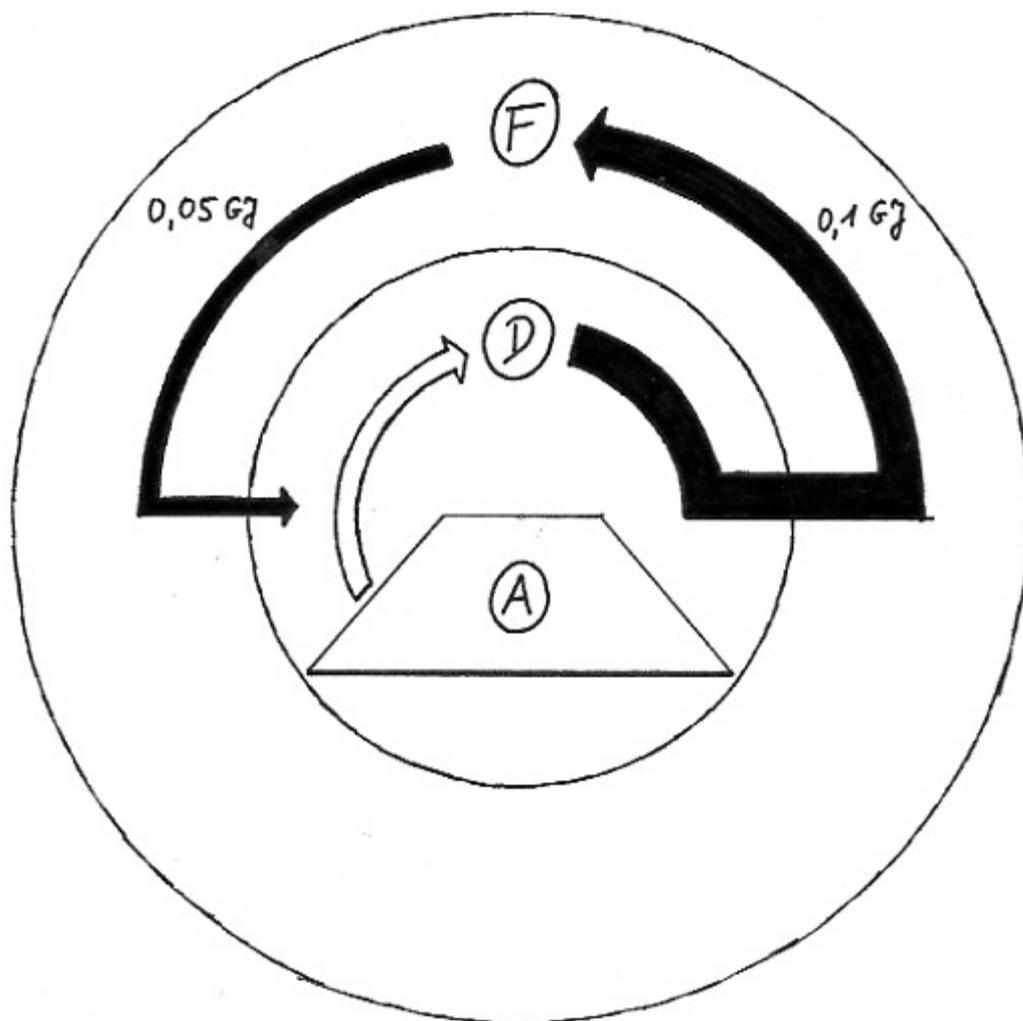


Abbildung 4: Energieflussmodell eines typischen Systems der Traditionellen Weide

3.4.2.2 Traditionelle Weide

Unter der Traditionellen Weide ist ein Agrarsystem zu verstehen, bei dem in vorindustrieller Weise, also an der Subsistenz orientiert und ohne den Einsatz von Fossilenergie, auf natürlichen Weiden domestizierte Tiere gehalten werden, um Milch, Fleisch oder Blut, sowie Fell, Leder und Wolle zu produzieren. Bei der traditionellen Tierweide findet zwar noch nicht, wie dann beim Ackerbau, ein gezielter Eingriff in die Vegetationszusammensetzung statt, was jedoch – durch Züchtung – gezielt verändert wird, sind die zu Nahrungszwecken genutzten Tiere. Wie wir im weiteren sehen werden, hat diese Domestizierung von Tieren zur Folge, dass ein höherer Teil der Nettoprimärproduktion – in diesem Fall indirekt über die Tiere – vom Menschen genutzt werden kann, wodurch die Anzahl der Menschen, die sich von einer bestimmten Fläche ernähren können, steigt.

Breman und De Wit (1983) unterscheiden drei Systeme der traditionellen Tierweide. Erstens Nomadismus („nomadism“), bei dem die Tiere und ihre Halter beständig auf Wanderschaft sind und dabei große Distanzen zurücklegen. Zweitens Seminomadismus („seminomadism“), auch als Transhumance bezeichnet. Bei dieser Form der Weidewirtschaft, die nach Breman und De Wit die weitaus bedeutendste Form der Traditionellen Weide darstellt, existiert ein in einem feuchteren Gebiet (z.B. um Flüsse) liegendes Basisdorf. Von diesem aus ziehen die Hirten während der Regenzeit, oft zweimal pro Jahr, in die umgebenden Gebiete, in denen nur dann genügend Vegetation für eine lohnende Weide vorhanden ist. Frauen, Kinder und ältere Männer bleiben in dieser Zeit im Dorf zurück. Die dritte Form der traditionellen Tierweide schließlich bezeichnen sie als sesshafte Tierhaltung („sedentary animal husbandry“). Laut Breman und De Wit wird diese Form der Tierhaltung, bei denen keine Migration stattfindet, meist nur sekundär neben der Hauptaktivität des Ackerbaus betrieben. Je nach Anteil von Pflanzen- und Tierprodukten am Gesamtertrag könnte man das integrierte Gesamtsystem deshalb entweder dem sesshaften Ackerbau, oder dem der Sesshaften Weide zurechnen. Le Houérou (1989) unterscheidet, ganz den drei Einheiten nach Breman und De Wit entsprechend, zwischen einem Langstrecken-Weidesystem („long-range pastoral system“), einem Kurzstrecken-Weidesystem („short-range pastoral system“), sowie einem sesshaften Acker-Weide-System („sedentary agropastoral system“).

1974 wurde geschätzt, dass weltweit ca. 15 Millionen Menschen auf fast 10 Millionen Quadratkilometern Fläche von der Traditionellen Weide leben (Grigg 1974, zitiert in Spedding 1979). Wenngleich keine aktuelle Angaben über die heutige Bedeutung der Traditionellen Weide in der Literatur zu finden waren, so kann doch aus dem ausführlichen Bericht von Le Houérou (1989), in dem das Fehlen von Ausweichmöglichkeiten für Weidenomaden bei steigendem Weidedruck betont wird, geschlossen werden, dass sich inzwischen nicht weniger, sondern eher mehr Menschen durch dieses System ernähren.

Die auch rezente Bedeutung der Traditionellen Tierweide sollte also, trotz des global relativ geringen Bevölkerungsanteils, nicht unterschätzt werden, da sie in Gebieten betrieben wird, in denen intensiver Ackerbau aufgrund der Umweltbedingungen – meist wenig Regen oder nährstoffarme Böden – nicht möglich ist. Der grundlegende Entstehungsfaktor für Nomadismus und Seminomadismus, die bedeutendsten Formen der Traditionellen Weide (Breman und De Wit 1983), sind saisonale und räumliche Veränderungen des Futterangebotes, welche wiederum vor allem auf klimatische Parameter, insbesondere die Niederschlagsmenge, zurückzuführen sind (Mannion 1995, S.107/108). Eine solche räumliche und zeitliche Differenzierung besteht zum einen – aufgrund der Abhängigkeit des Klimas von der Höhenstufe – in bergigen Regionen (z.B. Kuznar 1991), zum anderen in sehr trockenen Gebieten, in denen bestimmte Gebiete nur während der einige Monate andauernden Regenzeit beweidet werden können (z.B. Le Houérou 1989). Ein weiteres Verbreitungsgebiet, ebenfalls klimatisch bedingt, sind sehr kalte Gebiete mit sehr kurzer Vegetationsperiode, oft mit Permafrostböden, so z.B. die Rentierherden im nördlichen Skandinavien.

Bei der Betrachtung der drei oben beschriebenen Hauptformen der Traditionellen Weide, dem Nomadismus, Seminomadismus („Transhumance“) und der sesshaften Weide zeigt sich mit zunehmender Niederschlagsmenge ein Übergang von Nomadismus, über Seminomadismus, hin zur sesshaften Weide (Breman und De Wit 1983, Spedding 1979, S.123). Die Verbreitungsgrenze

zwischen den verschiedenen Formen der Weide ist unscharf, das heißt es existieren Übergangsgebiete, in denen Nomadismus und Seminomadismus, bzw. Seminomadismus und Sesshafte Weide nebeneinander existieren. Laut Breman und De Wit findet man Nomadismus in der Sahelzone in Gebieten mit einem Jahresniederschlag zwischen 100 und 250 mm, Seminomadismus der Zone mit einer jährlichen Regenmenge zwischen knapp 200 und 550 mm, sowie sesshafte Weidesysteme ab einer Niederschlagsmenge von 450 mm jährlich. Matlock und Cockrum (1974, zitiert in Spedding 1979, S.123) geben eine Niederschlagsmenge von ca.80 bis 600 mm für Nomadismus, 300 bis 900 mm für Seminomadismus und über 600 mm für sesshafte Weidewirtschaft an.

Die derzeitige Entwicklung des Weidenomadismus betreffend, bestehen zwei Haupttrends. Zum einen, wobei dies auch für den permanenten Ackerbau gilt, kommt es zu einer stärkeren Marktorientierung. Am Ende dieser Entwicklung kann entweder ein Ranching-System, also eine sehr extensiv bewirtschaftete, auf der Verkauf ausgerichtete Weide stehen, oder es kommt zu einem Übergang zu vollständig anderen, stärker auf den Ackerbau ausgerichteten Formen der Landwirtschaft, etwa der Agroforestry. An zwei Gruppen von Kamelnomaden im Süden Somalias zeigt Herren (1992) exemplarisch die beginnende Entwicklung eines Subsistenz- zu einem stärker am Markt ausgerichteten Systems. Innerhalb dieser Gruppe von Weidenomaden hat sich der Anteil der auf dem Markt verkauften Milch innerhalb weniger Jahrzehnte kontinuierlich vergrößert. Als Voraussetzung dafür wird von den Kamelhaltern selbst der Bau einer Strasse in den 70er Jahren genannt, welche den Transport zum einen der Milch in Städte, zum anderen von in der Stadt produzierten Waren zu den Kamelnomaden ermöglichte.

Neben diesem allgemeinen Trend zur Vermarktung der Produkte trifft man in der Literatur auf sich teilweise widersprechende Aussagen hinsichtlich globaler Bedeutungsentwicklungen der Traditionellen Weide. Goldstein & Beall (1991, nach Galaty und Johnson 1987) sprechen von der „Pastoral Crisis“. Demnach habe der Weidenomadismus einen starken Rückgang zu verzeichnen. Faktoren, welche für diesen Trend verantwortlich sein könnten, sind von staatlichen und nichtstaatlichen Organisationen initiierte Programme zur Förderung der sesshaften, marktorientierten Extensiv-Weide (Mannion 1995 nach Grayzel 1990), die Einschränkung der Wanderung durch nationale Grenzen, die Ermöglichung von Ackerbau durch künstliche Bewässerung (Mannion 1995), sowie der Rückgang von großen besitzlosen oder sich in kollektivem Besitz befindlichen Flächen.

Laut Le Houérou (1989) haben sich allerdings in der Sahelzone sowohl die Anzahl der Tiere pro Fläche, als auch die davon abhängigen Menschen, auch aufgrund des Fehlens alternativer Formen des Lebensunterhaltes, in den vergangenen Jahrzehnten erhöht. Da schon vor den 1970er Jahren die Bestandesdichte nahe der maximalen Tragekapazität war, fand zwischen 1974 und 1989 eine starke Degradierung der natürlichen Vegetation statt. Zusätzlich dazu verminderte sich die verfügbare Weidefläche durch zunehmende Verwüstung und Degradierung der Vegetation. So verschob sich in den Jahren 1958 bis 1975 im Niger die südliche Grenze der Sahara um 80-100 km in Richtung Süden, was einer Fläche von 150000 km² entspricht (Le Houérou 1989, nach Lamprey 1975). Durch den infolgedessen extrem starken Beweidungsdruck entstehen große Flächen mit offenem Grund, auf denen die Vegetation vollständig abgestorben ist. In einer Testzone in Zentral-Mali erhöhte sich der offene Grund zwischen 1952 und 1975 von 4 auf 26%.

Als möglichen Ausweg schlägt Le Houérou (1989) den weiteren Ausbau der sogenannten „Agroforestry“ vor, einem Agrarsystem, bei welchem der Anbau von Bäumen mit Ackerbau und Weide kombiniert wird. Breman und De Wit (1983) sprechen außerdem davon, dass allein durch die Düngung mit Phosphor und Stickstoff die Produktivität der Weide in der südlichen Sahelzone um den Faktor fünf gesteigert werden könnte.

Zweierlei zeigt sich hier: Erstens wäre technologisch eine erhebliche Steigerung der Bevölkerungsdichte durch den Umstieg auf andere Agrarsysteme und teilweise die Nutzung moderner Technologien (wie synthetischer Düngemittel) möglich. Zweitens aber zeigt das weitgehende Ausbleiben der Nutzung solcher Technologien, dass das Vorhandensein bestimmter Technologien noch lange nicht heißt, dass diese dort zum Einsatz kommen, wo sie am dringendsten gebraucht würden. *Technologisch* wäre eine höhere Bevölkerungsdichte in der Krisenregion der Sahel durchaus

möglich, es ist jedoch die *gesellschaftliche Situation*, die den Einsatz dieser Technologie in der Krisenregion Sahel verhindert.

Bei Annahme der weiteren Gültigkeit des von Le Houérou 1989 beschriebenen Trends für die Sahel lässt sich also, zumindest für diese Region, nicht ein Rückgang oder Verschwinden der Traditionellen Weide, sondern eher eine Bedeutungszunahme konstatieren, nimmt man die Zahl der davon abhängigen Menschen als Maßstab. Allerdings kann man auch hier, aufgrund der beschriebenen Überweidung, keinesfalls von einer Stabilität dieses Systems im gegenwärtigen Umfang sprechen. Die Gefahr eines Teufelkreislaufs, in dem durch zunehmende Beweidung immer mehr Fläche degradiert und dadurch der Beweidungsdruck weiter verstärkt wird, ist akut (Le Houérou 1989). Diese problematische Entwicklung wird nicht nur aus der Sahel, sondern auch aus anderen traditionellen Weideregionen der Welt berichtet (Jin, Xiong und Ervin 1990). Möglicherweise besteht global gesehen der Trend darin, dass die Traditionelle Weide zunehmend marginalisiert, also sich auf solche Regionen beschränken wird, die zum einen aus verschiedenen Gründen vom Markt ausgeschlossen sind, zum anderen keine anderen Formen der Landwirtschaft zulassen. In diesen verbleibenden Regionen der Traditionellen Weide (wie beispielsweise der Sahelzone) würden jedoch eine zunehmende Zahl an Menschen ihre Lebensmittel aus diesem System beziehen. Dies wäre weiter zu untersuchen.

Energieeinsatz

Wie beim Jagen und Sammeln wird auch bei der Traditionellen Tierweide ausschließlich menschliche Arbeitsenergie zum Erwerb der Nahrung und sonstigen Güter eingesetzt. Tiere beginnen zwar, über die Lieferung von Nahrung und anderen Lebensmitteln hinaus, auch in der Lieferung anderer Energieformen eine bedeutende Rolle einzunehmen. Besonders wichtig hierbei sind der Transport von Gütern und, bei kombinierten Weide-Ackerbau-Systemen, die Übertragung von Nährstoffen von Weide- auf Ackerland. Diese Energielieferungen finden aber alle entweder *innerhalb* des Produktionssystems statt (wie bei der Übertragung der Nährstoffe), oder sie gehören zum Energieertrag des Systems (wie der Transport von Gütern). Gemeinsam mit Jagen und Sammeln ist der Traditionellen Tierweide also, dass der Energieeinsatz an die Verwendung von Zeit gekoppelt ist. Allerdings zeigt sich bei der Traditionellen Weide so deutlich wie bei keinem anderen System die Schwierigkeit der klaren Trennung zwischen „Arbeitseinsatz“ und „Freizeit“, bzw. der Trennung zwischen Energie, die in das Agrarsystem investiert wird und Energie, die anderweitig verausgabt wird, das heißt nicht für den Erwerb von Lebensmitteln eingesetzt wird. Betrachten wir beispielsweise Kamelnomaden in der nördlichen Sahel und der Sahara, bei denen keine feste Siedlung vorkommt, die somit den ganzen Tag über mit ihren Kamelen unterwegs sind: Leben und das Hüten der Herde bilden hier eine vollständige Einheit, es kann keine Grenze zwischen Energieinvestition in den Nahrungserwerb und Energieverausgabung der wieder eingenommenen Energie gezogen werden. In der Literatur waren, möglicherweise unter anderem aus diesem Grund, keine Angaben über den Zeiteinsatz bei Nomadischen Weidesystemen zu finden. Um dennoch einen groben Indikator für den Energieeinsatz pro Flächeneinheit zu erhalten, wurde dieser aus der Bevölkerungsdichte und einem mittleren Zeiteinsatz von 5 Stunden pro Person und Tag ermittelt.

Das verwendete Fallbeispiel des Weidenomadismus in Kenia weist bei dieser Art der Berechnung einen **Energieeinsatz pro Fläche** von 0,016 GJ/ha/Jahr auf, was einen immerhin um den Faktor 35 höheren Energieeinsatz verglichen mit dem botswanischen Fallbeispiel des Jagen und Sammeln bedeutet. Da dieser Energieeinsatz an den Einsatz menschlicher Zeit gekoppelt ist, lässt sich dieser Unterschied auf die höhere Bevölkerungsdichte zurückführen, entsprechend der auch mehr Gesamtzeit und damit mehr Energie pro Fläche für das Agrarsystem zur Verfügung steht.

Das auch als Traditionelle Weide zu bezeichnende Fallbeispiel „Österreich 1“ (Krausmann 2004) zeigt ganz besonders deutlich, wie stark sich, bedingt durch die unterschiedlichen natürlichen Bedingungen, der Energieeinsatz und Energieertrag zweier Agrarsysteme innerhalb der selben Einheit unterscheiden können. Der Energieeinsatz dieses Fallbeispiels, das ein alpines Weidesystem zu Beginn des 19. Jahrhunderts, also vor der Industrialisierung Österreichs darstellt, liegt bei 0,390 GJ/ha/Jahr, bestehend ausschließlich aus menschlicher Arbeitsenergie.

Nach oben begrenzt wird das System der Traditionellen Weide nicht – wie letztlich der intensive Subsistenzackerbau – über die verfügbare menschliche Zeit und damit verfügbare Energie zur Umgestaltung des Ökosystems, sondern durch die maximale Weidekapazität des Ökosystems, das heißt die maximale Anzahl von Tieren, die auf einer Fläche weiden können, welche wiederum vor allem von der NPP der Vegetation, aber auch vom Wasserangebot, der Futterqualität und der Tierart abhängig ist. Die Anzahl der weidenden Tiere pro Fläche ist, so lange keine Düngemittel oder künstliche Bewässerung eingesetzt wird, durch die natürlichen Bedingungen (vor allem Klima und Boden) nach oben hin klar begrenzt. Diese Grenze wiederum bestimmt die Anzahl der möglichen Menschen fest, von denen direkt der Energieeinsatz abhängt. Anders als beim Intensiven Subsistenzackerbau kann somit bei diesem System der Energieertrag nicht durch einen höheren Arbeitseinsatz gesteigert werden.

Energieertrag

Der **Energieertrag pro Fläche** des von Coughenour et al. (1985) untersuchten Weidenomadismus-Systems liegt bei insgesamt 0,392 GJ/ha/Jahr. Den weitaus größten Teil dieses Betrags macht das als Konstruktions- und Feuermaterial gesammelte Holz aus, nämlich 0,371 GJ/ha/Jahr. Von den übrigen 0,025 GJ/ha/Jahr fallen 0,019 GJ/ha/Jahr auf Produkte der Weidetiere (hauptsächlich Milch, daneben Fleisch und Blut), 0,002 GJ/ha/Jahr auf gejagte Tiere und gesammelte pflanzliche Produkte und 0,004 GJ/ha/Jahr auf angebautes Sorghum, Mais und Zuckerrohr, das auf dem Markt durch aus dem Verkauf von Tierprodukten generierten Geld erworben wird. Mit 76% des essbaren Energieertrags von den Weidetieren stammend, kann man dieses System nichtsdestotrotz klar der Klasse der Traditionellen Weide zuordnen.

Erwähnenswert ist auch das Fallbeispiel von Burkina Faso, das Le Houérou (1989, nach Kiekens 1984) in die Kategorie der Acker-Wald-Weide-Systeme ("agrosilvopastoral systems") einordnet, also auch zu den Systemen der Traditionellen Weide zählt. Rechnet man jedoch die verschiedenen Nahrungsmittel, welche innerhalb dieses Systems erzeugt werden, in Energiewerte um, so zeigt sich, dass 82% der Energie der verzehrten Nahrungsmittel (0,69 von 0,84 GJ/ha/Jahr) durch den Ackerbau gewonnen werden. Dem Prinzip folgend, dass ein gemischtes Ackerbau-Weide-System jenem System zugeordnet werden sollte, das den größeren Teil der Nahrungsenergie erzeugt, würde ich deshalb das Fallbeispiel von Burkina Faso dem permanenten Ackerbau zuordnen. Gleichwohl muss berücksichtigt werden muss, dass die Tiere auch hier eine unabdingbare Rolle einnehmen, nicht nur als Nahrungs- und besonders Proteinlieferanten, sondern auch als Verwerter des für den Menschen nicht verdaubaren Hirsestrohs und als Lieferanten von Nährstoffen für das Ackerland. 13 Schafe und Ziegen plus knapp 7 Rinder, die das Weideland weiden, bringen über Fleisch und Milch einen Energieertrag von 0,076 GJ/ha/Jahr²⁵.

Der Energieertrag von „Österreich 1“ liegt bei 1,037 GJ/ha/Jahr und liegt damit um fast einen Faktor 50 höher als jener des kenianischen Fallbeispiels des Weidenomadismus. Das ertragreichere Weidesystem Burkina Fasos wird immer noch um den Faktor 14 übertroffen.

Die tatsächlich vorhandenen Tierbestandesdichten, welche neben der verwendeten Tierart, der NPP und der Futterqualität den Energieertrag bestimmen, sind je nach Weideregion sehr unterschiedlich. Eine allgemeine Aussage ließe sich aus Angaben über Bestandesdichte in einer bestimmten Region, den verwendeten Tierarten und der Produktivität der Tierarten gewinnen. Le Houérou (1989) gibt für die Sahelzone eine durchschnittliche Bestandesdichte von 6-9 ha/TLU²⁶ an und differenziert zwischen 3-6 ha/TLU für die produktivere Region um den Niger und 10-20 ha/TLU für große Regionen in der

²⁵ Die Rinder nutzen die Weide, werden daneben aber auch mit Hirsestroh vom Ackerland gefüttert. Der Energieertrag über die Rinder kann deshalb nicht wirklich zwischen Weide und Ackerland getrennt werden. Ich löse dies so, dass ich 66% des Energieertrags der Rinder, entsprechend dem Anteil der Trockenmasse des gesamten Futtermittels (Weide- und Hirsestroh) der Weide zurechne.

²⁶ TLU = Tropical Livestock Unit. Die Einheit der TLU bezeichnet ein 250 kg schweres Rind und wird als Grundmaß zum Vergleich der Parameter verschiedene Nutztiere (Metabolismusrate, Nährstoffbedarf etc.) benutzt (LEAD/FAO 1999)

nördlichen Hälfte der Sahel. Breman und De Wit (1983) geben für die Sahelzone die Bestandesdichten für das normale Jahr 1970 bzw. das einer Dürreperiode folgende Jahr 1975 an. Für Nomadismus in der Region südlich der Sahara ergibt sich dabei eine Dichte von 33 bzw. 50 ha/TLU, für Seminomadismus (Transhumance) in der Sahelzone 4 bzw. 6 ha/TLU und für sesshafte Weidesysteme in der Savanne 16 bzw. 20 TLU/ha. Bei Ziegen würde dies eine jährliche Produktivität zwischen 2 kg/ha/Jahr (für 50 ha/TLU und 40% mittlerer jährlicher Produktion bei Ziegen, s. Breman und De Wit 1983) und 33 kg/ha/Jahr ergeben, was bei Fleischproduktion einen Energieertrag zwischen 0,02 GJ/ha/Jahr und 0,33 GJ/ha/Jahr ergeben würde. Für Rinder ergäbe sich, aufgrund ihrer geringeren Produktivität von 15%, ein Energieertrag zwischen 0,009 GJ/ha/Jahr und 0,14 GJ/ha/Jahr. Trotz des hohen Unsicherheitsfaktors geben diese Berechnungen eine ungefähre Vorstellung des Energieertrags der Traditionellen Tierweide in Trockengebieten. Auch die beiden weiter oben besprochenen Fallbeispiele liegen mit 0,019 GJ/ha/Jahr für das kenianische Weidesystem und 0,051 GJ/ha/Jahr für den Weidebestandteil des Systems von Burkina Faso innerhalb des hier berechneten Intervalls von 0,009 – 0,33 GJ/ha/Jahr.

Für die **Arbeitsproduktivität** bzw. **Energieeffizienz** ergibt sich, vorbehaltlich der besonders bei der traditionellen Weide kaum setzbaren Grenze zwischen "Arbeit" und "Freizeit", 1,36 MJ/h bzw. 1,3 für das kenianische Fallbeispiel, sowie 1,86 MJ/h bzw. 2,7 für das Fallbeispiel „Österreich 1“.

Bei Benutzung des Intervalls von 0,009 – 0,33 GJ/ha/Jahr für den Energieertrag ergibt sich eine entsprechende **maximale Bevölkerungsdichte** zwischen 0,3 und 9,4 Personen/km² für rezente Traditionelle Weidesysteme in trockenen Regionen. Der untere Wert von 0,3 Personen/km², der noch unterhalb der 0,8 Personen/km² des botswanischen Fallbeispiels für Sammeln und Jagen liegt, gilt dabei für Zonen mit extremer Trockenheit, wie den südlichen Rand der Sahara. Entsprechend dem wesentlich höheren Energieertrag würde das nur noch eine historische Rolle spielende „Österreich 1“ davon klar abweichen, mit einer maximalen Bevölkerungsdichte von 30 Personen/km².

Die **maximale Tragekapazität** der Weide in tropischen Regionen wird von Pagot (1992) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge angegeben und liegt zwischen 8,6 ha/TLU für Regionen mit einem jährlichen Niederschlag von 200 mm, dies wäre etwa am südlichen Rand der Sahara der Fall, und 1,7 ha/TLU für Regionen mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 1000 mm, was ungefähr der südlichen Grenze der Savanne entspricht (Breman und De Wit 1983). Dies bedeutet einen maximalen Energieertrag von 0,05 bis 0,12 GJ/ha/Jahr für extrem trockene Regionen (abhängig von der Tierart) und 0,25 bis 0,59 GJ/ha/Jahr für die eher feuchten Gebiete der Savannenregionen. Aus den Angaben über die maximale Bestandesdichte von Breman und De Wit (1983) ergibt sich ein maximaler Energieertrag von – je nach Futterqualität und Tierart – 0,01 bis 0,07 GJ/ha/Jahr für Nomadismus am südlichen Rand der Sahara, 0,02 bis 0,10 GJ/ha/Jahr für sesshafte Weidesysteme in Savannenregionen und 0,05 bis 0,29 GJ/ha/Jahr für Seminomadismus in der Sahelzone. Im Vergleich zu Pagot ist hier, neben den niedriger liegenden Angaben, vor allem auffällig, dass der maximale Energieertrag nicht mit dem Niederschlag ansteigt: Den höchsten potentiellen Ertrag hat die Sahelzone. Die Savannenregion, in welcher mehr Niederschlag fällt, liegt wieder deutlich niedriger. Dieser Befund wird von Breman und De Wit dadurch erklärt, dass nicht der Jahresniederschlag, sondern die Nährstoffversorgung (durch N und P) der eigentlich begrenzende Faktor darstellt. Wie schon in der Einführung zur Traditionellen Weide beschrieben, scheint die Tragekapazität, das heißt die maximale Bestandesdichte dieses Systems, die ohne Degradierung der Vegetation möglich ist, in vielen Regionen schon überschritten zu sein. Für die Sahelzone nennt Le Houérou (1989) zum Beispiel eine um 30% zu hohe Bestandesdichte.

Neben der Lieferung von Nahrungsenergie kommen bei den Weidetieren weitere Energieformen ins Spiel. Dazu gehören die Nutzung von Wolle und Fell, mechanischer Kraft insbesondere zum Transport, in gemischten Weide-Ackerbau-Systemen auch zur Bodenbearbeitung, sowie ganz besonders die Nutzung des Dungs der Tiere. Auch letztere Funktion ist insbesondere für Systeme von Bedeutung, bei denen Ackerbau und Weide integriert sind.

Kolonisierung

Wie beim Jagen und Sammeln und – mit Einschränkungen – der marktorientierten Extensiv-Weide (Ranching), bleibt auch bei der Traditionellen Weide die Vegetation unverändert, auf dieser Ebene findet also nur indirekt, über die weidenden Tiere, ein kolonisierender Eingriff statt. Im Vergleich zum Jagen und Sammeln steigt der Kolonisierungsgrad qualitativ jedoch zum einen durch die Verwendung domestizierter Tiere, was einen Eingriff auf der Ebene des Organismus darstellt, sowie zum anderen durch die über die Haltung von Tierherden mögliche, stärkere Nutzung des Tierbestandes.

Aus den schon weiter oben besprochenen Fallbeispielen der Traditionellen Weide (Coughenour et al. 1985, Kiekens 1984) geht die HANPP als wesentlicher Kolonisierungsindikator nicht hervor, sie muss daher auf der Basis von Angaben weiterer Autoren abgeschätzt werden. Über den Anteil der ANPP, die von weidenden Rindern verzehrt wird, existieren verschiedene Angaben. Für die Savannenvegetation Nigerias existiert eine Angabe von 45% (Ohiagu 1979, zitiert in Detling 1988), für die Savannenvegetation Südafrikas eine von 19% (Gander 1982, zitiert in Detling 1988), auch bei wilden Herbivoren liegt der konsumierte Anteil der ANPP meist in dieser Größenordnung, nämlich bei 20 bis 50% (Detling 1988 nach verschiedenen Autoren).

Allerdings darf der Anteil der verzehrten ANPP nicht mit der HANPP_% verwechselt werden: Der große Unsicherheitsfaktor in der Ermittlung der HANPP_% besteht in der Frage, ob und in welchem Ausmaß die ANPP durch Beweidung gesteigert wird. Nach der „Optimal Grazing Hypothesis“ steigt die ANPP bei Beweidung zunächst bis zu einem Maximum an und sinkt dann, bei weiterer Zunahme der Beweidungsintensität, stark ab. Dieser Effekt scheint besonders stark beim Grünland trockener Standorte ausgeprägt zu sein (Detling 1988): Bei einem Experiment mit Gräsern der Serengeti wurde die ANPP durch Simulation der Weideaktivität um bis zu 100% gesteigert, bei Gräsern feuchterer Standorte betrug die entsprechende ANPP-Steigerung lediglich ca. 15%. Sundriyal (1992) stellt bei einer alpinen Weide im Himalaya eine um 25% gesteigerte ANPP fest. Ausgehend von der Annahme einer ANPP-Steigerung durch Beweidung von 50% in Regionen mit Traditioneller Weide, sowie des weiteren einer Annahme von 20 bis 50% konsumierter ANPP durch die weidenden Tiere, kommt man zu einer HANPP_% in der Größenordnung zwischen 25% und –20% - eine totale Steigerung der ANPP_{akt} durch Beweidung ist also nicht auszuschließen. Ich gehe vorläufig von einer HANPP_% von 5% für die Traditionelle Weide aus. Wegen der relativ hohen Varianz – aufgrund von Bestandesdichte, verwendeter Tierarten, Vegetationszusammensetzung, Klima etc. – kann dies jedoch nur einen vorläufigen Richtwert darstellen.

Zeiteinsatz

Wie weiter oben unter der Rubrik des Energieeinsatzes erläutert, scheint es mir bei der Traditionellen Weide nicht möglich, einen Zeiteinsatz im eigentlichen Sinne anzugeben. Für das Fallbeispiel des Weidenomadismus in Kenia würde sich unter den beim Energieeinsatz erläuterten Bedingungen ein **Zeiteinsatz pro Fläche** von 23 h/ha/Jahr ergeben. Für die österreichische Alpinweide liegt dieser, bedingt durch die höhere Bevölkerungsdichte, wesentlich höher, nämlich bei 557 h/ha/Jahr.

Langbrachesysteme

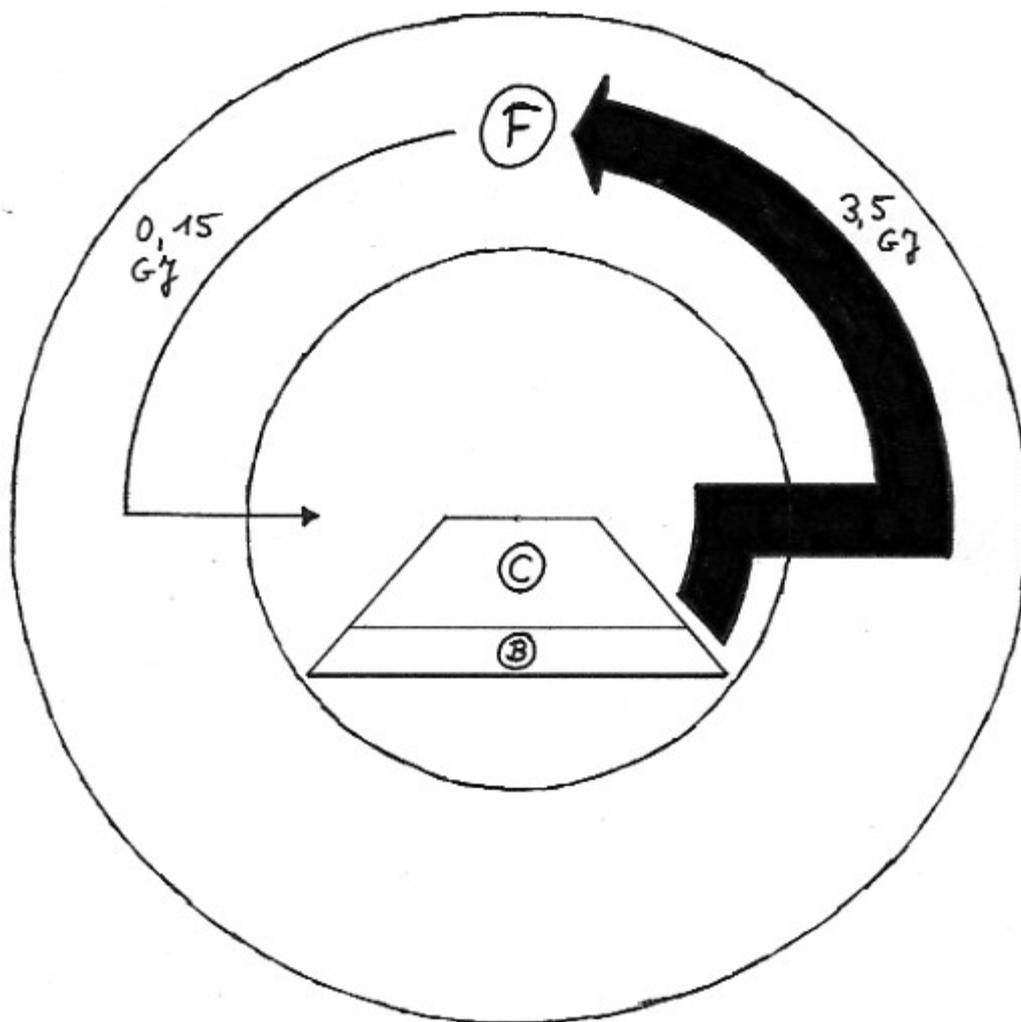


Abbildung 5: Energieflussmodell eines typischen Langbrachesystems

3.4.2.3 Langbrachesysteme

Beim Übergang vom Jagen und Sammeln zur Traditionellen Weide auf der einen und den Langbrachesystemen auf der anderen Seite könnte man davon sprechen, dass der Mensch sich bei ersterem durch einen kolonisierenden Eingriff auf der Ebene des heterotrophen, bei letzterem des autotrophen Organismus einen höheren Anteil der NPP_0 nutzbar macht. In der Geschichte des Menschen mögen einige Gruppen begonnen haben, bestimmte wild wachsende Pflanzenarten anzupflanzen, statt sie an ihren ursprünglichen Standorten aufzusuchen, wodurch sich im Laufe der Zeit domestizierte Arten entwickelten. Doch wo liegt der Unterschied zum permanenten Subsistenzackerbau? In Gebieten, in denen Wanderfeldbau betrieben wird, steht im Verhältnis zur Bevölkerung relativ viel kultivierbare Fläche zur Verfügung, so dass sehr lange Bracheperioden möglich sind. Dies hat vor allem zwei Vorteile: Ein permanent angebautes Feld benötigt sehr viel Zeit, um die dort entstehende Sukzessionsvegetation zu entfernen, zum anderen enthält, speziell in den Tropen, in denen der Wanderfeldbau heute vor allem zu finden ist, der Boden relativ wenig Nährstoffe. Diese werden während der Brachezeit wieder regeneriert. Der Unterschied zwischen permanentem Ackerbau und Langbrachesystemen liegt also, wie der Name schon sagt, im relativ hohen Anteil des Brachezyklus. Ruthenberg (1980) führt den R-Wert als diesbezügliche Kenngröße ein. Dieser bezeichnet den Anteil des gerade kultivierten am gesamten Land, einschließlich der gerade Brach liegenden Flächen. Bei einem R-Wert bis zu 33% spricht er von Wanderfeldbau, bei einem Wert zwischen 33 und 66% von Langbrachesystemen²⁷. Das Konzept des R-Wertes scheint mir auch für eine sozial-ökologisch orientierte Klassifikation sehr brauchbar, um Wanderfeldbau und Langbrachesysteme vom permanenten Subsistenzackerbau abzugrenzen. Als Höhe des R-Wertes würde ich einen Wert von 50% vorschlagen. Dies bedeutet, sobald vom gesamten innerhalb eines längeren Zeitraumes genutzten Landes mehr als 50% zu einem bestimmten Zeitpunkt kultiviert sind, ist von permanentem Ackerbau zu sprechen.

Im Falle der Langbrachesysteme wähle ich einen im Vergleich zu den übrigen Agrarsystemen etwas anderen Weg bei der Untersuchung der einzelnen Aspekte. Jede der Kategorien – Energieeinsatz, Energieertrag, Kolonisierung und Zeiteinsatz – wird umfassender, jedoch nicht auf einzelne Fallbeispiele bezogen, diskutiert.

Energieeinsatz

Da weder Tiere, wie typischerweise beim permanenten Subsistenzackerbau, noch moderne Werkzeuge, wie bei allen Formen der kommerziellen Landwirtschaft, eingesetzt werden, ist der Energieeinsatz direkt mit dem Einsatz menschlicher Zeit gekoppelt. Wie ansonsten nur beim Jagen und Sammeln sowie der Traditionellen Weide, beruht auch bei den Langbrachesystemen die Umgestaltung des Agroökosystems ausschließlich auf menschlicher Arbeit. Bei der Diskussion des Ausmaßes sei auf den Abschnitt des Zeiteinsatzes verwiesen, da sich der Energieeinsatz unmittelbar aus diesem ableitet.

Aus dem Zeiteinsatz ergibt sich ein **Energieeinsatz pro Fläche** von 0,084 – 0,252 GJ/ha/Jahr für den hauptsächlich Getreide und Maniok anbauenden Wanderfeldbau und 0,0175 – 0,0525 GJ/ha/Jahr für die pro Fläche weniger arbeitsintensiven, wegen ihres geringeren Ertrags pro Fläche aber mehr Fläche erfordernden, Kochbananen anbauenden Wanderfeldbau. Bei einem angenommenen typischen Energieeinsatz von 0,15 GJ/ha/Jahr bedeutet dies eine im Vergleich zum Fallbeispiel des Jagen und Sammelns um mehr als den Faktor 300 gesteigerten Energieeinsatz pro Fläche. Dies zeigt die Bedeutung des Übergangs vom Jagen und Sammeln zum Ackerbau.

Energieertrag

Die Ermittlung des Energieertrags pro Fläche ergibt sich bei den Langbrachesystemen aus zwei Faktoren: Dem durchschnittlichen Energieertrag während des Anbauzyklus (zu ermitteln aus der

²⁷ Ich verstehe hier Langbrachesysteme als Oberbegriff von Wanderfeldbau und – durch eine kürzere Bracheperiode unterscheidbare – Brachesysteme.

Erntemenge) multipliziert mit dem R-Wert. In der Literatur finden sich folgende Angaben über den Energieertrag:

Region	Feldfrucht	Erntemenge [kg/ha/Jahr] (Energieertrag [GJ/ha/Jahr])	Referenzen
Zentralamerika	Mais	400 – 1770 (6,36 – 28,14)	Emerson 1953, Ewell und Merrill-Sands 1987, Lambert 1996, Levasseur&Olivier 2000, Arnason et al. 1982 (zitiert in Mertz 2002)
Südamerika	Maniok	700 – 45000 (3,99 – 256,5)	Beckerman 1983, Flowers et al. 1982, Hames 1983, Jordan 1987, Ruthenberg 1980 (S.59)
Südostasien	Reis	330 – 1960 (5,18 – 30,77)	Cramb 1993, Hansen 1995 (zitiert in Mertz 2002), Wadley 1997 (zitiert in Mertz 2002), Mertz und Christensen 1997
Westafrika	Reis	820 – 1740 (12,87 – 27,32)	Wey&Traore 1998 (zitiert in Mertz 2002), Ruthenberg 1980 (S.51), nach Fotzo 1977, Lang 1978, Spencer 1975, Van Santen 1973
Westafrika	Maniok	925 – 7407 (5,27 – 42,2)	Ruthenberg 1980 (S.51) nach Rourke 1974, Thorwart und Reeves 1978

Table 1: In der Literatur angegebene Daten über die Erntemengen und den entsprechenden Energieertrag verschiedener Feldfrüchte und Regionen.

Basierend auf den Angaben in Tab.1 nehme ich somit folgenden typischen durchschnittlichen Energieertrag an :

Mais in Zentralamerika: 15 GJ/ha/Jahr
 Maniok in Südamerika: 50 GJ/ha/Jahr
 Reis in Südostasien: 20 GJ/ha/Jahr
 Reis in Westafrika: 20 GJ/ha/Jahr
 Maniok in Westafrika: 25 GJ/ha/Jahr

Der dabei etwas herausfallende Wert für die Maniok-Wanderfeldbauern Südamerikas könnte an der Dauer des Brachezyklus liegen, der beim traditionellen Wanderfeldbau dieser Region relativ hoch liegt²⁸.

Zur Berechnung des Energieertrags des Gesamtsystems, einschließlich seiner Bracheflächen, schätze ich für Zentralamerika den R-Wert auf 0,25 (Lambert 1996, Levasseur und Olivier 2000), für traditionelle Wanderfeldbauern im Amazonasgebiet auf 0,1 (Beckerman 1987) und für Südostasien sowie Westafrika auf 0,15 (Verschiedene Referenzen, s. Lauk und Gaube 2005, forthcoming).

Aus R-Wert und durchschnittlichem jährlichen Energieertrag auf der angebauten Fläche ergibt sich folgender **Energieertrag pro Fläche** für die verschiedenen Regionen und Feldfrüchte:

Mais in Zentralamerika: 3,75 GJ/ha/Jahr
Maniok im Amazonasgebiet Südamerikas: 5,0 GJ/ha/Jahr
Reis in Südostasien: 3,0 GJ/ha/Jahr
Reis in Westafrika: 3,0 GJ/ha/Jahr
Maniok in Westafrika: 3,75 GJ/ha/Jahr

Im Zusammenhang mit dem Zeiteinsatz pro Fläche bzw. Energieeinsatz pro Fläche ergibt sich daraus eine **Arbeitsproduktivität** in der Größenordnung von 8,33 – 41,67 MJ/h und eine relativ hohe **Energieeffizienz** zwischen 11,9 und 59,5 für Maniok oder Getreide anbauenden Wanderfeldbau. Für hauptsächlich Kochbananen anbauende Systeme lässt sich, aufgrund der fehlenden Ertragsdaten, keine Aussage treffen.

Bei Annahme eines durchschnittlichen Energiebedarfs von 3,5 GJ/Person/Jahr ergibt dies eine dem System entsprechende **Bevölkerungsdichte** zwischen 100-150 Personen/km². In der Literatur wird als maximale Bevölkerungsdichte für Wanderfeldbau meist eine Größe zwischen 20 und 60 Personen/km² genannt. Dass die aus den Fallbeispielen ermittelten höher liegende Bevölkerungsdichten durchaus existieren, zeigt aber eine sehr ausführliche Studie von Brown und Brookfield (1963, zitiert in Sahlins 1972), in der bei Wanderfeldbauern Neu Guineas eine Bevölkerungsdichte von durchschnittlich 101 Personen/km² festgestellt wurde und die maximale Kapazität auf 150 Personen/km² geschätzt wurde. Beim Energieertrag und den abgeleiteten Werte sollte allerdings berücksichtigt werden, dass die große Mehrzahl der hier berücksichtigten Studien sich auf tropische oder subtropische Regionen bezieht. In Trockenregionen, z.B. der Sahel-Zone oder Südafrika (z.B. Stromgaard 1989), in denen teilweise ebenso Langbrachesysteme existieren, fällt der Ertrag geringer aus.

Kolonisierung

Da Wanderfeldbausysteme durch einen Zyklus mit periodisch wechselnder Anbau- und Bracheperiode charakterisiert sind, muss zur korrekten Berechnung der HANPP ein gesamter Brache-Anbau-Zyklus betrachtet werden. Dabei kann die gesamte HANPP des aus Anbau- und Bracheperiode bestehenden Wanderfeldbausystems, im folgenden als HANPP_Σ bezeichnet, in drei Komponenten aufgeteilt werden:

1.) *Während der Anbauperiode angeeignete ANPP: HANPP_A*

Dieser im folgenden als HANPP_A bezeichnete Teil der HANPP_Σ umfasst jenen Teil der HANPP des Gesamtsystems, der durch 1.) die während der Anbauperiode relativ zur ANPP₀ reduzierte ANPP der Kulturpflanzen, und 2.) die bei der Ernte entnommene Biomasse zustande kommt. Die HANPP_A entspricht ganz der HANPP eines permanenten Ackerbausystems und kann für Wanderfeldbausysteme formuliert werden durch

²⁸ Die Dauer, ab der eine verkürzte Brache einen Ernterückgang bewirkt, ist allerdings umstritten (siehe dazu z.B. Mertz 2002).

$$HANPP_A = m \cdot ANPP_0 \cdot \sum_{i=1}^m [(ANPP_{akt_i} - ANPP_{e_i})]$$

- Mit **HANPP_A**: Durch Ersatz der potentiellen Vegetation mit Kulturpflanzen und geerntete Biomasse angeeignete ANPP während eines Anbau-Brache-Zyklus.
m: Anzahl der Anbaujahre innerhalb eines Anbau-Brache-Zyklus.
ANPP₀: Jährliche ANPP der potentiellen natürlichen Vegetation
ANPP_{akt i}: Aktuelle ANPP der Kulturpflanzen für jedes Anbaujahr i von 1 bis m.
ANPP_{e i}: Durch die Ernte entnommene Biomasse für jedes Anbaujahr i von 1 bis m

Sämtliche Parameter dieser und der beiden weiteren Komponenten beziehen sich dabei auf einen Anbauplot während eines gesamten Anbau-Brache-Zyklus, bei dem m Jahre Anbau und n Jahre Sukzession durchlaufen werden.

2.) *HANPP durch die Differenz der ANPP_{akt} der Sukzessionsvegetation zur ANPP₀ der potentiellen Vegetation auf der Brachefläche: HANPP_S*

Dieser im folgenden als HANPP_S bezeichnete Teil der HANPP_Σ hängt von der Vegetation ab, die auf der Brachefläche wächst und ergibt sich durch die aufsummierten Differenzen zwischen der ANPP der Brachevegetation und der ANPP der potentiellen natürlichen Vegetation in allen Brachejahren innerhalb eines Anbau-Brache-Zyklus. Formulieren lässt sich dieser Teil der HANPP durch

$$HANPP_S = n \cdot ANPP_0 - \sum_{k=1}^n ANPP_{akt_k}$$

- Mit **HANPP_S**: Durch die Differenz zwischen ANPP von Sukzessions- und potentieller Vegetation angeeignete ANPP während eines Anbau-Brache-Zyklus.
n: Anzahl der Brachejahre n innerhalb eines Anbau-Brache-Zyklus.
ANPP₀: Jährliche ANPP der potentiellen natürlichen Vegetation.
ANPP_{akt k}: ANPP_{akt} der Brachevegetation für jedes Brachejahr k.

3.) *HANPP durch Abbrennen der akkumulierten ANPP_{akt} der Sekundärvegetation: HANPP_C*

Dieser im folgenden als HANPP_C²⁹ bezeichnete Teil der HANPP_Σ ergibt sich aus der (akkumulierten) ANPP, die vor der Anbauperiode abgebrannt wird. Durch das bei Wanderfeldbausystemen übliche abbrennen³⁰ der Brachevegetation zu Beginn der Anbauperiode wird ein Teil des Standing Crop, welcher die im Laufe der Bracheperiode akkumulierte ANPP darstellt, verbrannt. Da nur ein Teil des Standing Crop verbrennt, während ein anderer Teil als Totholz weiterhin den (nichtmenschlichen) heterotrophen Organismen zur Verfügung steht, ist hier ein weiterer, als Combustion Factor bezeichneter Faktor einzuführen, der in Abhängigkeit von Vegetation und Brandbedingungen (z.B. Jahreszeit) jenen Anteil der Biomasse angibt, der tatsächlich verbrennt. Die HANPP_C eines Anbau-Brache-Zyklus kann somit formuliert werden durch

$$HANPP_C = CF \cdot B$$

- Mit **HANPP_C**: Durch Verbrennung der Sukzessionsvegetation angeeignete ANPP (einmalig während eines Anbau-Brache-Zyklus).
CF: Combustion Factor (Verbrennungsfaktor) für die entsprechende Vegetation.

²⁹ Das C bezieht sich dabei auf das englische Wort für Verbrennung oder Abbrand, Combustion.

³⁰ Es existieren auch Wanderfeldbausysteme, bei denen die Brachevegetation nicht verbrannt wird, insbesondere in den kolumbianische (Grigg 1974) und venezuelanischen Anden (Sarmiento et al. 1993) scheint es eher Praxis zu sein, die Vegetation verrotten zu lassen. Da dies jedoch global eher die Ausnahme darstellt, wird dem hier nicht weiter nachgegangen.

B: Biomasse³¹ (Standing Crop) der Sukzessionsvegetation vor dem Abbrennen.

Die $HANPP_{\Sigma}$ des gesamten Wanderfeldbausystems, während eines Anbau-Brache-Zyklus ergibt sich schließlich aus der Summe dieser drei Komponenten:

$$HANPP_{\Sigma} = HANPP_A + HANPP_S + HANPP_C$$

Für die relative HANPP des Wanderfeldbausystems ($HANPP_{\%}$) muss schließlich die absolute $HANPP_{\Sigma}$, die sich hier auf einen Anbauplot während eines gesamten Anbau-Brache-Zyklus bezieht, in Bezug gesetzt werden zu der entsprechenden, also ebenfalls sich auf einen Anbauplot und einen Anbau-Brache-Zyklus beziehenden, $ANPP_0$. Die $HANPP_{\%}$ kann somit formuliert werden durch

$$HANPP_{\%} = \frac{HANPP_A + HANPP_S + HANPP_C}{(n+m) \cdot ANPP_0}$$

Mit **n:** Anzahl der Brachejahre
m: Anzahl der Anbaujahre

Im folgenden wird für ein als typisch angenommenes Wanderfeldbausystem die $HANPP_{\%}$ auf oben beschriebene Weise berechnet. Für die einzelnen dafür relevanten Parameter werden folgende Werte angenommen³²:

Die potentielle natürliche Vegetation betreffend:

$$ANPP_0 = 205,9 \text{ GJ/ha/Jahr (11,5 Mg/ha/Jahr)}$$

Die Anbauperiode betreffend:

$$m = 2$$

$$ANPP_{akt1} = 35,1 \text{ GJ/ha/Jahr (5,4 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt2} = 27,2 \text{ GJ/ha/Jahr (4,0 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{e1} = 8,5 \text{ GJ/ha/Jahr (1,5 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{e2} = 6,3 \text{ GJ/ha/Jahr (1,1 Mg/ha/Jahr)}$$

Die Bracheperiode betreffend:

$$n = 8$$

$$ANPP_{akt1} = 130,7 \text{ GJ/ha/Jahr (7,3 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt2} = 211,2 \text{ GJ/ha/Jahr (11,8 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt3} = 252,4 \text{ GJ/ha/Jahr (14,1 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt4} = 291,8 \text{ GJ/ha/Jahr (16,3 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt5} = 241,7 \text{ GJ/ha/Jahr (13,5 Mg/ha/Jahr)}$$

$$ANPP_{akt6-8} = 205,9 \text{ GJ/ha/Jahr (11,5 Mg/ha/Jahr)}$$

Das Abbrennen der Vegetation betreffend:

$$B = 895 \text{ GJ/ha (50 Mg/ha)}$$

$$CF = 0,6$$

Aus diesen angenommenen Werten ergibt sich für die verschiedenen, bereits erläuterten HANPP-Komponenten:

$$1.) HANPP_A = 364,3 \text{ GJ/ha/Jahr}$$

³¹ Genauer wäre hier von dem in der Literatur als „Fuel Load“ bezeichneten Faktor zu sprechen, der jenen Teil der Biomasse bezeichnet, der in die Verbrennung eingeht. Da beim Wanderfeldbau jedoch die Bäume vor dem Abbrennen gefällt werden, entspricht hier der Fuel Load der gesamten Biomasse (bei großflächigen Savannenbränden z.B. werden die Bäume nicht zum Fuel Load gerechnet).

³² Die Grundlage dieser als typisch angenommenen Werte wird in Lauk und Gaube (2005, forthcoming) weiter ausgeführt.

- 2.) $HANPP_S = -98,3 \text{ GJ/ha/Jahr}$
 3.) $HANPP_C = 537 \text{ GJ/ha/Jahr}$

Daraus ergibt sich eine $HANPP_\Sigma$ über den gesamten, hier 10 Jahre dauernden Anbau-Brache-Zyklus von 803 GJ/ha/Jahr . In Relation zur summierten $ANPP_0$ während des entsprechenden Zeitintervalls ergibt sich damit die $HANPP_\%$ des hier als typisch angenommenen Wanderfeldbausystems:

$$HANPP_\% = 803 \text{ GJ/ha/Jahr} / 2059 \text{ GJ/ha/Jahr} = 39,0 \%$$

Die negative $HANPP_S$ kann dabei dadurch entstehen, dass die $ANPP_{akt}$ der Sukzessionsvegetation schon im ersten Jahr über 60% der $ANPP_0$ beträgt, während sie in den darauf folgenden Jahren sogar darüber hinaus steigt. Die Entwicklung der $ANPP_{akt}$ der Sukzessionsvegetation ist somit einer der kritischen Parameter für die Berechnung der $HANPP$ von Wanderfeldbausystemen und der hier angenommene Anstieg über die $ANPP_0$ hinaus in den Sukzessionsjahren 2-5 ist dabei keineswegs unumstritten. Doch trotz diesem und anderen Unsicherheitsfaktoren dürfte eine $HANPP_\%$ von ca. einem Drittel eine adäquate erste Schätzung für heute typische Wanderfeldbausysteme darstellen.

Zeiteinsatz

Dass der Wanderfeldbau von Kulturanthropologen stark beachtet wurde, bringt den Vorteil mit sich, dass vergleichsweise viele Angaben zum Zeiteinsatz zu finden sind.

Für Gruppen in Venezuela gibt Watters (1971, S.59) einen Zeiteinsatz pro Fläche von 520 – 688 bzw. 256 – 280 h/ha³³ an, abhängig von der Zeit, die das « Clearing » erfordert. Dessen Aufwand ist im wesentlichen davon abhängig, in welchem Stadium der Sukzession das für den Anbau verwendete Land sich befindet.

Für verschiedene **Reis anbauende Wanderfeldbauern** Westafrikas gibt Ruthenberg (1980, S.51, nach Spencer 1975, Van Santen 1973, Lang 1978, Fotzo 1977) einen Arbeitseinsatz zwischen 770 und 1691 h/ha an. Den großen Unterschied zu den von Watters aufgeführten venezuelanischen Beispielen erklärt er im wesentlichen mit der Benutzung von Motorsägen zum Fällen der Bäume und des infolgedessen für diesen Arbeitsschritt weitaus geringeren Arbeitsaufwandes³⁴. Bei den angegebenen Erntemengen ergibt sich daraus eine Arbeitsproduktivität zwischen 46,1 und 139,9 h/GJ. Ein kolumbianisches, Reis anbauendes System (Ruthenberg 1980, S.56 nach Arnhold&Lindemann 1974) setzt 1980 h/ha ein, mit einer Arbeitsproduktivität von 158 h/GJ.

Für ein hauptsächlich **Maniok anbauendes Wanderfeldbau-System** in Ghana (Ruthenberg 1980, S.53 nach Rourke 1974) betrug der ermittelte Arbeitseinsatz für die vierjährige Anbauphase insgesamt 3780 Stunden/ha, also im jährlichen Mittel 945 h/ha/Jahr. Bei näherer Betrachtung dieses Beispiels wird deutlich, dass der Zeiteinsatz sehr ungleich über die vier Jahre verteilt ist: Im ersten Jahr werden 1429, im zweiten 1210, im dritten 882 und im vierten Anbaujahr 259 Stunden/ha eingesetzt. Die Arbeitsproduktivität beträgt damit 38,4 h/GJ im Mittel über die vier Anbaujahre. Bei einem ebenfalls hauptsächlich Maniok anbauenden Fallbeispiel in Brasilien (Ruthenberg 1980, S.53) ergibt sich ein geringerer Arbeitseinsatz von 734 h/ha/Jahr und eine Arbeitsproduktivität von nur 10,3 h/GJ, der sich durch den ungewöhnlich hohen Ertrag des Manioks (10000 kg/Jahr) erklärt.

Beckerman (1987, S.84) gibt, basierend auf verschiedenen Fallbeispielen, einen Zeiteinsatz pro Fläche zwischen 188 und 2600 h/ha/Jahr für traditionelle Wanderfeldbauern in Amazonien an. Die sehr niedrigen Werte (188 bzw. 327 h/ha/Jahr) gelten dabei für die Kochbananen anbauenden Wanderfeldbauern, für Maniok-Felder gelten die Werte oberhalb von 589 h/ha/Jahr.

³³ Es werden von Watters nur Arbeitstage angegeben, für die Umrechnung in Stunden wurde eine Arbeitszeit von 8 Stunden pro Tag angenommen. Unter anderem angesichts der sehr unterschiedlich langen Arbeitstage bei Wanderfeldbauern (s. z.B. Sahlins 1972) muss allerdings diese Umrechnung mit Vorbehalt behandelt werden.

³⁴ Die venezuelanischen Beispiele sind deshalb eher nicht typisch für ein System, bei dem wir den ausschliesslichen Einsatz menschlicher Arbeitsenergie annehmen.

Die Daten in Ruthenberg 1980, Beckerman 1987 und Watters 1971 legen demnach einen typischen Arbeitseinsatz von 1200 h/ha/Jahr für Maniok und Reis und 250 h/ha/Jahr für Kochbananen, *bezogen auf die angebaute Fläche*, nahe. Als Arbeitsproduktivität ergibt sich aus diesem Wert und den Erntemengen ein typischer Wert von ungefähr 80 h/GJ bei Reis- und Kochbananenbau³⁵ und möglicherweise eine im Vergleich dazu eher höher liegende Produktivität bei Maniok-Wanderfeldbauern von 30 h/GJ. Es fällt dabei auf, dass diese Werte nicht weit von jenen für den permanenten Subsistenzackerbau entfernt liegen.

Alle obigen Angaben sind allerdings ausschließlich auf die momentan angebaute Fläche bezogen. Für den Arbeitseinsatz innerhalb des Gesamtsystems muss wieder der R-Wert, das heißt das Verhältnis zwischen Brache- und Anbauperiode mit in Betracht gezogen werden. Bei Annahme eines R-Wertes zwischen 0,10 und 0,30 ergibt sich daraus ein totaler **Zeiteinsatz pro Fläche** von 120-360 h/ha/Jahr für Getreide- und Maniokanbauende Langbrachesysteme und 25-75 h/ha/Jahr für hauptsächlich Kochbananen anbauende Systeme, mit entsprechend geringerem Ertrag.

Aus der ermittelten Arbeitsproduktivität von 8,33 – 41,67 MJ/h ergibt sich außerdem ein – erstaunlich niedriger – **mittlerer Zeiteinsatz pro Person** in der Größenordnung von 0h14min - 1h09min.

Damit verbunden sind jeweils verschiedene Werte sowohl für Energieertrag und – mit einem aufgrund des zusätzlich zu berücksichtigenden Sukzessionsmusters noch komplexeren Zusammenhangs – HANPP. Mit steigendem Zeit- (und entsprechend Energie-)Einsatz steigt, bis zu einer unteren Brachezeit, bei welcher der Boden nicht mehr genügend Zeit zur Regeneration hat, der Energieertrag linear mit, während die HANPP aus weiter oben erläuterten Gründen überproportional steigt.

³⁵ Die Input/Output-Ratio für Maniok auf der einen und Kochbananen anbauende Swiddener auf der anderen Seite in Ruthenberg (1980, S.84, Tab.3-8) deuten darauf hin, dass der sehr niedrig liegende Arbeitseinsatz für den Anbau von Kochbananen mit einem sehr geringen Ertrag verbunden ist und sich somit eine ähnliche Arbeitsproduktivität ergibt.

Intensiver Subsistenzackerbau

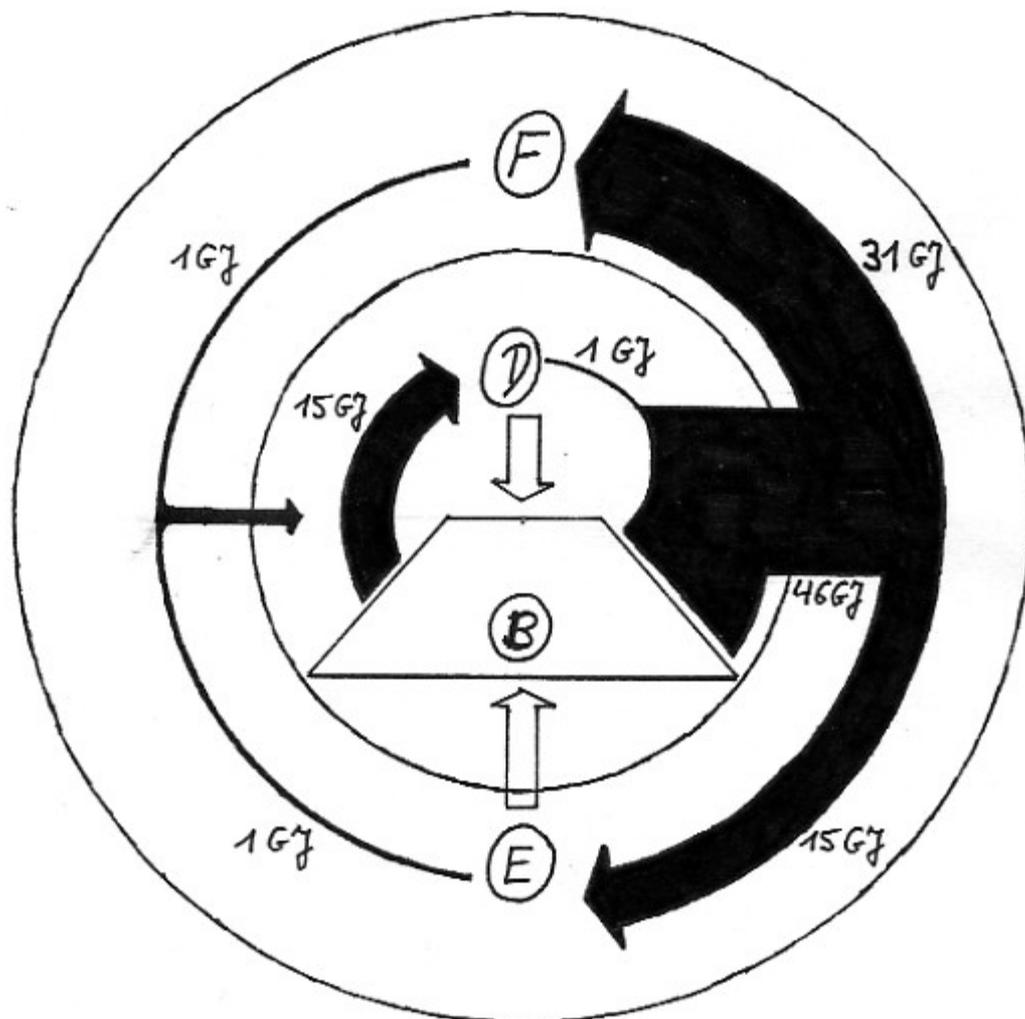


Abbildung 6: Energieflussmodell eines typischen Systems des Intensiven Subsistenzackerbaus

3.4.2.4 Intensiver Subsistenzackerbau

Im Vergleich zu Langbrachesystemen stellt der Intensive Subsistenzackerbau vor allem eine weitere Intensivierungsstufe dar. Das heißt, auf der gleichen Fläche wird, wie wir sehen werden mit mehr Zeiteinsatz, ein höherer nutzbarer Energieertrag erzeugt. Im wesentlichen wird dies durch die Verkürzung der Bracheperiode ermöglicht. Die Abgrenzung zum Wanderfeldbau und zur Brachewirtschaft erfolgt damit über das Verhältnis zwischen Anbau- und Bracheperiode, die quantitative Grenze ist jedoch prinzipiell willkürlich. In dieser Klassifikation werden zum Intensiven Subsistenzackerbau alle Systeme gerechnet, bei denen das Verhältnis Anbau:Brache gleich oder größer 1:1 ist. Die traditionelle Dreifelderwirtschaft Europas wäre damit bereits dem Subsistenzackerbau (und nicht mehr den Langbrachesystemen) zuzurechnen.

Neben der höheren Intensität unterscheidet sich der Intensive Subsistenzackerbau von den Langbrachesystemen durch die Integration von Nutztieren in das Gesamtsystem. Diese dienen als Lieferanten mechanischer Energie zur Bearbeitung des Bodens, als Verwerter der für den Menschen nicht verwertbaren, beim Ackerbau anfallenden Pflanzenteile wie dem Stroh, sowie als Überträger von Nährstoffen von Brach- und Weide- auf Ackerland. Die Notwendigkeit der Nutzung von Tieren ergibt sich auch daraus, dass der Boden durch die Verkürzung der Bracheperiode potentiell ein Nährstoffdefizit aufweist. Die bei den Langbrachesystemen durch eine ausreichend lange Brachezeit wiederhergestellte Fruchtbarkeit des Bodens wird beim Intensiven Subsistenzackerbau teilweise durch die Nutzung von Tieren gewährleistet, welche Ernterückstände wie Stroh in fruchtbaren Dung umwandeln und Nährstoffe von Wald und Weide auf Ackerland übertragen. Eine zunehmende Nutzungsintensität des Systems durch den Menschen macht somit einen immer dichter geschlossenen und Organismen jenseits des Agroökosystems ausschließenden Nährstoffkreislauf notwendig.

Die Funktion der Tiere im Gesamtsystem wird – auch im Vergleich zu industriellen Tierproduktionssystemen – in Box 2 näher erläutert. Die folgende Betrachtung der sozial-ökologischen Charakteristika beschränkt sich auf das Subsystem des Ackerlandes innerhalb der Systeme des Intensiven Subsistenzackerbaus³⁶.

Energieeinsatz

Beim Permanenten Subsistenzackerbau im hier definierten Sinne wird keinerlei Energie eingesetzt, welche von außerhalb der Produktionseinheit stammt. Verglichen mit den bisher definierten und besprochenen Systemen kommt allerdings ein für den Energieeinsatz ganz wesentliches Kompartiment *innerhalb* der Produktionseinheit hinzu: Die Tiere, welche nun nicht mehr nur, wie bei der Traditionellen Weide, einen Teil der Energieeinnahmen (in Form von Nahrungs- und Transportenergie) liefern, sondern zusätzlich oder ausschließlich einen Teil des Energieeinsatzes ausmachen, das heißt, einen Teil der Energie liefern, die zur Umgestaltung des Agroökosystems benötigt wird. Die gelieferte Energie besteht dabei im wesentlichen aus dem Arbeitseinsatz, das heißt mechanischer Energie, oft zur Bearbeitung des Bodens, sowie den durch den Tierdung gelieferten Nährstoffen. Wie schon erwähnt, wird allerdings im folgenden auf das zentrale Kompartiment beim Intensiven Subsistenzackerbau, das Ackerland, fokussiert, während das Kompartiment der Tiere, gemeinsam und im Vergleich mit der Funktion der Tiere in anderen Systemen, gesondert und differenziert in Box 2 besprochen wird.

Bei den untersuchten Fallbeispielen des Permanenten Ackerbaus liegt der gesamte **Energieeinsatz pro Fläche** zwischen 0,95 und 3,39 GJ/ha/Jahr, mit einem Mittelwert von 2,72 GJ/ha/Jahr. Lediglich die Energie berücksichtigt, welche auf dem Einsatz von Tieren oder Menschen beruht, ergibt sich ein Energieeinsatz zwischen 0,44 und 3,97 GJ/ha/Jahr, mit einem Mittel von 1,64 GJ/ha/Jahr. Der gesamte Energieeinsatz liegt höher, weil in fast allen Fallbeispielen bereits – wenngleich in geringem Ausmaß – industrielle Werkzeuge wie synthetische Düngemittel und Pestizide, eingesetzt werden. Die Varianz davon ist teilweise durch die in sämtlichen Fällen vorhandene, jedoch unterschiedlich starke Nutzung

³⁶ Die abgegrenzte Besprechung der Funktion der Tiere erfolgt vor allem aufgrund der in den meisten Fallstudien fehlenden Besprechung der (vorhandenen) Tiersubsystems.

von Arbeitstieren zu erklären. Zudem ergibt sich durch die teilweise nicht angegebenen, wahrscheinlich aber unterschiedlichen Umrechnungsfaktoren für die Arbeitsenergie der Tiere ein methodisch-systematischer Fehler. Zieht man den Energieeinsatz der Tiere ab und betrachtet somit nur die von Menschenhand eingesetzte Energie, so kommen wir zu einem Einsatz zwischen 0,36 und 1,85 GJ/ha/Jahr, mit einem Mittel von 0,93 GJ/ha/Jahr.

Energieertrag

Der **Energieertrag pro Fläche**³⁷ liegt bei den untersuchten und unter dem permanenten Ackerbau eingeordneten Fallbeispielen zwischen 6,37 und 56,67 GJ/ha/Jahr, mit einem Mittel von 27,64 GJ/ha/Jahr. Über den gesamten Energieertrag, einschließlich der als Tierfutter, Brenn- oder Bauholz genutzten Komponenten kann keine allgemeine Aussage für alle Fallbeispiele getroffen werden, da bei manchen der berücksichtigten Agrarsysteme die Angaben dazu unsicher sind oder ganz fehlen. In den Fällen „Nepal 1“ bis „Nepal 4“, für welche entsprechende Angaben vorhanden sind, werden die gesamten pflanzlichen Nebenprodukte (hauptsächlich Stroh), welche zwischen 53 und 62% des gesamten Energieertrags ausmachen, als Tierfutter genutzt. Auch bei den kenianischen Agrarsystemen wird teilweise das Maisstroh verfüttert (Franzel, Wambugu und Tuwai 2003), wenngleich darauf von De Jager et al. (2001) nicht eingegangen wird. Auffällig ist, dass bei dem Fallbeispiel des Agrarsystems von Honduras die Nebenprodukte nicht weiter genutzt werden, was auch bedeutet, dass hier noch Potential zur weiteren Steigerung des Ertrags vorhanden wäre.

Fragen wir nach den Ursachen der Varianz im Ertrag, so legen die betrachteten Fallbeispiele nahe, dass diese innerhalb einer Klasse in erster Linie auf das natürliche Potential einer Region zurückzuführen sind. So liegen die beiden Systeme mit dem geringsten Ertrag, „Kenia 1“ und „Kenia 2“, im Savannenbiom, welches unter anderem durch nährstoffarme Böden und einen relativ geringen Jahresniederschlag nur eine geringe ANPP₀ von ca. 96,1 GJ/ha/Jahr aufweist. Unter den vier Fallbeispielen mit dem höchsten Energieertrag sind dagegen die drei mit dem am höchsten geschätzten ANPP₀-Wert zu finden: 275,2 GJ/ha/Jahr für „Philippinen 4“, 233,0 GJ/ha/Jahr für „Honduras 1“, sowie 275,2 GJ/ha/Jahr für „Philippinen 3“. Jedoch zeigt die keinesfalls regelmäßig mit dem Energieertrag steigende ANPP₀ auch, dass das natürliche Potential zwar einen wichtigen, nicht jedoch den einzigen Faktor darstellt. Besonders auffällig ist beispielsweise das Fallbeispiel „Nepal 3“, das trotz einer sehr hohen ANPP₀ von geschätzten 275,2 GJ/ha/Jahr, abgesehen von den beiden kenianischen Fallbeispielen, am unteren Ende des Energieertrags steht. Zum einen wurde hier möglicherweise die ANPP₀ überschätzt, zum anderen könnte der in diesem System nahezu bei 0 liegende Einsatz industrieller Werkzeuge dazu beitragen. Alle anderen Fallbeispiele weisen schon einen – wenn auch sehr geringen – Einsatz von Fossilenergie auf, stehen also wahrscheinlich am Anfang der Transition zu einem industriellen Agrarsystem. Entsprechend steigt der (externe) Fossilenergieeinsatz mit zunehmendem Energieertrag: Die vier Fallbeispiele mit dem geringsten Energieertrag weisen einen externen Energieeinsatz zwischen 0,14 und 0,51 GJ/ha/Jahr auf, die vier Fallbeispiele mit dem höchsten Energieertrag setzen schon zwischen 1,59 und 2,10 GJ/ha/Jahr an externer Energie ein.

Für die **Arbeitsproduktivität** ergibt sich daraus ein Wert zwischen 5,52 (für „Kenia 2“) und 83,3 MJ/h (für „Philippinen 3“). Das heißt: Um die selbe Menge an Energie zu erzeugen, muss – in den hier verwendeten, spezifischen Fallbeispielen – der kenianische Bauer das 15fache der Zeit des philippinischen Bauers aufwenden. Sicher spielt auch hier die mit zunehmendem Einsatz moderner Werkzeuge und damit aus externen Quellen stammende Energie eine wichtige Rolle. Am bedeutendsten scheint für diese Größe jedoch wiederum die ANPP₀, das heißt das natürliche Potential. Während die vier Fallbeispiele mit der höchsten Arbeitsproduktivität, „Philippinen 3“, „Philippinen 4“, „Indien 4“ und „Honduras 1“, allesamt in tropischen Regionen liegen, die beim Einsatz entsprechender Techniken ein hohes Ertragspotential bieten, sind die Fallbeispiele mit der relativ geringsten Arbeitsproduktivität, „Kenia 2“, „Kenia 1“, „Nepal 3“, „Nepal 4“ und „Nepal 1“ entweder

³⁷ Wie bei allen anderen Systemen wird hierunter in der Diskussion der Einheiten ausschließlich der essbare Anteil verstanden. Der Energieertrag der vor allem im Intensiven Subsistenzackerbau durch die Tiere genutzten pflanzlichen Nebenprodukte findet in Box 2 über die Funktion von Tieren in Agrarsystemen Erwähnung.

in sehr trockenen, oder durch die große Höhe sehr kalten Gebieten mit kurzer Vegetationsperiode zu finden.

Anders als bei den Sammelwirtschaften und den Langbrachesystemen ist beim Intensiven Subsistenzackerbau die Energieeffizienz nicht unmittelbar an die Arbeitsproduktivität gekoppelt. Der Grund hierfür liegt im Einsatz von Tieren begründet. Durch Arbeitstiere wird bei manchen Systemen ein bestimmter Anteil der Gesamtfläche genutzt und damit zusätzliche Antriebsenergie zum Umgestalten der Fläche erzeugt. Für die Fallbeispiel ergibt sich eine **Energieeffizienz** zwischen 3,73 (für „Nepal 1“) und 28,33 (für „Indien 3“).

Die den untersuchten Fallbeispielen entsprechende **maximale Bevölkerungsdichte** liegt zwischen 180 Personen/km² für das Fallbeispiel mit dem geringsten Ertrag („Kenia 2“) und 1630 Personen/km² für das Fallbeispiel mit dem höchsten Ertrag („Philippinen 3“). Berücksichtigen wir den Ertrag der bei beiden Systemen integrierten – wenngleich beim kenianischen Fallbeispiel nicht erwähnten – Tiere, so steigert sich die erreichbare Bevölkerungsdichte nur unwesentlich. Die Funktion der Tiere ist hier in erster Linie die Rezyklisierung der in den pflanzlichen Nebenprodukten enthaltenen Nährstoffen. Es zeigt sich hier auch, dass, bei vergleichbarem Intensivierungsgrad der Ertrag und damit die dem System entsprechende, maximale Bevölkerungsdichte ganz erheblich schwanken kann, in diesem Fall nahezu um den Faktor 10.

Kolonisierung

Die HANPP%-Schätzung für die betrachteten Fallbeispiele ist in der Regel mit einer relativ großen Unsicherheit behaftet (zur Diskussion hierzu, siehe Abschnitt 3.3.3.). Trotzdem lassen sich Größenordnungen und Tendenzen feststellen. Nehmen wir „Kenia 1“, „Kenia 2“ und „Honduras 1“ in der Betrachtung zunächst aus, so liegt die **HANPP%** bei den Fallbeispielen zwischen 61,6% und 98,8%. Die extrem hohen HANPP%-Werte von 98,1 bis 98,8 % für die Fallbeispiele „Nepal 2“, „Nepal 3“ und „Nepal 4“ ergeben sich dadurch, dass sämtliche pflanzliche Nebenprodukte an die Nutztiere verfüttert werden. Aus den übrigen Artikeln geht nicht immer klar hervor, ob und wie viel der Nebenprodukte an die Tiere gehen, die Zahlen für die HANPP% sind in diesen Fällen deshalb als Mindestwerte zu betrachten. Für den relativ niedrigen HANPP%-Wert von 42,6% für „Honduras 1“ sind dagegen die Tiere mit berücksichtigt, dieses Agrarsystem fällt somit, verglichen mit den anderen in Ostafrika bzw. Südostasien liegenden Fallbeispielen, etwas aus dem Rahmen. Bei diesem Agrarsystem, welches insgesamt eine – für den Intensiven Subsistenzackerbau relativ große – Fläche von 6 ha umfasst, ist ein Hektar ausschließlich für die Weide des Ochsen reserviert. In diesem Fall werden also nicht, wie bei den anderen Systemen des Intensiven Subsistenzackerbaus, pflanzliche Nebenprodukte an die Tiere verfüttert, sondern ein Teil der Fläche als Weide für das Arbeitstier zurückgestellt. Insgesamt kann man das Intervall der HANPP% beim Intensiven Subsistenzackerbau auf 40 bis 100% beziffern.

Zeitverwendung

Von allen hier abgegrenzten Klassen ist der Intensive Subsistenzackerbau jene mit dem höchsten Einsatz menschlicher Zeit, insbesondere auf die Fläche bezogen, aber auch im Verhältnis zum Energieertrag. Dieser hohe Aufwand lässt sich dadurch erklären, dass ein möglichst großer Anteil der auf einer bestimmten Fläche akkumulierten Energie durch den Menschen verwertet werden muss. Dies wird ermöglicht durch die Verfütterung der Nebenprodukte an Tiere, des weiteren der maximalen Ausnutzung der einfallenden Sonnenenergie durch eine optimale Dichte der Pflanzen, einer möglichst hohen Wiederverwertung der in den Exkrementen enthaltenen anorganischen Pflanzennährstoffen³⁸, sowie aufwendigen Bewässerungstechniken. All diese Maßnahmen, durch welche eine hohe

³⁸ Bei sehr intensiven Formen, z.B. in einigen Regionen Chinas, werden auch menschliche Exkremente, der sogenannte „Night Soil“ wieder auf die Felder aufgebracht.

Bevölkerungsdichte möglich wird, erfordern einen enormen Aufwand, welcher wiederum nur durch eine hohe Anzahl von Personen geleistet werden kann.

Bevor der Zeiteinsatz für die verwendeten Fallbeispiele quantitativ betrachtet wird, ist wiederum zu sagen, dass mehrere mögliche Fehlerquellen vorhanden, somit die Zahlen mit Vorbehalt zu betrachten sind und in erster Linie eine Größenordnung angeben. Bei den Fallbeispielen ergab sich für das Ackerland ein **Zeiteinsatz pro Fläche** von 518 h/ha/Jahr (für „Indien 3“) bis 1200 h/ha/Jahr (für „Nepal 1“), mit einem Mittel von 875 h/ha/Jahr. Dies deutet darauf hin, dass man beim Intensiven Ackerbau von einem typischen Zeiteinsatz von ca. 1000 h/ha/Jahr sprechen kann, dabei berücksichtigend, dass durch den – wenngleich geringen – Einsatz moderner Werkzeuge bei manchen der Fallbeispiele der Zeitaufwand schon gesunken sein mag. Den niedrigsten Zeiteinsatz pro Fläche zeigt das System „Nepal 2“, was mit hoher Sicherheit auf den Einsatz von mehreren Diesel- und Elektropumpen zu Bewässerungszwecken zurückzuführen ist. Die vergleichbaren nepalesischen Agrarsysteme „Nepal 3“ und „Nepal 4“, welche von Rijal, Bansal und Grover (1991) in ihrem Artikel mit ersterem verglichen werden, besitzen keine solche Bewässerungspumpen, entsprechend liegt der Einsatz externer Energie für „Nepal 2“ bei – immer noch geringen – 1,99 GJ/ha/Jahr, während bei „Nepal 3“ 0,03 GJ/ha/Jahr und „Nepal 4“ 0,51 GJ/ha/Jahr verwendet werden. Auch die übrigen Zahlen deuten darauf hin, dass für die Varianz des Zeiteinsatzes pro Fläche der Einsatz moderner Werkzeuge, und damit der Einsatz externer Energie, zumindest ein wesentlicher Faktor ist.

Für den **mittleren Zeiteinsatz pro Person** ergibt sich ein Wert zwischen nur 0h07min (für „Philippinen 3“) und 1h44min (für „Kenia 2“). Bei diesen Werten sollte allerdings mit berücksichtigt werden, dass ein Großteil der Fallbeispiele schon mehr oder weniger weit in den Markt integriert sind, somit der mittlere Zeiteinsatz pro Person nur eine theoretische Konstruktion darstellt, die dazu dient, den Zeiteinsatz der verschiedenen Fallbeispiele in anschaulicher Weise zu vergleichen.

Extensiv-Industrieller Ackerbau

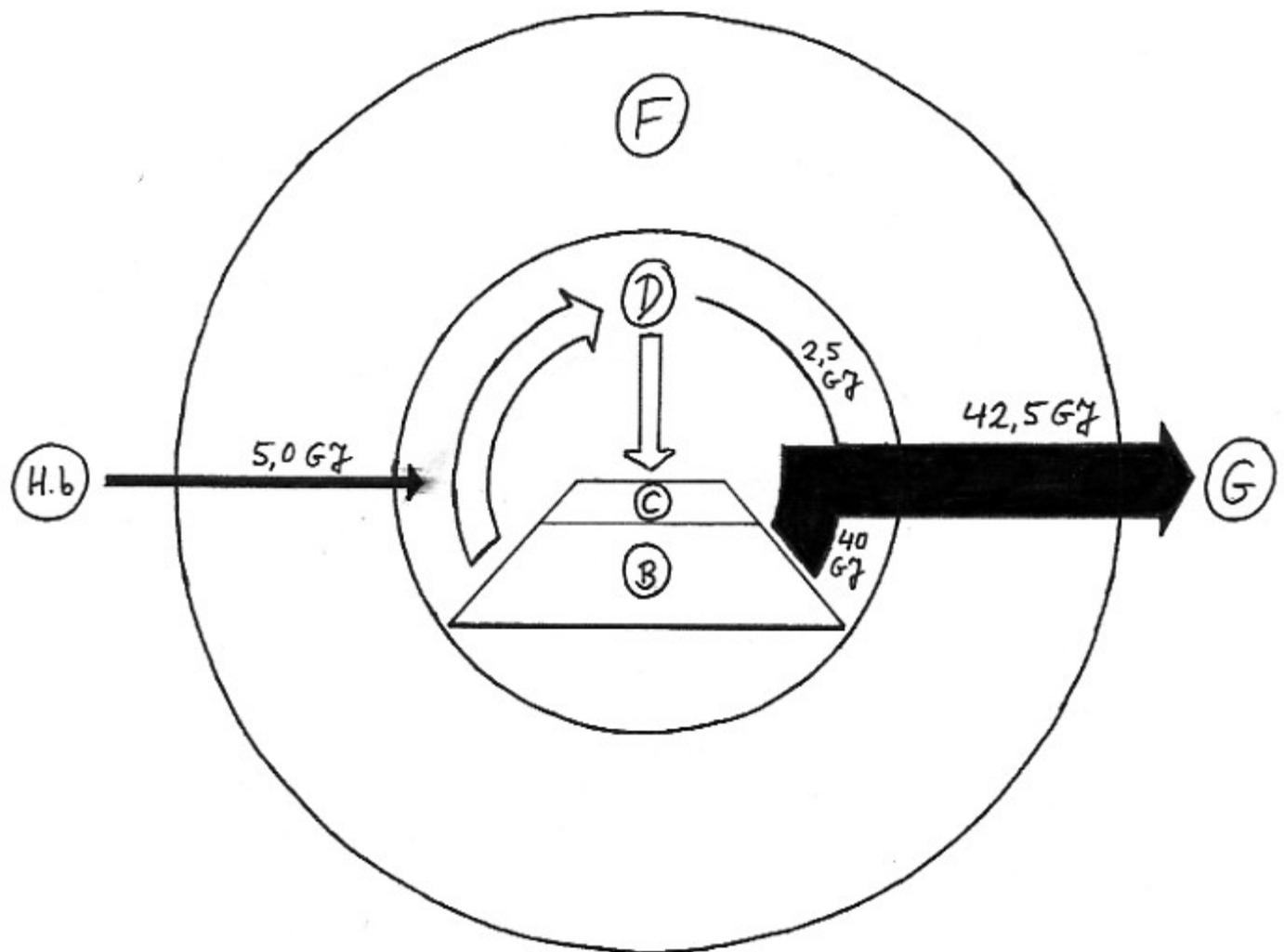


Abbildung 7: Energieflussmodell eines typischen Systems des Extensiv-Industriellen Ackerbaus

Intensiv-Industrieller Ackerbau

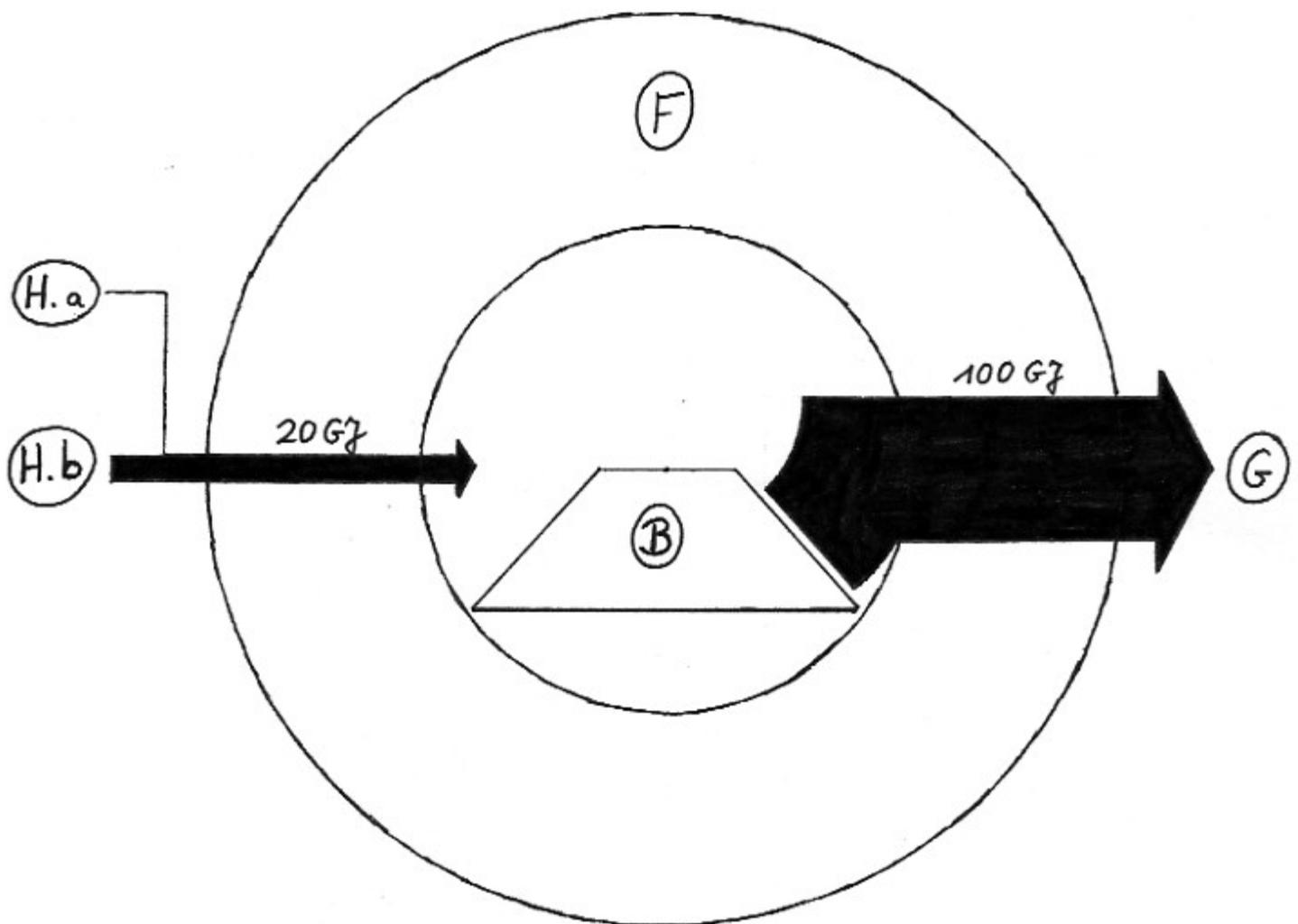


Abbildung 8: Energieflussmodell eines typischen Systems des Intensiv-Industriellen Ackerbaus

Gewächshausanbau

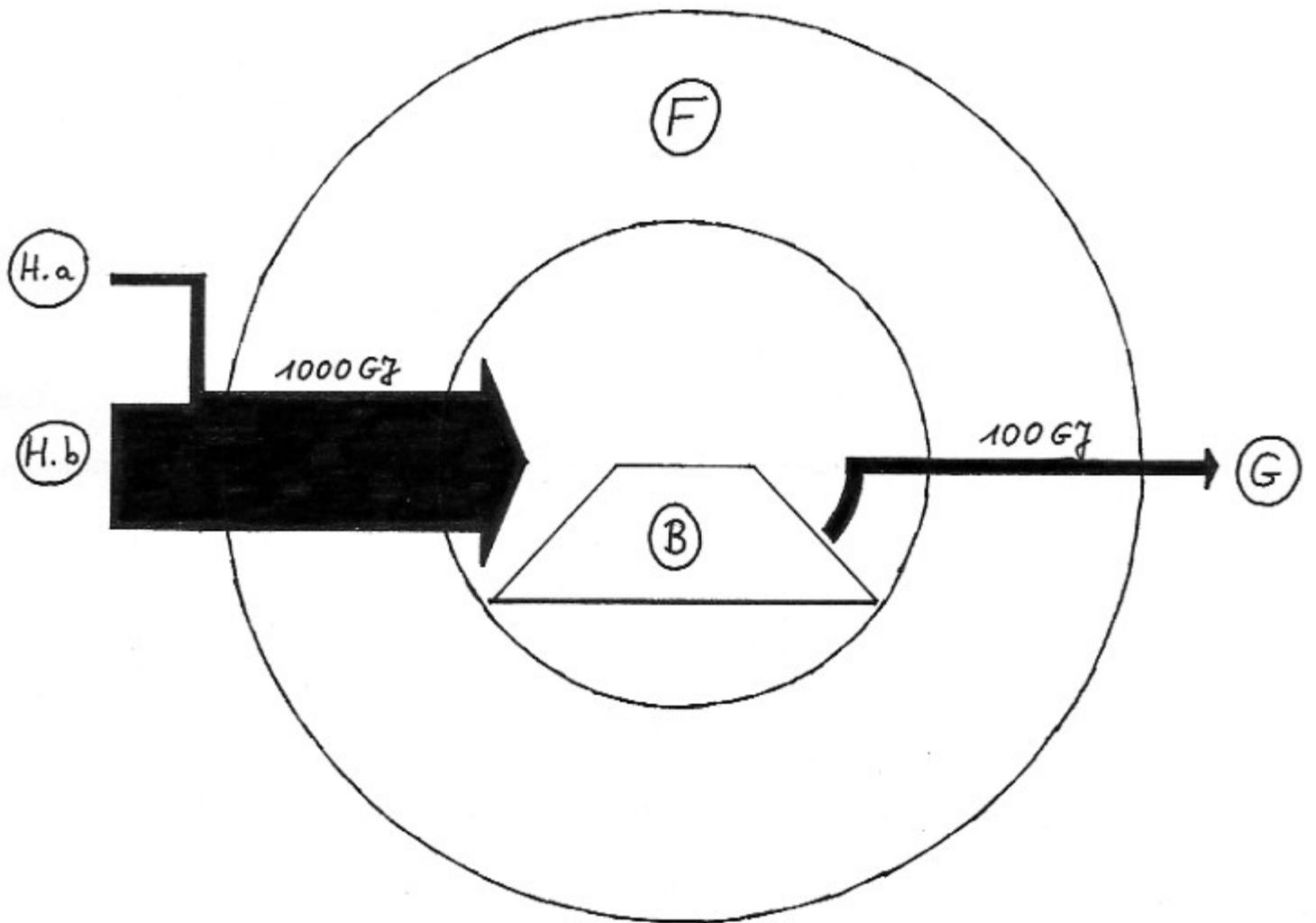


Abbildung 9: Energieflussmodell eines typischen Systems des Gewächshausanbaus

3.4.2.5 Industrieller Ackerbau (inkl. Gewächshausanbau)

EXTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU INTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU SPEZIALKULTUREN UND GEWÄCHSHAUSANBAU

Unter Industriellem Ackerbau verstehe ich eine Form des Ackerbaus, bei dem mit Hilfe des Einsatzes moderner Werkzeuge, bei gleichzeitig sehr geringem Einsatz menschlicher Energie, ein sehr hoher Ertrag pro Fläche erzeugt wird. Tiere nehmen nicht mehr die elementare Bedeutung ein wie beim Intensiven Subsistenzackerbau, obgleich es durchaus Systeme gibt (siehe z.B. die neuseeländischen Fallstudien), in denen diese weiter in den Nährstoffkreislauf integriert sind. Zur Bearbeitung des Bodens werden Maschinen statt Zugtiere eingesetzt und die Düngung des Bodens wird hauptsächlich durch synthetische Düngemitteln statt über die Verarbeitung und Übertragung von Nährstoffen durch den Dung der Tiere gewährleistet. Zur Bearbeitung des Bodens werden Maschinen statt Zugtiere eingesetzt und die Düngung des Bodens wird meist durch synthetische Düngemittel statt über die Verarbeitung und Übertragung von Nährstoffen durch den Dung der Tiere gewährleistet. Den Übergang vom Intensiven Subsistenzackerbau zum Industriellen Ackerbau beschreibt Krausmann (2004) als eine *“transition from land use systems that were more or less closed (regarding biomass and plant nutrients) to throughput systems that were open on the local level.”* Zum Teil eine Ausnahme stellt dabei die organische Landwirtschaft dar, deren Kerngedanke in der Wiederherstellung eines geschlossenen Kreislaufs besteht, weshalb dort im Idealfall auch Tiere integriert sind. Die organische Landwirtschaft ist tatsächlich gegenüber der übrigen Landwirtschaft, auch in der sozial-ökologischen Perspektive, abzugrenzen, allerdings kann man durch den Einsatz moderner Werkzeuge vor allem zur Bodenbearbeitung, sowie den Verkauf der landwirtschaftlichen Produkte auch dort nicht mehr wirklich von einem lokalen Kreislaufsystem sprechen. Der Unterschied zwischen organischer und konventioneller Landwirtschaft innerhalb des in dieser Arbeit benutzten sozial-ökologischen Konzeptes wird in Box 1 ausführlicher erläutert.

Weiter differenzieren lässt sich der Industrielle Ackerbau vor allem durch (1) das natürliche Potential der Region, in dem er betrieben wird (dies umfasst neben der NPP_0 vor allem die landschaftlichen Gegebenheiten), (2) die Intensität des Anbaus, das heißt, ähnlich der Unterscheidung zwischen Langbrachesystemen und Intensivem Subsistenzackerbau, das Verhältnis zwischen Anbau- und Bracheperiode, (3) die Integration von Tieren in das Gesamtsystem und (4) die angebauten Pflanzenarten. Wie immer ist die Anzahl der möglichen Differenzierungskriterien genauso hoch wie jene der Elemente innerhalb der Klasse von Agrarsystemen, doch ich halte die obigen Kriterien für die wichtigsten in Bezug auf die sozial-ökologischen Charakteristika.

Im folgenden werden die sozial-ökologischen Charakteristika gesondert für Extensiv-Industriellen Ackerbau, Intensiv-Industriellen Ackerbau und Spezial- und Gewächshauskulturen erörtert. Die Aufteilung zwischen Extensiv- und Intensiv-Industriellem Ackerbau orientiert sich dabei an Kriterium (2), also dem Verhältnis zwischen Anbau- und Brache- bzw. Grünlandperiode, quantitativ am R-Wert. Hier wird vorgeschlagen, alle industriellen Systeme des Ackerbaus mit einem R-Wert über 0,66 zum Intensiv-Industriellen Ackerbau zu rechnen. Unter den hier als dritte Untereinheit angesprochenen Spezial- und Gewächshauskulturen verstehe ich insbesondere den Anbau von Gemüse und teilweise auch Obst in – beheizten oder unbeheizten – Gewächshäusern, sowie den Anbau sehr arbeitsintensiver aber hochwertiger Produkte wie etwa Kräutern.

Energieeinsatz

EXTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Für diese Unterklasse stellen die Fallbeispiele „Neuseeland 1“ bis „Neuseeland 6“ wahrscheinlich extreme Beispiele dar. In der Canterbury Region im Südosten Neuseelands³⁹ wechselt typischerweise der 2-5jährige Anbau von Ackerkulturen (Getreide, Brassicaceen und Gemüse) mit dem 2-5jährigen

³⁹ Die Canterbury Region ist die Hauptanbauregion für Getreide in Neuseeland (Nguyen & Haynes 1995).

Anbau von durch Schafe genutzten Futterpflanzen oder Weiden (Haynes&Francis 1990, zitiert in Nguyen&Haynes 1995). Durch die langen Brachezeiten, die Integration von Schafen zur Gewährleistung des Nährstoffkreislaufs und den Anbau von Stickstoff fixierenden Leguminosen wird auch bei den konventionellen Produktionssystemen nur wenig Stickstoffdüngung eingesetzt. Bei den untersuchten Fallbeispielen lässt sich neben dem Boden, auf dem gewirtschaftet wird, zwischen organischen oder biodynamischen Systemen auf der einen und konventionellen Systemen auf der anderen Seite unterscheiden.

Der **Energieeinsatz pro Fläche** bei den konventionell wirtschaftenden Systemen liegt zwischen 3,34 und 6,47 (im Mittel 5,02) GJ/ha/Jahr, gemittelt über die gesamte Fruchtfolge. Bei den organischen Systemen werden insgesamt 0,64 bis 3,27 (im Mittel 1,80) GJ/ha/Jahr eingesetzt. Der Unterschied erklärt sich vor allem durch die nur beim konventionellen Anbau verwendeten synthetischen Düngemittel.

INTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Unter der Annahme eines R-Wertes über 0,66 ordne ich drei europäische und ein kanadisches Fallbeispiel in die Unterklasse des Intensiv-Industriellen Ackerbaus ein⁴⁰ (siehe Appendix 2). Der **Energieeinsatz pro Fläche** liegt bei diesen Systemen zwischen 9,16 GJ/ha/Jahr (für „Spanien 1“) und 36,64 GJ/ha/Jahr (für „Spanien 2“), mit einem Mittel von 18,3 GJ/ha/Jahr. Sieht man von den Spezial- und Gewächshauskulturen ab, so hat „Spanien 1“ den höchsten Energieeinsatz aller in dieser Arbeit berücksichtigten Fallbeispiele. Angebaut wird bei diesem System Mais in einem bewässerten Gebiet Nordspaniens, der hohe Energieeinsatz erklärt sich vor allem durch den Einsatz synthetisch hergestellten Stickstoffs. Allgemein nimmt die, beim derzeitigen Energiemix auf Fossilenergie basierende, Synthetisierung von Stickstoff meist den höchsten Anteil des Energieeinsatzes für die Fallbeispiele ein (48-76%), daneben spielt auch der für den Betrieb der landwirtschaftlichen Maschinen notwendige Treibstoff eine wichtige Rolle (18-45% des gesamten Energieeinsatzes).

Neben dem vermehrten Einsatz des Stickstoffdüngers zur Erzielung eines höheren Ertrags spielt auch das Relief der Landschaft und die Struktur der Produktionseinheit eine Rolle. Dies zeigt sich besonders deutlich am geringen Energieeinsatz durch Herstellung und Betrieb von Maschinen bei den neuseeländischen Fallbeispielen. Durch das weitläufige Land und die sehr großen Betriebe (116 bis 283 ha) kann der Boden dort mit relativ wenig Aufwand bearbeitet werden.

SPEZIAL- UND GEWÄCHSHAUSKULTUREN

Als eine sehr intensive Form des Ackerbaus lassen sich Spezial- und Gewächshauskulturen betrachten. Innerhalb des Kolonisierungskonzeptes betrachtet ließe sich beim Gewächshauskulturen auch davon sprechen, dass hier eine zusätzliche Ebene der Kolonisierung hinzu kommt: Das Klima, welches durch – teilweise beheizte – Gewächshäuser prinzipiell beliebig, jedoch nur auf Kosten eines sehr hohen Energieeinsatzes verändert werden kann. Durch die Beheizung des Gewächshauses erklärt sich denn auch der extrem hohe, weit über allen anderen Agrarsystemen liegende **Energieeinsatz pro Fläche** von 5303 GJ/ha für das Fallbeispiel „UK 1“, bei welchem in Großbritannien im Gewächshaus Kopfsalat angebaut wird. Die Gewächshauskulturen „Türkei 1“ bis „Türkei 5“ weisen dagegen einen immer noch hohen, aber im Vergleich zum britischen Fallbeispiel geringen Energieeinsatz zwischen 71,8 und 110,5 GJ/ha/Jahr auf. Der Grund hierfür liegt darin, dass in der wärmeren Mittelmeerregion keine oder nur eine geringe Beheizung der oft auch nur mit Plastikplanen abgedeckten Gewächshäuser notwendig ist. Auf Ebene des Energieeinsatzes ließe sich deshalb nochmals unterscheiden zwischen dem Gewächshausanbau in kälteren und wärmeren Regionen, bzw. beheizten und unbeheiztem Gewächshausanbau.

⁴⁰ Diese hier verwendeten Referenzen sind typische Beispiele von Studien, in denen nur ein zeitlich kleiner Ausschnitt einer Fruchtfolge (z.B. der Anbau von Mais) untersucht wurde. Es wurde deshalb in allen Werten davon ausgegangen, dass die betreffende Feldfrucht kontinuierlich angebaut wird, was für europäische und amerikanische Systeme nicht unüblich ist.

Energieertrag

EXTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Bei den berücksichtigten Fallbeispielen des Extensiv-Industriellen Ackerbaus liegt der **Energieertrag pro Fläche**⁴¹ zwischen 1,48 und 6,47 GJ/ha/Jahr. Bezogen auf die Fläche liegt der durchschnittliche Energieertrag der organischen Systeme (32,9 – 34,1 GJ/ha/Jahr) deutlich niedriger als jener der konventionellen Systeme (50,9 – 53,1 GJ/ha/Jahr)⁴², wiederum gemittelt über die gesamte Fruchtfolge. Das Fleisch der Schafe macht davon einen verschwindend geringen Anteil aus, was zeigt, dass die Tiere vor allem zur Aufrechterhaltung des Nährstoffkreislaufs dienen.

Am Beispiel der neuseeländischen Produktionssysteme lässt sich illustrieren, wie wichtig die Einbeziehung der gesamten Fruchtfolge ist, um die verschiedenen Systeme sinnvoll vergleichen zu können. Nur den Weizen betrachtend ergibt sich für Neuseeland 1-4 ein Energieertrag zwischen 53,4 und 103,6 GJ/ha/Jahr. Vergleichen wir dies zum Beispiel mit dem intensiven europäischen System „Frankreich 2“, so läge der Energieertrag der neuseeländischen Beispiele im Vergleich nur unerheblich niedriger. Der relativ hohe Ertrag des Weizens bei gleichzeitig sehr moderatem Einsatz synthetischen Düngers ist aber bei den neuseeländischen Systemen nur durch den Einbau des Grünlandes und der Leguminosen in der Fruchtfolge möglich, was den durchschnittlichen jährlichen Ertrag jedoch erheblich senkt. Dieser Aspekt ist besonders beim Vergleich konventioneller und organischer Landwirtschaft wichtig (siehe Box 1).

Die **Arbeitsproduktivität** liegt bei 9,1 GJ/h für die organischen und 12,5 GJ/h für die konventionellen Betriebe, die **Energieeffizienz** bei im Mittel 18,5 für die organisch und 10,4 für die konventionell bewirtschafteten Betriebe, für industrielle Agrarsysteme ungewöhnlich guten Effizienzwerten.

Die dem System entsprechende **maximalen Bevölkerungsdichten** liegen damit bei 953 Personen/km² für die organischen und 1493 Personen/km² für die konventionellen Systeme.

INTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Die Fallbeispiele des Intensiv-Industriellen Ackerbaus müssen wiederum mit Vorbehalt des nicht gewissen Fruchtwechsels betrachtet werden. Der **Energieertrag pro Fläche** liegt bei diesen zwischen 28,0 GJ/ha/Jahr für „Spanien 1“ und 185,9 GJ/ha/Jahr für „Spanien 2“. Für die Unterschiede sind dabei vor allem zwei Faktoren wichtig: Der eingesetzte synthetische Dünger und die aktuelle Produktivität (NPP_{akt}). Letzteres liegt beim spanischen System durch die intensive Bewässerung in einem Gebiet mit hoher Sonneneinstrahlung sehr hoch.

Arbeitsproduktivität bzw. **Energieeffizienz** liegen bei 8411 MJ/h bzw. 3,7 für „Spanien 2“ und 3864 MJ/h bzw. 5,1 für „Griechenland 1“. Im relativen Vergleich dieser beiden Fallbeispiele auf der einen und der neuseeländischen Fallbeispiele auf der anderen Seite ist dabei typisch, dass mit steigendem Energieertrag die Arbeitsproduktivität und die Energieeffizienz abnimmt. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bei einem System des Intensiv-Industriellen Ackerbaus der Zeiteinsatz unter ansonsten gleichen Bedingungen nur etwas höher liegt als beim Extensiv-Industriellen Ackerbau, der geringe Zeiteinsatz jedoch mit einem wesentlich höheren Energieeinsatz erkaufte wird.

Aus dem Energieertrag pro Fläche ergibt sich eine entsprechende **Bevölkerungsdichte** zwischen 800 (für „Spanien 1“) und 5311 Personen/km² (für „Spanien 2“).

SPEZIAL- UND GEWÄCHSHAUSKULTUREN

⁴¹ Neben diesem essbaren Teil der Produkte wird noch Wolle produziert, die aber in Energiegrößen vernachlässigt werden kann.

⁴² Berücksichtigend, dass dabei drei verschiedene Betriebe mit unterschiedlichen Böden untersucht wurden, überrascht es, wie gering die Varianz ist.

Beim Gewächshausanbau liegt der **Energieertrag pro Fläche** bei durchschnittlich 139,8 GJ/ha/Jahr für die türkischen und nur 10,6 GJ/ha/Jahr für das britische Fallbeispiel.

Daraus ergibt sich eine **Arbeitsproduktivität** bzw. **Energieeffizienz** von 62,42 MJ/h bzw. 1,5 für die türkischen Gewächshauskulturen und 3,69 MJ/h bzw. 0,002 für „UK 1“. Der große Unterschied zwischen den britischen und türkischen Gewächshäusern liegt an der sehr energieintensiven Beheizung ersterer.

Kolonisierung

Quantitativ konnte die HANPP_% für drei als Intensiv-Industrieller Ackerbau bewertete Fallbeispiele ermittelt werden: „Spanien 1“ hat demnach eine HANPP_% von 65,3%, „Griechenland 1“ und „Frankreich 2“ von 34,8 und 37,7%, respektive. Im Vergleich zwischen Intensiv- und Extensiv-Industrielltem Ackerbau reduziert der größere Bracheanteil des letzteren auch die HANPP_%. Tendenziell liegt somit die HANPP_% beim Extensiv-Industriellen Ackerbau niedriger, jedoch kommen weitere wichtige Faktoren, wie die Frage der Nutzung von Ernterückständen und die Steigerung der ANPP_{akt} durch künstliche Bewässerung hinzu, so dass zur Kolonisierung kein allgemeiner Vergleich angestellt werden kann.

Zeiteinsatz

EXTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Gemittelt auf die gesamte Rotation liegt der **Zeiteinsatz pro Fläche** bei durchschnittlich 3,7 (2,9 – 4,5) h/ha/Jahr für die organisch wirtschaftenden Betriebe und 4,2 (3,4 – 4,9) h/ha/Jahr für die konventionell wirtschaftenden Betriebe.

Der **Zeiteinsatz pro Person** liegt zwischen 3 und 4 Sekunden⁴³. Von sämtlichen in dieser Arbeit betrachteten Fallbeispielen nehmen die Agrarsysteme Neuseelands in dieser Hinsicht damit die Extremstellung ein. Daran wird auch das Ausmaß der industriellen Revolution deutlich, durch die fast sämtliche Lebenszeit von der Herstellung der Nahrungsmittel freigestellt wurde.

INTENSIV-INDUSTRIELLER ACKERBAU

Für zwei der Fallbeispiele sind Angaben zum **Zeiteinsatz pro Fläche** vorhanden: „Griechenland 1“, bei dem 7 h/ha/Jahr investiert werden und „Spanien 2“, bei dem der Zeiteinsatz bei schon wesentlich höheren 48,1 h/ha/Jahr liegt.

Der **mittlere Zeiteinsatz pro Person** liegt für „Griechenland 1“ bei nur 4 Sekunden, für „Spanien 2“ bei 9 Sekunden.

GEWÄCHSHAUSANBAU

Im Falle der in diese Kategorie eingeordneten Beispiele „Türkei 2“ bis „Türkei 5“, sowie „UK 1“ liegt hier der **Zeiteinsatz pro Fläche** zwischen 1010 und 3292 h/ha/Jahr, bei durchschnittlichen 2366 h/ha/Jahr.

⁴³ Unbeachtet bleiben hier die Nahrungspräferenzen der Gesellschaft, zum Beispiel würde ein vermehrter Verzehr von Fleisch oder Gemüse die Arbeitszeit steigen lassen. Es soll an diesem Beispiel aber die Größenordnung im Vergleich der verschiedenen Agrarsysteme vor Augen geführt werden.

Box 1: Organische und Konventionelle Landwirtschaft

Man könnte sich fragen, wo innerhalb der hier entwickelten Taxonomie der Landwirtschaftstypen die uns geläufigen Formen der sogenannten organischen und konventionellen Landwirtschaft einzuordnen sind. Sind es im Sinne der vorgeschlagenen Klassifikation überhaupt unterschiedliche Landwirtschaftstypen? Die Diskussion über die mögliche Einordnung dieser beiden Formen der Landwirtschaft bietet die Gelegenheit, einige Aspekte der hiesigen Klassifikation zu illustrieren.

Die gemeinsame Ausrichtung der organischen Landwirtschaft besteht, bei allen Unterschieden im Detail, in der Herstellung einer möglichst weitgehenden Unabhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebs von externen Inputs und dem größtmöglichen Recycling der nicht verkauften, innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs anfallenden Biomasse und der darin enthaltenen Energie. Bei industriellen Formen der Landwirtschaft bedeutet dies: Keine Verwendung von synthetisch hergestellten Düngemitteln und keine Verwendung synthetischer Pestizide. Die Tierhaltung ist im Idealfall, ähnlich wie bei traditionellen Agrarsystemen, in das Produktionssystem integriert, das heißt, die Futtermittel werden innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs erzeugt und der bei der Tierhaltung anfallende Tierdung wird den Pflanzen wieder als Nahrung zugeführt. Von einer innerhalb der landwirtschaftlichen Betriebseinheit geschlossenen Kreislaufwirtschaft zu sprechen, wäre allerdings übertrieben: Die erzeugten Nahrungsmittel werden verkauft und Produktionsmittel – wengleich in geringerem Ausmaß als in der konventionellen Landwirtschaft – zugekauft.

Wie ist nun die geringe Zufuhr externer Produktionsmittel innerhalb der Perspektive des hier verwendeten Modells zu sehen? Der Energieeinsatz pro Fläche ist bei einem organischen deutlich geringer als bei einem entsprechenden konventionellen System, was zum einen mit dem fehlenden Einsatz synthetisch und mit hohem Energieaufwand hergestellter Düngemittel, zum anderen mit der extensiveren Fruchtfolge in der organischen Landwirtschaft zu erklären ist. Allerdings liegt der Energieeinsatz der organischen Landwirtschaft immer noch deutlich höher als bei der traditionellen, nicht-industriellen Landwirtschaft, da beide bei ersterer Maschinen eingesetzt werden, die direkt und indirekt – zu ihrer Herstellung – große Energiemengen benötigen.

Der Ertrag pro Fläche liegt bei der organischen Landwirtschaft meist unter jenem entsprechender konventioneller Systeme, was mehr auf die extensivere Fruchtfolge, weniger auf einen geringeren Ertrag in Anbaujahren zurückzuführen ist (dieser liegt oft fast genauso hoch). Je nach Studie liegen die Ernten der organischen Landwirtschaft bei 50 bis 100 Prozent der entsprechenden Werte ihrer konventionellen Pendanten (Goklany 2002, Mäder et al. 2002a, Mäder et al. 2002b, Reganold 1989, Trewavas 1999). Tendenziell sind dabei die Unterschiede des Flächenertrags von organischer und konventioneller Landwirtschaft umso größer, je intensiver die Fruchtfolge des konventionellen Systems ist. Dass die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Formen der Landwirtschaft in den USA meist geringer als in Europa ausfallen (Mäder et al. 2002b) liegt vor allem daran, dass in Nordamerika die konventionelle Landwirtschaft die Kapazität zur Intensivierung weniger stark ausgenutzt hat. Die Intensivierungskapazität liegt, aufgrund der möglichen Ertragssteigerung durch synthetische Düngemittel, bei der konventionellen Landwirtschaft höher als bei organischen Systemen. Beim Ertrag mit zu berücksichtigen ist zudem die in organischen Produktionssystemen im Idealfall integrierte Tierproduktion. Durch die Verfütterung der Brachevegetation (z.B. Luzerne) an den Tierbestand werden zusätzlich tierische Produkte geliefert. Für einen korrekten Vergleich hinsichtlich Energieertrag und auch Energieeinsatz wäre daher die – in der konventionellen Landwirtschaft oft desintegrierte – Tierproduktion in die Berechnungen einzuschließen.

Zur Höhe der HANPP_% lässt sich keine allgemeine Aussage treffen. Der wichtigste Faktor ist hier vor allem die Frage, inwieweit die Gründüngung, z.B. Luzerne, evtl. auch Ernterückstände, an die Tiere verfüttert werden. Werden – z.B. wegen fehlendem Tierbestandes – diese Bestandteile im Feld belassen, so kann man zweifellos von einer tendenziell niedrigeren HANPP_% bei organischen Systemen ausgehen. Fasst man das Konzept der Kolonisierung weiter, so ist – bezogen auf die Fläche – von einer allgemein geringeren Kolonisierung bei organischer Landwirtschaft auszugehen, da wegen des fehlenden Einsatzes synthetischer Düngemittel und Pestizide weniger stark in den Chemie- und

sonstigen Naturhaushalt eingegriffen wird. Der – zumindest interne – Zeiteinsatz scheint bei der organischen Landwirtschaft, besonders bezogen auf den Ertrag, vergleichsweise höher zu liegen, wodurch sich teilweise die höheren Marktpreise für biologisch erzeugte landwirtschaftliche Produkte erklären lassen.

Quantitativ illustrieren lassen sich die sozial-ökologischen Differenzen an den in der selben Region liegenden Fallbeispielen „Neuseeland 1“ bis „Neuseeland 6“, von denen drei organisch und drei konventionell betriebene Systeme sind. Bezogen auf die Fläche liegt der Energieeinsatz der konventionellen Systeme im Mittel um den Faktor 2,8 höher als jener der organischen Systeme. Der Energieertrag liegt ebenfalls höher, jedoch nur um den Faktor 1,6, so dass sich für die organischen Systeme eine im Schnitt 2,5fach höher liegende Energieeffizienz ergibt. Der Zeiteinsatz, bezogen auf die Fläche, unterscheidet sich nur unwesentlich, allerdings ergibt sich durch den geringeren Flächenertrag eine um den Faktor 1,4 höhere Arbeitsproduktivität der konventionellen Systeme. Die HANPP_% konnte nicht quantitativ ermittelt werden, dürfte jedoch, bedingt durch den höheren Gras-, Klee- und Luzerneanteil, für die organischen Systeme etwas niedriger liegen.

Bei der Diskussion um die quantitativen sozial-ökologischen Kriterien von Energieeinsatz und – Ertrag, Kolonisierung und Zeiteinsatz, sollte jedoch nicht vergessen werden, dass es bei einem adäquaten Vergleich auch um quantitativ kaum zu erfassende gesellschaftliche Dimensionen geht. Es ist fraglich, ob eine Landwirtschaft, deren Ertrag ganz wesentlich von extern mit Hilfe auf geographisch hoher Ebene hergestellten Inputs (wie etwa Pestiziden) beruht, überhaupt wünschenswert ist. Wie oben schon erwähnt, versucht dem hingegen die organische Landwirtschaft, die Abhängigkeit von solch externen Inputs möglichst weitgehend zu verringern, also im Anbau eine möglichst hohe Autarkie zu erreichen. Sie stellt somit eine Technologie dar, die, anders als die konventionelle Landwirtschaft, auf eine möglichst weitgehend auf lokaler Ebene produzierende Gesellschaft ausgerichtet ist.

Dauerkulturen

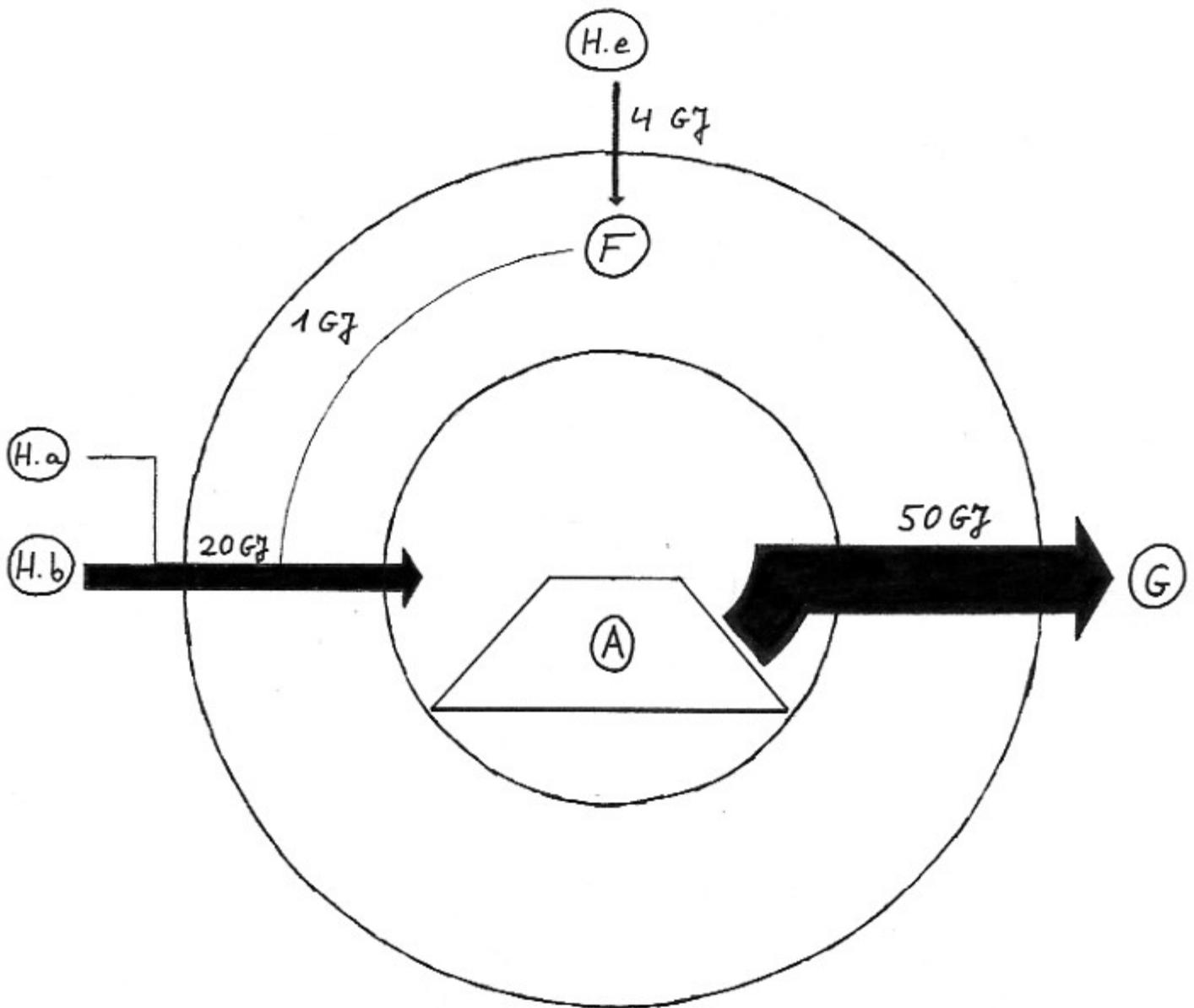


Abbildung 10: Energieflussmodell eines typischen Systems einer Dauerkultur in industrialisierten Regionen

3.4.2.6 Dauerkulturen

Der Name „Dauerkultur“ bezeichnet zugleich den wesentlichen Unterschied zu allen Formen des zuvor besprochenen Industriellen Ackerbaus: Es werden mehrjährige Pflanzen angebaut.

Unterschieden werden sollte bei Dauerkulturen zwischen den Dauerkulturen industrialisierter Regionen, bei denen in einem zum industriellen Ackerbau vergleichbaren Ausmaß Energie in Form von Düngemitteln und Maschinenherstellung und –Betrieb investiert wird, sowie Dauerkulturen in den Tropen, die oft ergänzend zum Intensiven Subsistenzackerbau oder dem Wanderfeldbau, jedoch stofflich von diesem getrennt, betrieben werden. Verschiedene Formen der sogenannten Agroforestry (MacDicken und Vergara 1990), bei denen Bäume in das Gesamtsystem integriert sind, sollen somit in diesem Sinne nicht unter den Begriff der Dauerkulturen gefasst werden.

In den Tropen ist eine steigende Bedeutung solcher Dauerkulturen als Cash Crops zu verzeichnen, was eine der Hauptursachen für den Verlust tropischen Regenwaldes darstellt (Brookfield et al. 1990). Dabei wird oft von Kleinbauern, als Ergänzung zum die Grundnahrung sichernden Subsistenzanbau, eine kleine Parzelle einer Dauerkultur betrieben, welche zur Generierung zusätzlichen Geldeinkommens dient (siehe z.B. Cramb 1993, Dove 1993, Mertz und Christensen 1997).

Nur eines der Fallbeispiele („Türkei 1“) fällt in die Kategorie der Dauerkulturen. Bei diesem Fallbeispiel handelt es sich um eine Aprikosenplantage in der Region Malatya in der Türkei. Die Türkei produziert mit 13,35 Millionen Aprikosenbäumen über 20% der weltweit vermarkteten Aprikosen (Gezer et al. 2003).

Energieeinsatz und **Energieertrag** liegen in der selben Größenordnung wie beim Industriellen Ackerbau: Bei einer eingesetzten Energie von 22,2 GJ/ha/Jahr wird eine Biomasse mit einem Brennwert von 75,3 GJ/ha/Jahr geerntet. Allerdings, und dies ist typisch für einen großen Teil der Dauerkulturen, geht nur ein relativ geringer Teil dieser Biomasse tatsächlich in die menschliche Ernährung ein. Im Falle der Aprikosen machen die Kerne, aus denen ein pflanzliches Öl produziert wird, 83% der Energie aus, das Fruchtfleisch selbst ergibt also nur ca. 12,8 GJ/ha/Jahr. Auf ähnliche Weise geht beispielsweise bei der Verarbeitung von Oliven in Öl sehr viel der ursprünglich erzeugten Energie verloren. Der **Zeiteinsatz** im türkischen Beispiel ist nicht angegeben, aus eigener Erfahrung vermute ich aber, dass in die meisten Dauerkulturen erheblich mehr Zeit investiert wird als in die entsprechende Fläche des Industriellen Ackerbaus. Auch die **HANPP%** kann aus den Angaben zu „Türkei 1“ nicht ermittelt werden, jedoch halte ich sie für einen möglichen Differenzierungsaspekt zwischen Industriellem Ackerbau und Dauerkulturen. Ich vermute, dass vor allem extensiv betriebene Dauerkulturen eine relativ niedrige HANPP% besitzen, oft mit einem hohen ökologischen Wert verknüpft. Ein typisches Beispiel dafür sind Streuobstwiesen.

Auf Grünland basierende Tierproduktion

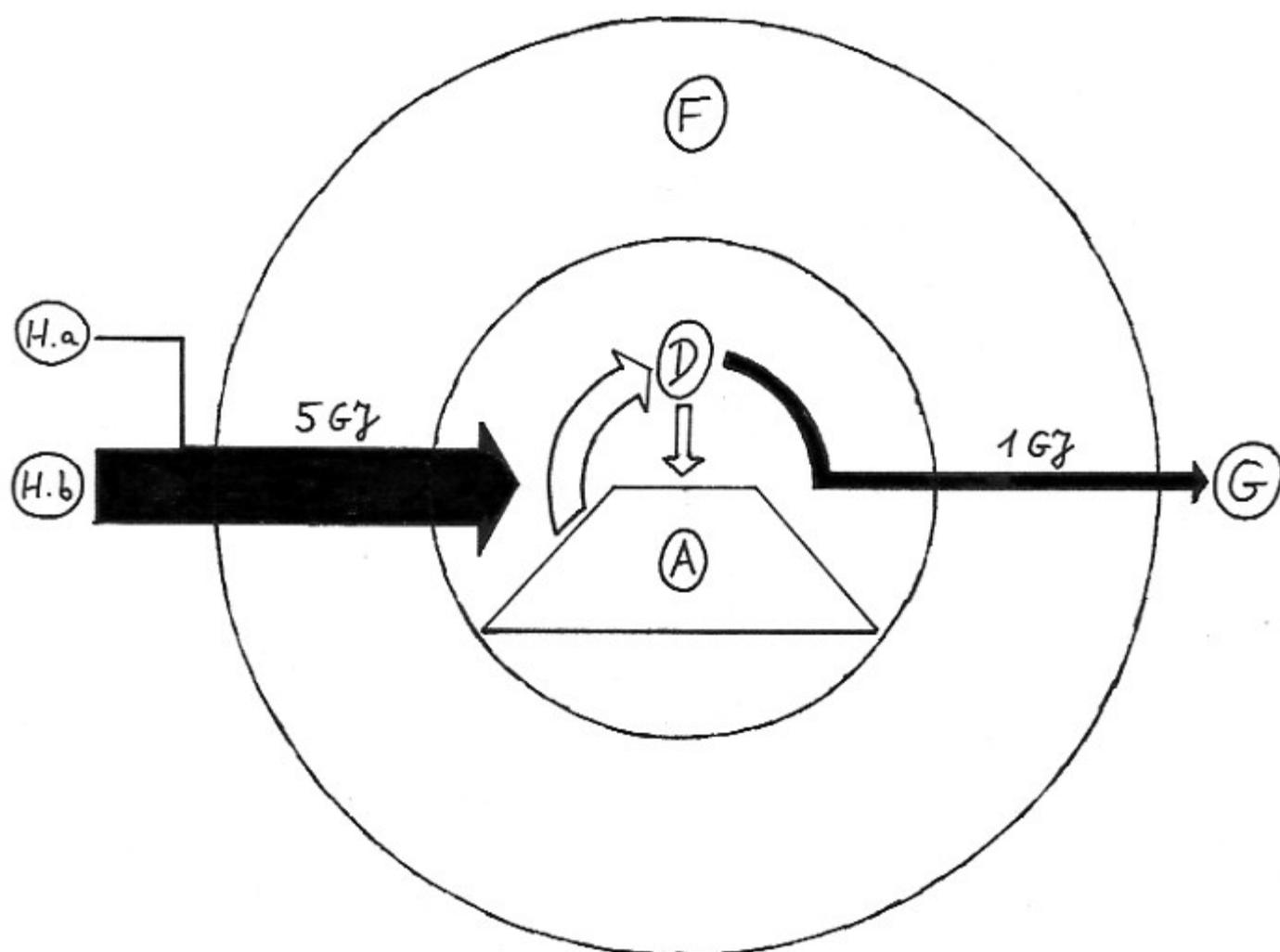


Abbildung 11: Energieflussmodell eines Systems der auf Grünland basierenden Tierproduktion

3.4.2.7 Auf Grünland basierende Tierproduktion

Bei der auf Grünland basierenden Tierproduktion, im folgenden auch kurz als Grünland-Tierproduktion bezeichnet, wird für den Menschen nicht verwertbare Nahrung, hauptsächlich Gras, vom Tier verstoffwechselt und in für den Menschen verwertbare Nahrung, meist Fleisch und Milch, umgewandelt.

Innerhalb der marktorientierten Produktionssysteme wurde ein zweites Tierproduktionssystem abgegrenzt: Die auf Ackerland basierende Tierproduktion, im folgenden kurz als Ackerland-Tierproduktion bezeichnet, die in Abschnitt 3.4.2.8. besprochen wird. Das diese Systeme voneinander trennende Attribut besteht in der Art des Tierfutters: Während in der Grünland-Tierproduktion hauptsächlich Gras verfüttert wird, besteht in der Acker-Tierproduktion der größere Teil des Futters aus vom Ackerland stammenden, für den Menschen verwertbaren Feldfrüchten. Die quantitative Abgrenzung ist dabei prinzipiell willkürlich, hier wurden vorläufig alle Tierproduktionssysteme, innerhalb derer mehr als 50% der Energie des Tierfutters aus Gras oder pflanzlichen Nebenprodukten besteht, zum System der Grünland-Tierproduktion gerechnet. Vor allem bei zwei relativ häufig verwendeten Tierfuttermitteln ist dabei fraglich, welcher der beiden Kategorien (Gras oder Feldfrüchte bzw. Weide oder Acker) diese zugerechnet werden sollten: Pflanzliche Nebenprodukte, die – obgleich weniger wichtig als bei Subsistenzsystemen – auch bei der marktorientierten Tierproduktion eine wichtige Rolle einnehmen (Cederberg 1998), und Getreidestoppeln, die in manchen Regionen zur Schafweide genutzt werden (z.B. Aitchison 1988, Caballero 1999). Zwar könnte man damit nochmals eine eigene Kategorie von Futtermitteln abgrenzen, da ihre Bedeutung jedoch insgesamt vernachlässigbar ist, zähle ich hier pflanzliche Nebenprodukte zur Kategorie des Grases bzw. der Weide. Hierfür spricht auch, dass pflanzliche Nebenprodukte, genauso wie Gras, zur für den Mensch nicht direkt verwertbaren Biomasse gehören. Darüber hinaus ist auch die Zuordnung der Futterpflanze Luzerne problematisch. Diese häufig als Futtermittel verwendete Leguminose ist für den Menschen zwar nicht direkt verwertbar, in diesem Sinne könnte man sie zur Kategorie des Grases bzw. der Weide zählen. Jedoch wird der Boden wird zumeist regelmäßig umgebrochen und die Luzerne neu angepflanzt, womit die Fläche zum Ackerland zu zählen wäre. Aus diesem Grund bespreche ich das System „USA 3“, in welchem hauptsächlich Luzerne verfüttert wird, bei den Systemen der Ackerland-Tierproduktion.

Dafür, den Anteil dieser Futtermittelkategorien als Haupteinteilungskriterium zu benutzen, spricht auch, dass die geographische Segregation von Futtermittelanbau und Tierhaltung nur bei der Verfütterung von Getreide möglich ist. Denn während Gras – aufgrund seines schnellen Verfalls und großen Volumens – nur innerhalb eines sehr begrenzten Umkreises transportiert werden kann, lohnt sich der Transport von Feldfrüchten wie Mais oder Sojabohnen viel eher. Aus diesem Grund zeigt die Grünland-Tierproduktion eine sehr viel geringere Neigung zur geographischen Aufspaltung der verschiedenen Produktionsschritte als die Ackerland-Tierproduktion. Da Wiederkäuer zudem auf einen bestimmten Anteil von Gras im Futtermittel angewiesen sind, entspricht dieser Trennung – zumindest tendenziell – auch eine Trennung zwischen Milch- und Fleischproduktion durch Rinder auf der einen, Fleisch- und Eierproduktion durch Schweine und Hühner auf der anderen Seite. Kein Zufall ist es, dass Schweinemasten vor allem in der Nähe von Ozeanhäfen zu finden sind, wo ein relativ günstiger Einkauf der teilweise aus Übersee stammenden Futtermittel möglich ist (Mannion 1995).

Nur zwei der untersuchten Fallbeispiele konnten nach den oben erläuterten Kriterien zur Grünland-Tierproduktion gerechnet werden: „USA 1“ und „USA 2“.

Diese unterscheiden sich nur unwesentlich: Bei beiden ist Kalbfleisch das erzeugte Produkt, beides sind typische extensive Weidesysteme für den amerikanischen Bundesstaat Montana. Während jedoch in „USA 1“ die im April geborenen Kälber bis Oktober auf der Weide bleiben und danach sofort geschlachtet werden, kommen die Kälber in „USA 2“ nach der Weideperiode im Oktober in ein sogenanntes „Finishing Lot“. In diesem wird durch die Fütterung einer sehr energiereichen Mischung, in diesem Fall Maissilage und Gerstenkörnern, das Gewicht und damit der Wert des Tieres in relativ kurzer Zeit gesteigert. Im hier ausgewählten Fall bleiben die Kälber bis Juni des darauf folgenden Jahres im „Finishing Lot“, ehe sie geschlachtet werden.

Diese beiden Systeme sind sowohl auf die Flächenanteile, als auch auf den anteiligen Energiegehalt der verwendeten Futtermittel bezogen, eindeutig der Weide-Viehwirtschaft zuzurechnen. Das Acker/Weide-Verhältnis für die zugrundeliegende Fläche liegt bei 0,01/0,99 für „USA 1“ und 0,061/0,939 für „USA 2“, der Energieanteil der vom Ackerland stammenden an den gesamten Futtermitteln liegt bei 83% für „USA 1“, für „USA 2“ immer noch bei 69%.

Energieeinsatz

Insgesamt liegt der **Energieeinsatz pro Fläche** bei 0,86 GJ/ha/Jahr für „USA 1“ und 1,25 GJ/ha/Jahr für „USA 2“, jeweils bezogen auf die gesamte, der Tierproduktion zugrundeliegende Acker- und Weidefläche. Der Unterschied wird dabei vollständig durch den größeren Anteil der Ackerfläche von "USA 2" verursacht, die einen wesentlich höheren Energieeinsatz aufweist als das Weideland.

Das Weideland weist einen totalen Energieeinsatz von äußerst niedrigen 0,38 GJ/ha/Jahr auf, sämtlich auf das Ausbringen von Pestiziden zurückzuführen. Zum Vergleich: In das Weideland des später besprochenen Fallbeispiels „Schweden 1“, einer Molkerei, fließen – aufgrund des Einsatzes von Düngemitteln – insgesamt 10,0 GJ/ha/Jahr, also 26mal so viel Energie pro Fläche.

Der flächenbezogene Energieeinsatz von Systemen der Weide-Viehwirtschaft wird offenbar vor allem durch das Ausmaß bestimmt, in dem die Weidefläche gedüngt wird, um so einen höheren Flächenenertrag zu erhalten. Je nach Region und Bewirtschaftungsweise bestehen deutliche Unterschiede im Energieeinsatz pro Fläche. Wesentlich intensiver genutzt als das hier besprochene System Montanas dürften die Weideregionen Europas sein, so wie dies „Schweden 1“ als Fallbeispiel schon andeutet. Für Dänemark, das einen hohen, wenn auch in den vergangenen Jahren stark sinkenden Anteil an Weideland aufweist (Schroll 1994), wurde ein Energieeinsatz für Weideland zwischen ca. 1 und 17 GJ/ha/Jahr simuliert (Dalgaard, Halberg und Porter 2001), abhängig von Bewirtschaftungsweise (organisch oder konventionell) und dem Einsatz künstlicher Bewässerung. Für Grünland, welches zur Produktion von Silage genutzt wird, liegen die Werte gar zwischen ca. 4 und 25 GJ/ha/Jahr. Dies zeigt, dass auch innerhalb einer an sich relativ homogenen landwirtschaftlichen Region die Varianz eines sozial-ökologischen Indikators, hier des Energieeinsatzes, sehr hoch sein kann, so dass es problematisch ist, ein bestimmtes, sozial-ökologisch abgegrenztes Agrarsystem einer bestimmten Region zuzuweisen. Bei differenzierterer Betrachtung zeigt sich, dass ein sehr großer Unterschied zwischen organischer und konventioneller Bewirtschaftung besteht. Offenbar differenziert beim Weideland der Indikator des Energieeinsatzes sehr viel stärker die organische und konventionelle Landwirtschaft als beim Ackerbau, was darauf zurückzuführen ist, dass der Energieeinsatz beim organischen Ackerbau vor allem auf die Bodenbearbeitung zurückzuführen ist, diese aber beim organisch bewirtschafteten Weideland – zusätzlich zu den synthetischen Düngemitteln – wegfällt. Erweitern wir das Blickfeld zusätzlich auf die Behausung der Tiere, so wird dieser Unterschied oft noch größer, da in der organischen Landwirtschaft weniger Energie für die Beheizung der Gebäude verausgabt wird. Dalgaard, Halberg und Porter (2001) errechnen für konventionelle Weide in Dänemark einen Energieeinsatz von ca. 10 GJ/ha/Jahr ohne künstliche Bewässerung und ca. 17 GJ/ha/Jahr mit künstlicher Bewässerung. Für organisch bewirtschaftetes Weideland wurde dagegen ein Energieeinsatz von ca. 1 GJ/ha/Jahr bzw. ca. 8 GJ/ha/Jahr ermittelt, je nachdem ob künstlich bewässert wird. Dass auch bei „Schweden 1“ ein Energieeinsatz von 10,0 GJ/ha/Jahr ermittelt wurde, deutet darauf hin, dass dies ein typischer Wert für nordeuropäische, konventionell bewirtschaftete Weidesysteme ist. Limitiert auf die Düngung gibt Leach (1976) zudem für Großbritannien einen durchschnittlichen, auf Düngemittel beschränkten Energieeinsatz von 4,4 GJ/ha/Jahr (90 kg N-Dünger) an. Nehmen wir an, dass sich seitdem der Einsatz von Düngemitteln nicht wesentlich erhöht hat, was zumindest für Dänemark gilt (Schroll 1994), so zeigt sich auch hier ein nah am Fallbeispiel „Schweden 1“ (5,0 GJ/ha/Jahr für Düngemittel) liegender Energieeinsatz.

Es deutet sich somit an, dass der Energieeinsatz, hauptsächlich zurückzuführen auf die unterschiedlich starke Düngung des Weidelandes, sich zwischen verschiedenen Systemen so stark unterscheidet, dass eine weitere, darauf beruhende Unterteilung, sinnvoll wäre. Es weisen dabei vermutlich die in Europa liegenden Weideregionen einen erheblich höheren Energieeinsatz, bedingt durch die stärkere Stickstoffdüngung auf, als ihre entsprechenden Pendanten in den Weideregionen Nord- und

Südamerikas und Australiens. Die hier berücksichtigten Fallbeispiele legen dabei nahe, dass der Unterschied in Bezug auf den Energieeinsatz bis zu einem Faktor zehn und darüber hinaus reichen kann. Allerdings muss dies immer auch im Zusammenhang mit dem entsprechenden Energieertrag betrachtet werden.

Energieertrag und Tragekapazität

Der **Energieertrag pro Fläche** für die Fallbeispiele „USA 1“ und „USA 2“ liegt bei 0,11 GJ/ha/Jahr und 0,43 GJ/ha/Jahr, respektive. Vergleichen wir damit den Energieertrag der Ackerland-Tierproduktion „Schweden 1“ (9,72 GJ/ha/Jahr) und „USA 3“ (8,94 GJ/ha/Jahr), so zeigt sich ein noch deutlicherer Unterschied als beim Energieeinsatz pro Fläche : Der Energieertrag pro Fläche liegt bei letzteren um den Faktor 22 bis 88 höher ! Ein um den Faktor 10 höherer Energieeinsatz bei einem um den Faktor 22 bis 88 niedrigeren Energieertrag pro Fläche bedeutet auch, dass die **Energieeffizienz** bei den beiden Weide-Viehwirtschaftssystemen niedriger als bei den Acker-Viehwirtschaften liegt : Für 1 GJ eingesetzte Energie (hauptsächlich in Form von Fossilenergie) kommen beim Fallbeispiel „USA 1“ 0,13 GJ (hauptsächlich in Form von Fleisch) zurück, bei „USA 2“ sind es immerhin 0,34 GJ, während bei „Schweden 1“ der entsprechende Wert bei 0,86 GJ, bei „USA 3“ sogar bei 2,65 GJ liegt. Auffällig ist, dass der Energieertrag einem typischen Wert für das Subsistenzsystem der Traditionellen Weide entspricht.

Für die **Arbeitsproduktivität** ergibt sich ein Wert von 25 MJ/ha für "USA 1" und 102 MJ/ha für „USA 2“.

Zur prinzipiellen Erklärung der Unterschiede gilt es zu beachten, dass nicht nur die Tiere selbst, sondern auch die der Tierproduktion gewissermaßen vorgeschaltete Pflanzenproduktion zu den Unterschieden beitragen. Auf der Ebene des Tieres ist es von Bedeutung, dass verschiedene Futtermittel verschieden effizient in tierische Biomasse umgesetzt werden. Zudem wird die Effizienz dieser Umwandlung zusätzlich durch die Tierart und Rasse und durch die Art des Produktes – Fleisch, Milch oder Eier etwa – bestimmt.

Kolonisierung

Aus den Fallbeispielen „USA 1“ und „USA 2“ gehen die zur Abschätzung der HANPP% notwendigen Daten nicht hervor. Es muss deshalb auf allgemeine, in der Literatur erhältliche Daten über den von Rindern konsumierten Anteil der ANPP zurückgegriffen werden. In Tab. 4 sind die an verschiedenen Orten von unterschiedlichen Autoren ermittelten Werte für den Anteil der durch weidende Tiere konsumierten ANPP angegeben.

Ort	Art des Weidelandes	% Konsumiert	Referenz
Nigeria	Savanna	45	Ohiagu 1979
Südafrika	Broad Leaf Savanna	19	Gander 1982
Westliche USA	12 Rangelands	40-60	Lacey und Van Poolen 1981
Westliche USA	5 IBP Sites	19-30	Sims und Singh 1978
Idaho, USA	Mountain Grassland	0-47 (average : 16)	Leege et al. 1981
Texas	Shortgrass	29-40	Heitschmidt et al. 1982
Dänemark	Pasture	60-80	Bülow-Olsen 1980
Japan	Grassland	56-74	Akiyama et al. 1984
Tschechien	Alluvial Meadow	41-49	Rychnovská et al. 1977

Tabelle 4:

Schätzungen der prozentualen von Rindern konsumierten ANPP auf Weide- oder Grassland. Alle Werte außer Rychnovská et al. 1977 aus Detling 1988

Die in obiger Tabelle 4 angegebenen Werte lassen vermuten, dass die HANPP% in intensiv beweideten Gebieten, Dänemark und Japan wären dafür typisch, höher liegt, als in extensiv beweideten Gebieten

wie dem Westen der USA. Bei der Ermittlung der HANPP% aus den in Tab.4 angegebenen Werten muss außerdem berücksichtigt werden, dass sich die ANPP durch das Beweiden möglicherweise erhöht, die HANPP% also niedriger liegt, als der prozentuale Anteil der abgeweideten ANPP. Ein typischer Wert könnte deshalb für extensive Weiden (und damit auch die Fallbeispiele „USA 1“ und „USA 2“) bei einer **HANPP%** von 30%, für intensiv bewirtschaftetes Weide- und Grünland, typisch etwa für Skandinavien und die britischen Inseln, bei einer HANPP% von 60% liegen.

Zeiteinsatz

Für die Fallbeispiele „USA 1“ bzw. „USA 2“ liegt der **Zeiteinsatz pro Fläche** bei 4,4 bzw. 4,2 Stunden, bezogen auf einen Hektar zugrundeliegende landwirtschaftliche Fläche. Diese Zeit schließt sowohl die Arbeit ein, die für die Produktion der Futtermittel aufgewendet werden muss, als auch den für die Haltung der Tiere notwendigen Zeiteinsatz.

Aus der Arbeitsproduktivität ergibt sich als **mittlerer Zeiteinsatz pro Person** ein Wert von 23min für „USA 1“ und 5min38s für „USA 2“.

Auf Ackerland basierende Tierproduktion

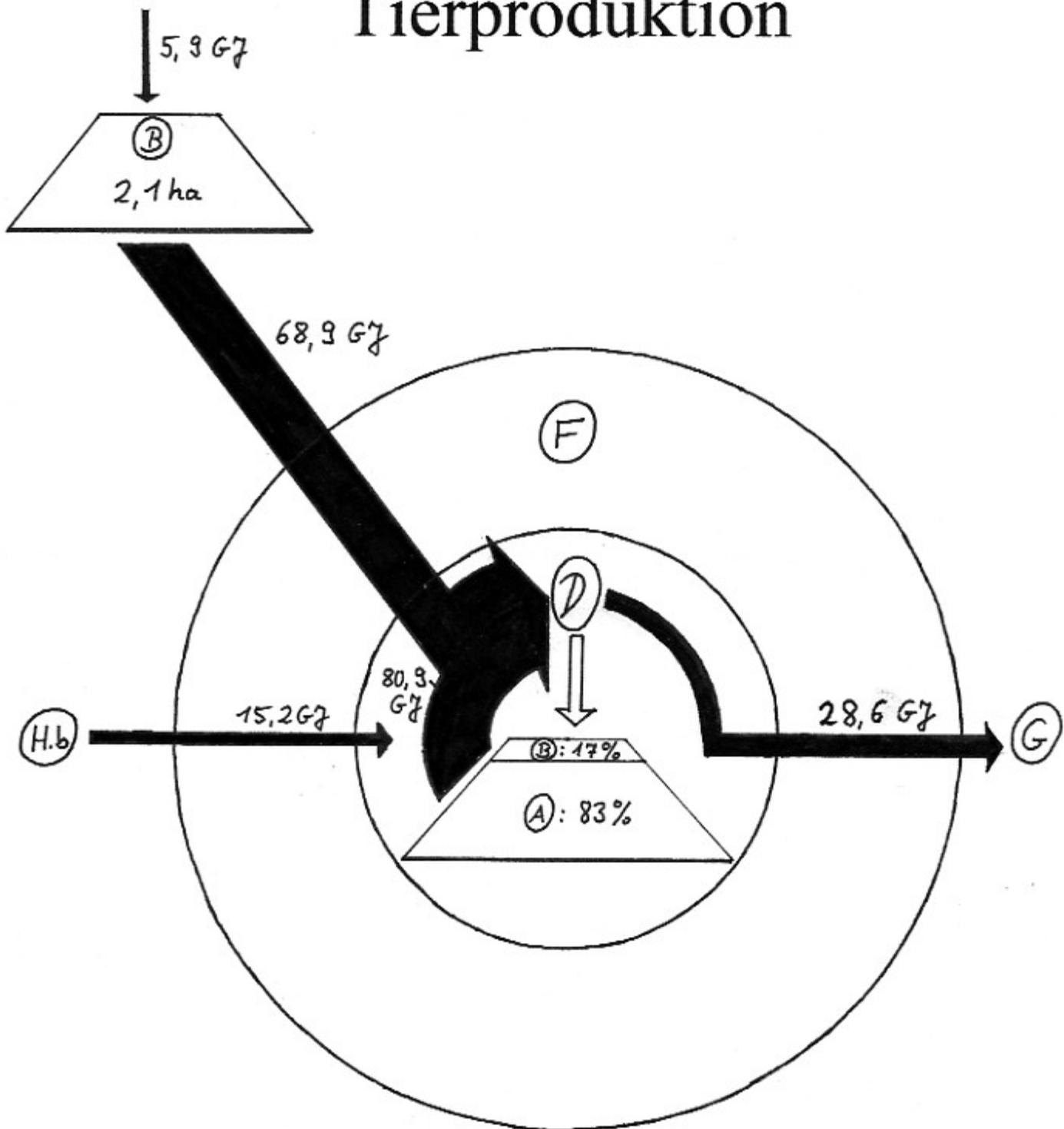


Abbildung 12: Energieflussmodell eines auf Ackerland basierenden Tierproduktionssystems. Dargestellt ist das im Text besprochene Fallbeispiel „Schweden 1“, welches einen relativ hohen Anteil an Grünland besitzt und so keine reine Ackerland-Tierproduktion darstellt.

3.4.2.8 Auf Ackerland basierende Tierproduktion

Zwar kommen auch beim Intensiven Subsistenzackerbau oftmals Tiere vor. Doch während dort die Tiere bestimmte Funktionen innerhalb des Gesamtsystems übernehmen, die direkte Nutzung von Tierprodukten eine eher untergeordnete Rolle spielt, so ist es bei der Acker-Viehwirtschaft genau umgekehrt: Der Schwerpunkt oder das alleinige Ziel liegt hier in der Produktion von tierischen Produkten, hauptsächlich Fleisch und Eiern (die von Wiederkäuern produzierte Milch basiert zum größeren Teil auf Grünland). Zur Folge hat dies, dass hier im großen Ausmaß pflanzliche Produkte, die eigentlich direkt für den Menschen nutzbar wären, an erster Stelle Mais, als Tierfutter verwendet werden. Tendenziell ist die Grünland-Tierproduktion, aufgrund des kaum möglichen Transports des Grases über weitere Wege, mit einer lokalen Produktion des Futters verknüpft.

Bei der Ackerland-Tierproduktion besteht in ganz besonderem Ausmaß eine methodische Schwierigkeit hinsichtlich der als Bezugsgröße festzulegenden Fläche. Denn die in der Tierproduktion eingesetzten Futtermittel liegen, wie oben erläutert, gerade bei diesem System der Tierproduktion oftmals außerhalb der Produktionseinheit, das heißt, die Futtermittel werden zugekauft. Im Extremfall geht dies soweit, dass eine vollständige Spezialisierung auf die Tierproduktion stattfindet, in welchem Fall auch von landlosen Tierproduktionssystemen zu sprechen ist. Grundsätzlich gibt es hier zwei mögliche Vorgangsweisen: *Entweder* man verwendet weiter die innerhalb des Produktionssystems liegende Fläche als Bezugsgröße. In diesem Fall wäre etwa bei einem intensiven, kein eigenes Acker- oder Weideland besitzenden Schweinemastbetrieb die Fläche, zu der alle übrigen Parameter in Relation gesetzt werden jene, auf der die Schweine untergebracht sind. Sämtliche – direkt und indirekt – für die Tierproduktion verwendeten Energieträger wären damit als Energieeinsatz, bezogen auf diese Tierproduktionsfläche, zu bewerten. Damit wären auch die zugekauften, außerhalb der Produktionseinheit erzeugten Futtermittel ein Energieeinsatz in das System, nun nicht in Form von Fossilenergie wie im wesentlichen bei den Ackerbausystemen, sondern in Form von Biomasse. Hinzu kommt, dass zur Produktion der Futtermittel wiederum eine bestimmte Energie aufgewendet wurde, also Energie eingesetzt wurde, um die in Form von Futtermitteln eingesetzte Energie zu erzeugen. *Oder*, und darin besteht die zweite Möglichkeit des Umgangs mit dem Problem der Bezugsfläche, man bezieht grundsätzlich die gesamte Fläche, auf der die Futtermittel erzeugt wurden, in die Bezugsfläche mit ein und spezifiziert ggf. dann den Produktionssystemexternen und –internen Anteil der Fläche.

Im allgemeinen und wenn möglich, wurde in dieser Arbeit ersterer Ansatz gewählt, also grundsätzlich nur die innerhalb des Produktionssystems liegende Fläche als Bezugsfläche für die übrigen Parameter benutzt. Bei landlosen Tierproduktionssystemen, bei denen die landwirtschaftliche Produktion auf wenigen Hektaren Fläche stattfindet, bedeutet das zwar, dass der Energieeinsatz ein enormes Ausmaß annimmt – bei gleichzeitig für Tierproduktionssysteme ungewöhnlich hohem Energieertrag pro Fläche. Doch gerade hierin zeigt sich die grundsätzlich neue Qualität der landlosen Tierproduktion, die eher einer Fabrik gleichkommt, das heißt bestimmte Ressourcen, in diesem Fall vor allem Futtermittel, einkauft, um damit mit Hilfe von Maschinen, die in diesem Fall lebendig und in den meisten Fällen Schweine und Hühner sind, ein Produkt herzustellen, das einen höheren Wert besitzt, als die dazu eingesetzten Produktionsmittel.

Insbesondere bei den innerhalb der Einheit der Grünland-Tierproduktion eingeordneten Fallstudien "USA 1" und "USA 2" konnte dieses Konzept nicht angewandt werden, denn die betrieblich mutmaßlich getrennten Teile der Weide und des Finishing Lots sind in der Studie nicht getrennt angegeben. In diesem Fall beziehen sich die Parameter auf die gesamte, der Tierproduktion zugrundeliegende Fläche. Im Gegensatz dazu geht aus den im folgenden näher besprochenen Fallstudien "USA 3" und "Schweden 1" die Produktionssystemgrenze hervor. Insbesondere für "Schweden 1", das einen großen Teil der Futtermittel zukaufte, wenngleich es noch nicht als landlose Tierproduktion bezeichnet werden kann.

Schließlich muss betont werden, dass die typische Ackerland-Tierproduktion weniger aus den hier beschriebenen Molkereien, sondern vielmehr aus intensiven Schweine- und Geflügelhaltung besteht.

Da jedoch keine Fallstudie in der Literatur zu finden war, aus der die hier besprochenen Parameter umfassend hervorgehen, kann kein solches System berücksichtigt werden.

Energieeinsatz

Wie bei der der Grünland-Tierproduktion setzt sich der gesamte Energieeinsatz aus dem für die Produktion der Futtermittel und der in der Tierproduktion selbst eingesetzten Energie zusammen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob die Energie, welche zum Transport der Futtermittel aufgewandt wird, zum Energieeinsatz des Gesamtsystems gerechnet werden sollte. Es ist meiner Ansicht nach zu argumentieren, dass, betrachten wir den Prozess vom Ackerbau bis zum Tierprodukt, auch die zwischengeschalteten Schritte, zu denen auch der Transport der Futtermittel gehört, in die Gesamtbilanz eingeschlossen werden sollten. Vor allem für das hier betrachtete Fallbeispiel „Schweden 1“, das Futtermittel aus verschiedenen Teilen Europas und Südamerika bezieht, ist der auf den Transport zurückzuführende Energieeinsatz nicht unwesentlich⁴⁴, er wurde aber vorläufig nicht inkludiert, um eine mit den anderen Studien vergleichbare Systemgrenze zu gewährleisten.

Zwei der berücksichtigten Fallbeispiele, beides Molkereien, können zu diesem System gerechnet werden: „USA 3“ und „Schweden 1“.

„USA 3“ ist eine im Nordosten der USA liegende Molkerei, bei welcher die Kühe mit Luzerne, Mais-Silage und Mais gefüttert werden. Diese drei Futtermittel werden sehr extensiv innerhalb der selben Produktionseinheit hergestellt, also nicht eingekauft. Wie schon erwähnt, ist Luzerne in der Frage der Zuordnung zu Acker- oder Grünland durchaus diskussionswürdig. Insgesamt ergibt sich bei diesem Fallbeispiel ein **Energieeinsatz pro Fläche** von 3,67 GJ/ha/Jahr.

„Schweden 1“ ist eine Molkereiwirtschaft im Süden Schwedens, einem Land mit sehr intensiver Milchproduktion. Bezogen auf den Brennwert werden 52 % der Futtermittel innerhalb der Produktionseinheit hergestellt, 48% werden aus verschiedenen Quellen eingekauft. Die Art des Futtermittels ist, wiederum bezogen auf den Brennwert, ein Mix aus 35% Getreide und Ölsamen, 24% pflanzlichen Nebenprodukten⁴⁵ und 41% von Grünland stammenden Bestandteilen (Gras-Silage, Heu und direktes Gras). Insgesamt werden bei „Schweden 1“ – einschließlich der zugekauften Futtermittel – 90 GJ/ha/Jahr an Energie eingesetzt, also fast 25 mal so viel, wie beim amerikanischen System. Dies ist allerdings vor allem auf die als Energieeinsatz gewerteten, 68,9 GJ/ha/Jahr ausmachenden Futtermittel zurückzuführen. Man kann also bei "Schweden 1" trennen zwischen 15,2 GJ/ha/Jahr an hauptsächlich fossilen Energieträgern, für die interne Produktion von Futtermitteln und Tierprodukten – in diesem Fall Milch – aufgewendet werden, 5,9 GJ/ha/Jahr⁴⁶ an ebenfalls hauptsächlich fossilen Energieträgern, die zur Produktion der zugekauften Futtermittel eingesetzt werden und 68,9 GJ/ha/Jahr an Biomasse, die als Futtermittel zugekauft werden (siehe dazu auch Abbildung 12).

Energieertrag

"USA 3" bzw. "Schweden 1" besitzen einen **Energieertrag pro Fläche**, bezogen auf die Fläche des Produktionssystems, von 3,1 GJ/ha/Jahr bzw. 28,55 GJ/ha/Jahr in Form von Milch. Dem großen Unterschied um fast einen Faktor 10 liegen dabei drei Faktoren zugrunde: Zunächst werden beim System "Schweden 1" die innerhalb des Produktionssystems angebauten Futtermittel wesentlich

⁴⁴ Er liegt in der Größenordnung von 4 GJ/ha/Jahr, bezogen auf die Fläche des Produktionssystems von 113,7 ha. Bei einem Gesamteinsatz von Fossilenergie (einschließlich der externen Futtermittelproduktion) von 13,1 GJ/ha/Jahr ist dieser Energieeinsatz somit nicht vernachlässigbar.

⁴⁵ Pflanzliche Nebenprodukte sind hier dadurch definiert, dass ihr Marktwert unter dem des Hauptproduktes liegt.

⁴⁶ Dieser Wert ist eher unterschätzt, da nur von jenen Futtermitteln, die als Hauptbestandteil der Gesamtpflanze zu werten sind, der zuvor zu ihrer Produktion notwendige Energieeinsatz gezählt wurde. Als Hauptbestandteil einer Kulturpflanze, z.B. Mais, wurde der Teil bewertet, der den höchsten Marktwert besitzt, also beim Mais das Korn. Verfüttert wird etwa bei "Schweden 1" in hohem Ausmaß das als Nebenprodukt bewertete Maisglutenmehl.

intensiver und damit mit einem höheren Flächenertrag angebaut, was sich auf die darauf basierende Tierproduktion überträgt. Auch die Umwandlung erfolgt im schwedischen System effizienter als im amerikanischen: Während sich bei "Schweden 1" ca. 20% der in der verfütterten Biomasse enthaltenen Energie in der Milch wiederfinden, sind es beim System "USA 3" nur ca. 13%. Und schließlich hat den größten Anteil dieses hohen Energieertrags pro Fläche der indirekte Zukauf von Fläche über die von außerhalb des Produktionssystems stammenden Futtermittel. Einem hohen Energieeinsatz in Form von Futtermitteln steht also bei dem schwedischen System ein hoher Energieertrag in Form von Milch gegenüber. Dies macht auch deutlich, dass "Schweden 1" schon einen Schritt weiter in Richtung einer landlosen Tierfabrik in der oben beschriebenen Weise gegangen ist. Für ein vollkommen landlosen Schweinemastbetrieb würde sowohl Energieeinsatz als auch Energieertrag noch sehr viel höher ausfallen.

Im Vergleich zu den extensiven, Fleisch produzierenden Weidesystemen „USA 1“ und „USA 2“ zeigt sich, dass der Energieertrag für beide Molkereien – verglichen mit anderen Tierproduktionssystemen – ungewöhnlich hoch liegt: Dieser große Unterschied hat seinen Grund auf verschiedenen Ebenen: *Erstens* produziert das Ackerland sehr viel mehr an pflanzlicher Biomasseenergie pro Fläche, als die extensiven, wenig produktiven Weiden von „USA 1“ und „USA 2“. *Zweitens* kann Getreide in der Regel vom tierischen Organismus effizienter umgewandelt werden als Gras. *Drittens* ist die Umwandlung in Milch sehr viel effizienter als jene in Fleisch. Und *viertens* könnte auch die wahrscheinlich im Durchschnitt wärmere Umgebung der Milchkühe eine Rolle spielen, die einen großen Teil des Jahres in Stallgebäuden gehalten werden und auf diese Weise weniger an Energie in Form von abgestrahlter Körperwärme verlieren. Hinsichtlich der Umwandlungseffizienz von pflanzlicher in tierische Biomasse – in diesem Falle Fleisch – zeigt sich der Unterschied besonders krass: Nur 2% (im Fall von "USA 1") bzw. 6% (im Fall von "USA 2") der vom Tier aufgenommenen pflanzlichen Energie erhält der Mensch in Form von Nahrung. Allgemein lässt sich sagen, dass, hauptsächlich aufgrund der weniger effizienten Umwandlung von Raufutter und Gras im Vergleich zu Getreide, die auf Grünland basierende Tierproduktion deutlich mehr Fläche zur Erzeugung einer bestimmten Menge an Energie benötigt, als die auf Ackerland basierende Tierproduktion (Wirsenius 2003). Beispielhaft verdeutlicht wird dies auch durch die relativ größere Umwandlungseffizienz von "USA 2" im Vergleich zu "USA 1", dessen Grund anteilmäßigen längeren Aufenthalt der Kälber im Finishing Lot, in welchem fast ausschließlich Getreide verfüttert wird, zu suchen ist.

Für die **Energieeffizienz** stellt sich wegen des Einsatzes der Biomasseenergie durch zugekaufte Futtermittel wieder eine methodische Frage. Solange der Futtermiteinsatz nicht unter den Energieeinsatz fällt, stellt die Energieeffizienz bei industriellen Systemen den Energieertrag relativ zu der vor allem in Form von Fossilenergie direkt (zum Betrieb industrieller Werkzeuge) und indirekt (zur Herstellung industrieller Werkzeuge) eingesetzten Energie dar. Bei der industriellen Tierproduktion und im speziellen der Ackerland-Tierproduktion lässt sich die Energieeffizienz jedoch entweder als Energieertrag relativ zur eingesetzten Energie, einschließlich der Futtermittel, oder als Energieertrag relativ zur *Produktion der Futtermittel* eingesetzten Energie ermitteln. Da das Produktionssystem "USA 3" keine Futtermittel zukaft, liegt hier die Energieeffizienz bei 2,6, einschließlich des nicht an die Tiere verfütterten und somit zum Energieertrag zählenden Mais⁴⁷, "Schweden 1" weist nach erster Methode – also auch die Energie der zugekauften Futtermittel berücksichtigend – eine Energieeffizienz von 0,3 auf, bei Berücksichtigung nur der zur Produktion von Futtermitteln und zur Tierhaltung eingesetzten Energie liegt die Energieeffizienz bei 1,4⁴⁸.

Die **Arbeitsproduktivität** ist, aufgrund der fehlenden Angaben zum Zeiteinsatz in den beiden Artikeln, nicht ermittelbar.

Aus den Ertragswerten ergibt sich eine **maximale Bevölkerungsdichte** von 278 Personen/km² für das amerikanische und 816 Personen/km² für das schwedische Fallbeispiel. Dabei muss berücksichtigt

⁴⁷ Dies ist ganz entscheidend: Nur den Energieertrag durch die Milch berücksichtigend, dürfte die Energieeffizienz etwas über 1 liegen. Die in der Studie veröffentlichten Daten lassen eine Trennung des Energieeinsatzes zwischen Futtermittelproduktion und Produktion des direkt verkauften Mais jedoch nicht zu.

⁴⁸ Dieser Wert dürfte leicht überschätzt sein. Siehe dazu Fußnote 45.

werden, dass "USA 3" diesen Wert durch die Produktion von Mais deutlich erhöht, während bei "Schweden 1" eine Externalisierung bzw. ein indirekter Zukauf von Fläche erfolgt.

Kolonisierung

Wie die auf Grünland basierende Viehwirtschaft ist die HANPP_% auch hier durch die Fläche bestimmt, auf der die Futtermittel erzeugt werden. Die Gebäude, die hier zur Unterbringung der Tiere hinzukommen und für deren Fläche eine HANPP_% von 100% zu rechnen wäre, wurden im Vergleich dazu als vernachlässigbar angenommen. Anders wäre dies bei vollständig landloser Tierproduktion zu bewerten. In diesem Fall wäre die HANPP_% aus der NPP auf der Fläche der Stallgebäude zu ermitteln und würde deshalb bei 100% liegen.

Für „USA 3“ wurde eine HANPP_% von 97% ermittelt, was an der vollständigen Verwertung der angebauten Kulturen liegt: Für die Mais-Silage wird die gesamte Pflanze geerntet und auch die Luzerne wird komplett verfüttert. Bei „Schweden 1“ schätze ich die HANPP_% auf 50%, verursacht vor allem dadurch, dass ca. 80% der produktionssysteminternen Fläche aus Grünland bestehen, das allerdings sehr intensiv bewirtschaftet wird.

Bei der am weitesten fortgeschrittenen Form der Ackerland-Tierproduktion, der landlosen Tierproduktion, liegt die HANPP_%, wie oben angesprochen, bei 100%, da die Stallgebäude in der Regel keine ANPP_{akt} mehr zulassen. Jedoch zeigt sich hier in ganz ausgeprägter Form die in Abschnitt 3.2.3.2. besprochene externe Kolonisierung durch den Zukauf von Futtermitteln.

Zeiteinsatz

Für die beiden Fallbeispiele sind keine Angaben über den Zeiteinsatz vorhanden, genaue Aussagen über diesen Parameter sind deshalb nicht möglich. Jedoch lässt sich postulieren, dass bei einem typischen, auf Ackerland basierenden, landlosen Tierproduktionssystem intern vergleichsweise wenig Zeit eingesetzt wird. Der Zeiteinsatz wird, wie die Kolonisierung und die Fläche, durch den Zukauf der Futtermitteln externalisiert.

Box 2: Die Funktion von Tieren in Agrarsystemen

Tiere besitzen je nach Agrarsystem verschiedene Funktionen. Grundsätzlich kann man dabei zunächst zwischen (1) der Lieferung von Nahrungsenergie für den Menschen und (2) der Lieferung von Arbeitsenergie und der Funktion des Nährstoffmanagements im Agroökosystem unterscheiden. Wengleich sich diese beiden Funktionen überschneiden können, so überwiegt, je nach Agrarsystem-Typ, normalerweise klar entweder Funktion (1) oder (2) (siehe die Diskussion zu den einzelnen Einheiten von Agrarsystemen).

Die historisch ursprüngliche Nutzung von Tieren, das Jagen, genauso wie sein historischer Nachfolger in manchen Regionen, die Traditionelle Weide, waren eindeutig auf die Lieferung der Nahrungsenergie ausgerichtet, da in diesen Systemen eine Umgestaltung der Fläche und damit die Arbeitsenergie von Tieren nicht benötigt wurden. Über die genutzten Tiere verschaffte sich der Mensch indirekt Zugriff auf ansonsten für ihn nicht nutzbare Energie, vor allem Gräser und die Blätter von Bäumen und Sträuchern. Zu dieser Kategorie der Nutzung von Tieren zu Zwecken des Nahrungserwerbs ist auch die marktorientierte Grünland-Tierproduktion zu zählen.

Ganz anders sind die Tiere beim Intensiven Subsistenzackerbau einzuordnen. Die Produktion von Nahrung nimmt hier eine untegeordnete Rolle ein, Tiere stehen innerhalb des Agrarsystems an anderer Stelle: Zum einen sorgen sie für einen effektiveren Nährstoffkreislauf, vor allem durch die Verwertung von Ernterückständen (Stroh usw.), zum anderen spielen sie teilweise eine Rolle in der Übertragung von Nährstoffen aus Wald und Weide auf das Ackerland. Neben dieser Funktion, die man als Nährstoffmanagement bezeichnen könnte, sind sie in den meisten Intensiven Ackerbausystemen vor allem als Lieferanten von Arbeitsenergie zur Umgestaltung des Agroökosystems unabdingbar,

insbesondere zur Bewältigung der saisonal auftretenden Arbeitsspitzen, die speziell in der Landwirtschaft sehr ausgeprägt sind. Die Stellung der Tiere innerhalb des Agrarsystems entspricht dabei ganz den in industriellen Systemen eingesetzten Feldmaschinen.

Bei den in dieser Arbeit berücksichtigten Fallbeispielen des Intensiven Subsistenzackerbaus, die sich bereits in mehr oder weniger weitgehender Transition zu industriellen Systemen befinden, beträgt der Energieanteil der tierischen Biomasse an der insgesamt erzeugten Nahrungsenergie zwischen weniger als 0,1% (für „Honduras 1“) und 7,7% (für „Philippinen 2“). Aus dem Rahmen fällt hierbei allerdings das Fallbeispiel „China 5“, bei dem der Anteil von Tierprodukten an der erzeugten Gesamtenergie bei 23,9% liegt. Bei näherer Betrachtung dieses Systems fällt dann auch auf, dass es schon sehr weitgehend industrialisiert ist: Es werden keine Arbeitstiere mehr eingesetzt, der Einsatz von Fossilenergie ist vergleichbar mit der europäischen Intensivlandwirtschaft und die Produktion der tierischen Biomasse (durch Fischzucht), für die ein großer Teil der Nahrungsenergie zugekauft wird, dient fast ausschließlich zum Verkauf. Weil die Nahrung der dieses System betreibenden Menschen noch weitgehend in Subsistenz hergestellt wird, wurde es dennoch zum – sich in einem späteren Transitionsprozess befindlichen – Intensiven Subsistenzackerbau gerechnet.

Ein weiteres charakteristisches Merkmal des Tiereinsatzes im Subsistenzackerbau besteht darin, dass an die Arbeitstiere nur sehr wenig oder keine für den Menschen verwertbare Nahrung (z.B. Reis oder Mais) verfüttert wird. Die Nahrungsenergie stammt, wie alle in dieser Arbeit berücksichtigten Fallbeispiele bestätigen, entweder aus Ernterückständen (z.B. Stroh), oder aus Gras und Blättern, wobei man in letzterem Fall von einer Überschneidung der hier abgegrenzten Systeme der Traditionellen Tierweide und des Intensiven Subsistenzackerbaus sprechen muss. Auch die in den Fallstudien von Odend'hal untersuchten Energieflüsse von Rindern in Indien (Odend'hal 1972) bzw. China (Odend'hal 1993) bestätigen diesen Befund. Aufschlussreich ist in diesem Zusammenhang auch die Studie von Krausmann (2004), in der vier in Österreich liegende Agrarsysteme zum einen für das frühe 19. Jahrhundert, zum anderen vergleichend dazu für den gegenwärtigen Zeitpunkt untersucht werden. Auch hier bestätigt sich, dass in subsistenzorientierten Systemen nahezu ausschließlich pflanzliche Nebenprodukte und Gras an die Tiere verfüttert wird: Während im 19. Jahrhundert maximal 9% der Futtermittel aus Getreide bestanden, erhöhte sich dieser Anteil im entsprechenden, heute kommerziell betriebenen Produktionssystem auf 62%.

Ebenfalls zur Kategorie des Nährstoffmanagements können die in vielen Systemen des Extensiv-Industriellen Ackerbaus und des Organischen Landbaus eingesetzten Tiere gerechnet werden. Ein typisches Beispiel hierfür bieten die Fallbeispiele des Extensiv-Industriellen Ackerbaus „Neuseeland 1“ bis „Neuseeland 6“, bei denen Getreidekulturen im Wechsel mit von Schafen genutzten Weiden und Luzernefeldern angebaut werden. Der Anteil des aus tierischer Biomasse (Fleisch und Wolle) gewonnenen am gesamten Energieertrag beträgt hier zwischen 3,4 und 7,8%, liegt also in einer Größenordnung, die durchaus mit dem Intensiven Subsistenzackerbau vergleichbar ist. Zwar spielt dabei sicher auch der Verkauf des Fleisches und evtl. der Wolle eine gewisse ökonomische Rolle, die Einteilung nach der Funktion der Tiere ist also nicht scharf abzugrenzen, doch zumindest eine wesentliche Rolle der Tiere dürfte hier die Aufrechterhaltung eines effizienten Nährstoffkreislaufs sein. Allerdings nehmen die Tiere, im Unterschied zum Intensiven Subsistenzackerbau, in Extensiv-Industriellen Systemen, genauso beim Organischen Landbau, keine Funktion als Lieferanten von Arbeitsenergie mehr ein. Diese Position im Gesamtsystem wird dort von fossilenergiebetriebenen Maschinen eingenommen.

Vollständig abzutrennen von allen anderen Tiere enthaltenden Systemen ist die auf Ackerland basierende Tierproduktion. Damit sind jene industriellen Systeme gemeint, bei denen Tierprodukte – zumindest zu einem wesentlichen Teil – auf der Basis von für den Menschen verwertbaren, im Ackerbau produzierten Futtermitteln erzeugt werden. Wie soeben erläutert, ist eine Gemeinsamkeit aller anderen Traditionellen Agrarsysteme und des Extensiv-Industriellen Ackerbaus, soweit Tiere integriert sind, dass Tiere als Verwerter der für den Menschen nicht verwertbaren Nahrungsmittel dienen. Die Nutzung etwa von Mais und Sojabohnen in der Schweinemast ist also eine Erfindung kapitalistisch produzierender Produktionssysteme. Diese Form der Tierhaltung ist vollständig desintegriert, sie geht aus einer Segregation des Intensiv-Industriellen Ackerbaus auf der einen und der

Intensiven, auf Ackerbau basierenden Tierproduktion auf der anderen Seite hervor. Neben der Ausrichtung der Futtermittelwahl einzig am resultierenden Profit hat diese Desintegration zur Folge, dass aus dem wertvollen Tierdung ein Problemstoff mit zusätzlich problematischen Auswirkungen auf die Umwelt wird (siehe z.B. Bittermann 1991a, Bittermann 1991b).

Abschließend soll betont werden, dass vor dem hier erläuterten Hintergrund der grundsätzlich unterschiedlichen Funktion von Tieren deutlich wird, dass der oftmals vorgenommene Vergleich oder gar eine daraus hervorgehende Bewertung verschiedener Tierproduktionssysteme allein anhand des Kriteriums der Energieeffizienz (wie z.B. bei Wirsenius 2003) eine zu stark verengte Perspektive darstellt. Auf die Schwäche eines solchen, offenbar schon eine längere Tradition besitzenden Ansatzes weist schon Odend'hal 1972 hin, wenn er schreibt:

„However, would it be relevant to compare the amount of bullock power produced in India to that of useful work performed by steers in America? Thus, a comparison of meat and milk production between the two types of cattle as a measure of their productiveness is virtually meaningless.“
(Odend'hal 1972, S.4)

Durch die Betrachtung des gesamten Energieflusses auf der Ebene der einzelnen Produktionssysteme versucht diese Arbeit einen solch verengten und damit irreführenden Blick zu vermeiden.

4. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit vergleicht auf globaler Ebene die sozial-ökologischen Charakteristika von Agrarsystemen und entwirft, damit einhergehend, eine an sozial-ökologischen Kriterien orientierte Klassifikation. Die Hauptaspekte, die bei Vergleich und Klassifikation berücksichtigt werden, sind Energieeinsatz und –Ertrag, Zeiteinsatz, sowie die gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (HANPP). Als quantitative Grundlage des Vergleichs dienen publizierte Fallstudien und ergänzende Angaben aus der Literatur. In einem rekursiven Prozess, bestehend aus postulierter Einteilung und Modifikation der Einteilung anhand der Fallstudien und weiterer Literatur, wurden solche Einteilungskriterien festgelegt, die bestmöglich die sozial-ökologischen Unterschiede reflektieren, dabei jedoch gleichzeitig an traditionelle Klassifikationen von Agrarsystemen anschlussfähig sind. Als Einteilungskriterium erster Ordnung bzw. zweiter Ordnung wurden Produktionsmodus bzw. Nahrungspyramidenebene festgelegt. Die Pflanzenproduktionssysteme werden weiter nach dem Brache-Anbau-Verhältnis, die Tierproduktionssysteme nach der Art der verwendeten Futtermittel (Gras/Nebenprodukte oder Getreide) aufgeteilt. Daraus ergibt sich folgende Klassifikation:

1. Unkontrollierte Extraktionssysteme

- 1.1. Jagen und Sammeln
- 1.2. Fischerei

2. Kontrollierte agrarische Produktionssysteme

2.1. Traditionelle Subsistenzorientierte Agrarsysteme

- 2.1.1. Traditionelle Weidesysteme
 - 2.1.1.1. Nomadismus
 - 2.1.1.2. Seminomadismus (Transhumance)
 - 2.1.1.3. Sesshafte Weide
- 2.1.2. Langbrachesysteme
 - 2.1.2.1. Wanderfeldbau
 - 2.1.2.2. Brachesysteme

2.1.3. Intensiver Subsistenzackerbau

2.2. Moderne Marktorientierte Agrarsysteme

- 2.2.1. Industrieller Ackerbau
 - 2.2.1.1. Extensiv-Industrieller Ackerbau
 - 2.2.1.2. Intensiv-Industrieller Ackerbau
 - 2.2.1.3. Spezialkulturen und Gewächshausanbau
- 2.2.2. Dauerkulturen
- 2.2.3. Industrielle Tierproduktion
 - 2.2.3.1. Auf Grünland basierende Tierproduktion
 - 2.2.3.1.1. Extensive auf Grünland basierende Tierproduktion (Ranching)
 - 2.2.3.1.2. Intensive auf Grünland basierende Tierproduktion
 - 2.2.3.2. Auf Ackerland basierende Tierproduktion

5. Literatur

- Aereboe, F. (1919): *Allgemeine landwirtschaftliche Betriebslehre*. Berlin: Parey.
- Aitchison, Elisabeth (1988): Cereal straw and stubble for sheep feed. In: *Journal of Agriculture, Western Australia* 29(3), pp. 96-101.
- Akiyama, T., Takahashi, S., Shiyomi, M., and Okubo, T. (1984): Energy flow at the producer level. The energy dynamics of grazed grassland I. In: *Oikos* 42, pp. 129-137.
- Andreae, Bernd (1983): *Agrargeographie*. Berlin: de Gruyter.
- Arnason, T., Lambert, J. D. H., Gale, J., Cal, J., and Vernon, H. (1982): Decline of soil fertility due to intensification of land use by shifting agriculturalists in Belize, Central America. In: *Agro-Ecosystems* 8, pp. 27-37.
- Arnhold, J. and Lindemann, K. H. (1974): Landwirtschaftliche Nutzungsformen und Probleme der Rinderhaltung auf Neurodungsflächen in immerfeuchten Regenwaldklimaten. In: *Tropenlandwirt* 75 (April und Oktober).
- Arnold, Adolf (1997): *Allgemeine Agrargeographie*. Gotha: Perthes.
- Ball, Rosalind A., Purcell, Larry C., and Vories, Earl D. (2000): Short-Season Soybean Yield Compensation in Response to Population and Water Regime. In: *Crop Science* 40(4), pp. 1070-1078.
- Bataille, Georges (1985): *Die Aufhebung der Ökonomie*. München: Matthes und Seitz.
- Beckerman, S. (1983): Does the swidden ape the jungle? In: *Human Ecology* 11(1), pp. 1-12.
- Beckerman, S. (1987): Swidden in Amazonia and the Amazon Rim. In: Turner II, Billie L. and Brush, Stephen B. (Eds.): *Comparative Farming Systems*. New York: The Guilford Press, pp. 55-94.
- Bittermann, Wolfgang (1991): Umweltrelevante Aspekte der Landwirtschaft, Teil 1. In: *Statistische Nachrichten* 46(4), pp. 375-389.
- Bittermann, Wolfgang (1991): Umweltrelevante Aspekte der Landwirtschaft, Teil 2. In: *Statistische Nachrichten* 46(8), pp. 745-754.
- Bonny, Sylvie (1993): Is Agriculture Using More and More Energy? A French Case Study. In: *Agricultural Systems* 43, pp. 51-66.
- Boserup, Ester (1965): *The conditions of agricultural growth - the economics of agrarian change under population pressure*. London: Earthscan (An Earthscan Paperback).
- Boyden, Stephen V. (1992): *Biohistory: The Interplay Between Human Society and the Biosphere - Past and Present*. Paris, Casterton Hall, Park Ridge, New Jersey: UNESCO and Parthenon Publishing Group (Man and the Biosphere Series; 8).
- Breman, H. and De Wit, C. T. (1983): Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. In: *Science* 221(4618), pp. 1341-1346.
- Brinkmann, Th. (1922): Bodennutzungssysteme. In: *Handwörterbuch der Staatswissenschaften*. Jena: Fischer, pp. 959-973.
- Brookfield, H., Lian, F. J., Kwai-Sim, L., and Potter, L. (1990): Borneo and the Malay Peninsula. In: Clark, W. C. et al. (Eds.): *The Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 495-512.
- Brown, Paula and Brookfield, H. C. (1963): *Struggle for Land*. Melbourne: Oxford University Press.

- Bülow-Olsen, A. (1980): Net primary production and net secondary production from grazing in an area dominated by *Deschampsia flexuosa* Trin. by nursing cows. In: *Agro-Ecosystems* 6, pp. 51-66.
- Caballero, Rafael, Rioperez, J., Fernández, E., Arauzo, M., and Hernaiz, P. J. (1992): Performance of Manchega ewes grazing cereal stubbles and cultivated pastures. In: *Small Ruminant Research* 7, pp. 315-329.
- Caballero, Rafael (1999): Castile-La Mancha: a once traditional and integrated cereal-sheep farming system under change. In: *American Journal of Alternative Agriculture* 14, pp. 188-192.
- Caballero, Rafael (2001): Typology of cereal-sheep farming systems in Castile-La Mancha (south-central Spain). In: *Agricultural Systems* 68, pp. 215-232.
- Cederberg, C. (1998): Life cycle assessment of milk production. Gothenburg: The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- Clark, Colin and Haswell, Margaret (1964): *The economics of subsistence agriculture*. London: Macmillan.
- Condit, R., Windsor, D. M., and Hubbell, S. P. (1996): NPP Tropical Forest: Barro Colorado, Panama, 1969-1990. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Costa, Carlos, Dwyer, Lianne M., Stewart, Doug W., and Smith, Donald L. (2002): Nitrogen Effects on Grain Yield and Yield Components of Leafy and Nonleafy Maize Genotypes. In: *Crop Science* 42(5), pp. 1556-1563.
- Coughenour, M. B., Ellis, J. E., Swift, D. M., Coppock, D. L., Galvin, K., McCabe, J. T., and Hart, T. C. (1985): Energy extraction and use in a nomadic pastoral ecosystem. In: *Science* 230(4726), pp. 619-625.
- Cox, William J. and Cherney, Debbie J. R. (2001): Influence of Brown Midrib, Leafy, and Transgenic Hybrids on Corn Forage Production. In: *Agronomy Journal* 93(4), pp. 790-796.
- Cramb, R. A. (1993): Shifting cultivation and sustainable agriculture in East Malaysia: a longitudinal case study. In: *Agricultural Systems* 42, pp. 209-226.
- Curtis, D. F., Tanner, J. W., Luzzi, B. M., and Hume, D. J. (2000): Agronomic and Phenological Differences of Soybean Isolines Differing in Maturity and Growth Habit. In: *Crop Science* 40(6), pp. 1624-1629.
- Dalgaard, Tommy, Halberg, Niels, and Porter, John R. (2001): A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87, pp. 51-65.
- Dalsgaard, J. P. T. and Oficial, R. T. (1997): A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological contributions of smallholder farms. In: *Agricultural Systems* 55(4), pp. 503-533.
- Daubenmire, J. (1997): NPP Grassland: Canas, Costa Rica, 1969-1970. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Dawe, D. (2004): The second green revolution - trends and implication in pesticide use. Available on-line [<http://www.knowledgebank.irri.org/pestUseRev/print.doc>] from Rice Knowledge Bank, The International Rice Research Institute (IRRI), Philippines. Accessed 01/2005.
- De Jager, A., Onduru, D., van Wijk, M. S., Vlaming, J., and Gachini, G. N. (2001): Assessing sustainability of low-external-input farm management systems with the nutrient monitoring approach: a case study in Kenya. In: *Agricultural Systems* 69, pp. 99-118.
- Dean, R., Ellis, J. E., Rice, R. W., and Bement, R. E. (1975): Nutrient removal by cattle from a shortgrass prairie. In: *Journal of Applied Ecology* 12(1), pp. 25-29.

- DeAngelis, D. L., Gardner, R. H., and Shugart, H. H. (1997): NPP Multi-Biome: Global IBP Woodlands Data, 1955-1975. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Deere (2004): The Story of John Deere. Available on-line [http://www.deere.com/en_US/compinfo/history/] from Deere & Company, Moline (IL). Accessed 01/2005.
- Detling, J. K. (1988): Grasslands and savannas: regulation of energy flow and nutrient cycling by herbivores. In: *Ecological studies: analysis and synthesis* 67, pp. 131-148.
- Diamond, Jared (2002): Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. In: *Nature* 418, pp. 700-707.
- Dixon, John, Gulliver, Aidan, and Gibbon, David (2001): *Farming Systems and Poverty - Improving Farmer's livelihood in a changing world*. Rome and Washington: FAO and World Bank.
- Dove, M. R. (1993): Smallholder rubber and swidden agriculture in Borneo: a sustainable adaption to the ecology and economy of the tropical forest. In: *Economic Botany* 47, pp. 136-147.
- Duckham, A. N. and Masefield, G. B. (1970): *Farming Systems of the World*. New York, Washington: Praeger Publishers.
- Edmeades, G. O., Bolanos, J., Chapman, S. C., Lafitte, H. R., and Banziger, M. (1999): Selection Improves Drought Tolerance in Tropical Maize Populations: I. Gains in Biomass, Grain Yield, and Harvest Index. In: *Crop Science* 39(5), pp. 1306-1315.
- Emerson, Rollins A. (1953): A preliminary survey of the milpa system of maize culture as practiced by the Maya Indians of the northern part of the Yucatan Peninsula. In: *Annals of the Missouri Botanical Garden* 40(1), pp. 51-72.
- Ennin, Stella A. and Clegg, Max D. (2001): Effect of Soybean Plant Populations in a Soybean and Maize Rotation. In: *Agronomy Journal* 93(2), pp. 396-403.
- Ewell, P. T. and Merrill-Sands, D. (1987): Milpa in Yucatán: a long-fallow maize system and its alternatives in the Maya Peasant Economy. In: *Comparative Farming Systems*. New York: The Guilford Press, pp. 96-129.
- FADINAP/UN (2004): Type of fertilizers produced in India. Available on-line [<http://www.fadinap.org/india/f-type.htm>] from United Nations, Fertilizer Advisory Development and Information Network for Asia and the Pacific (FADINAP), Bangkok, Thailand. Accessed 01/2005.
- FAO/SIDA (1974): Report on Regional Seminar on Shifting Cultivation and Soil Conservation in Africa. Rome: Food and Agriculture Organization
- Faucher, D. (1949): *Géographie agraire*. Paris: Génin
- Fischer-Kowalski, Marina, Haberl, Helmut, Hüttler, Walter, Payer, Harald, Schandl, Heinz, Winiwarter, Verena, and Zangerl-Weisz, Helga (1997): *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie*. Amsterdam: Gordon & Breach Fakultas
- Flowers, N. M., Gross, D. R., Ritter, M. L., and Werner, D. W. (1982): Variation in swidden practices in four central Brazilian Indian societies. In: *Human Ecology* 10(2), pp. 203-217.
- Fotzo, P. T. (1977): Resource productivity and returns in rice production under alternative farming systems. A comparative study in the North-West Province of Cameroun. Master Thesis, University of Ibadan, Nigeria.
- Franzel, Steven, Wambugu, Charles, and Tuwei, Paul (2003): The adoption and dissemination of fodder shrubs in Central Kenya. London: Agricultural Research and Extension Network.

- Frederick, James R., Bauer, Philip J., and Busscher, Warren J. (2001): Grain Yield and Yield Components of Doublecropped Winter Wheat as Affected by Wheat and Previous Soybean Production Practices. In: *Crop Science* 41(3), pp. 778-784.
- Fritz, Thomas (2004): Feindliche Übernahme - Die geplante Freihandelszone zwischen der Europäischen Union und dem Mercosur. Berlin: Berliner Landesarbeitsgemeinschaft Umwelt und Entwicklung, pp. 1-22.
- Gajasen, J. (1995): Energy analysis of wetland rice systems in Thailand. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 52(2-3), pp. 173-178.
- Galaty, John G. and Johnson, D. L. (1987): *The world of pastoralism - herding systems in comparative perspective*. New York, NY: Guilford Press
- Gander, M. V. (1982): The dynamics and trophic ecology of grasshoppers (Acridoidea) in a South African savanna. In: *Oecologia* 54, pp. 370-378.
- George, Thomas, Magbanua, Roger, Roder, Walter, Van Keer, Koen, Trebuil, Guy, and Reoma, Veronica (2001): Upland Rice Response to Phosphorus Fertilization in Asia. In: *Agronomy Journal* 93(6), pp. 1362-1370.
- George, Thomas, Magbanua, Roger, Garrity, Dennis P., Tubana, Brenda S., and Quito, Jonathan (2002): Rapid Yield Loss of Rice Cropped Successively in Aerobic Soil. In: *Agronomy Journal* 94(5), pp. 981-989.
- Gezer, I., Acaroglu, M., and Haciseferogullari, H. (2003): Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. In: *Biomass and Bioenergy* 24(3), pp. 215-219.
- Giampietro, Mario, Ceretelli, Giovanni, and Pimentel, David (1992): Assessment of Different Agricultural Production Practices. In: *Ambio* 21(7), pp. 451-459.
- Giampietro, Mario (2004): *Multi-Scale Integrated Analysis of Agroecosystems*. Boca Raton, London: CRC.
- Goklany, Indur M. (2002): The ins and outs of organic farming. In: *Science* 298, pp. 1889-1889.
- Goldstein, M. C. and Beall, C. M. (1991): Change and continuity in nomadic pastoralism on the Western Tibetan plateau. In: *Nomadic Peoples* 28, pp. 105-122.
- Golley, Frank B., Ruiz, Ann C., and Bellot, Juan (1990): Analysis of resource allocation to irrigated maize and wheat in northern Spain. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 31, pp. 313-323.
- Gómez-Pompa, A. and Vásquez-Yanes, C. (1981): Successional studies of a rain forest in Mexico. In: West, D. C. et al. (Eds.): *Forest Succession: Concepts and Applications*. New York, Berlin, Wien: Springer-Verlag, pp. 246-266.
- Grayzel, J. A. (1990): Markets and migration: a fulbe pastoral system in Mali. In: Galaty, John G. and Johnson, D. L. (Eds.): *The world of pastoralism*. New York and London: The Guildford Press and Belhaven Press, pp. 35-67.
- Grey, George (1841): Journals of Two Expeditions of Discovery in North-West and Western Australia, During the Years 1837, 38, and 39. London: Boone.
- Grigg, D. B. (1974): *The Agricultural Systems of the World. An Evolutionary Approach*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press (Cambridge Geographical Studies; 5).
- Grigg, David (1969): The agricultural regions of the world: review and reflections. In: *Economic Geography* 45(2), pp. 95-132.
- Guo, J. Y. and Bradshaw, A. D. (1993): The flow of nutrients and energy through a Chinese farming system. In: *Journal of Applied Ecology* 30, pp. 86-94.

- Haberl, H., Schulz, N. B., Plutzer, C., Erb, K., Krausmann, F., Loibl, W., Moser, D., Sauberer, N., Weisz, H., Zechmeister, H.G. and Zülka, P. (2004): Human appropriation of net primary production and species diversity in agricultural landscapes. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102(2), pp. 213-218.
- Haberl, Helmut (1995): Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen: Sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken Österreichs. Wien: IFF Social Ecology (Social Ecology Working Papers, 43).
- Haberl, Helmut (2001): The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts. In: *Journal of Industrial Ecology* 5(1), pp. 11-33.
- Hahn, Eduard (1892): Die Wirtschaftsformen der Erde. In: *Dr.A.Petermann's Mitteilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt* 38, pp. 8-12.
- Hames, R. (1983): Monoculture, polyculture and polyvariety in tropical forest swidden cultivation. In: *Human Ecology* 11(1), pp. 13-34.
- Han, Chun-Ru, Golley, Frank, and Mou, Zheng-Guo (1985): Energy analysis of advanced collective farms in North China. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 13, pp. 217-240.
- Hansen, P. K. (1995): Shifting Cultivation Adaptations and Environment in a Mountainous Watershed in Northern Thailand. Thesis, Institute of Agricultural Sciences, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Haynes, R. J. and Francis, G. S. (1990): Effects of mixed cropping systems on changes in soil properties on the Canterbury Plains. In: *New Zealand Journal of Ecology* 14, pp. 73-82.
- Heitschmidt, R. K., Price, D. L., Gordon, R. A., and Frasure, J. R. (1982): Short duration grazing at the Texas Experimental Ranch: effects on aboveground net primary productivity and seasonal growth dynamics. In: *Journal of Range Management* 35, pp. 367-372.
- Heitschmidt, R. K., Short, R. E., and Grings, E. E. (1996): Ecosystems, sustainability, and animal agriculture. In: *Journal of Animal Science* 74(6), pp. 1395-1405.
- Herren, Urs J. (1992): Cash from camel milk: the impact of commercial camel milk sales on Garre and Gaaljacel camel pastoralism in Southern Somalia. In: *Nomadic Peoples* 30, pp. 97-113.
- Hill, Narelle, Carslake, Laurence, and Wallwork, Simon (2003): *Fertiliser inputs for maximum yield and quality of Gairdner barley*. "Solutions for a better environment". Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Victoria: Australian Society of Agronomy.
- IEA (2004): *Key World Energy Statistics*. Paris: International Energy Agency. Available on-line [<http://library.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/nppdf/free/2004/keyworld2004.pdf>] from International Energy Agency, Paris. Accessed 01/2005.
- Jin, Y., Xiong, Y., and Ervin, R. T. (1990): Energy efficiency of grassland animal production in Northwest China. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 31, pp. 63-76.
- Joosten, J. H. L. (1962): *Wirtschaftliche und agrarpolitische Aspekte tropischer Landbausysteme*. Göttingen: Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre.
- Jordan C.F. (1987): Shifting cultivation. In: *Amazonian Rain Forests. Ecological Studies* 60: 9-23.
- Kiekens, J. P. (1984): Proposition de gestion agro-sylvo-pastorale pour les zones sahélienne de l'Afrique Occidentale: situation et perspectives, PhD Thesis, Section Agronomie, Université Libre de Bruxelles.
- Kinyamario, J. I. (1996): NPP Grassland: Nairobi, Kenya, 1984-1994. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.

- Kira, T., Manokaran, N., and Appanah, S. (1998): NPP Tropical Forest: Pasoh, Malaysia, 1971-1973. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Kostrowicki, Jerzy (1979): Twelve years' activity of the IGU commission on agricultural typology. In: *Geographia Polonica* 40, pp. 235-253.
- Kostrowicki, Jerzy (1980): A hierarchy of world types of agriculture. In: *Geographia Polonica* 43, pp. 125-148.
- Krausmann, Fridolin (2003): Milk, Manure and Muscular Power. Livestock and the Industrialization of Agriculture. In: *Human Ecology* In Press.
- Kuznar, Lawrence A. (1991): Transhumant goat pastoralism in the high sierra of the South Central Andes: human responses to environmental and social uncertainty. In: *Nomadic Peoples* 28, pp. 93-104.
- Lacey, J. R. and Van Poolen, H. W. (1981): Comparison of herbage production on moderately grazed and ungrazed western ranges. In: *Journal of Range Management* 34, pp. 210-212.
- Lamprey, H. F. (1975): Report on the desert encroachment reconnaissance in Northern Sudan. Nairobi: UNEP/UNESCO.
- Lang, H. (1978): The economics of rainfed rice cultivation in West Africa, Dissertation, Universität Hohenheim.
- Lauenroth, W. K. (1979): Grassland primary production: North American grasslands in perspective. In: French, N. R. (Ed.): *Perspectives in Grassland Ecology*. New York: Springer-Verlag.
- Lauk, Christian und Gaube, Veronika (2005, forthcoming): Wanderfeldbau – HANPP-Relevante Charakteristika. Wien: IFF Social Ecology (Social Ecology Working Paper).
- Le Houérou, H. N. (1989): *The Grazing Land Ecosystems of the African Sahel*. Berlin: Springer-Verlag.
- Leach, Gerald (1976): *Energy and Food Production*. Guildford: IPC Science and Technology Press.
- LEAD/FAO (2004): Tropical Livestock Units (TLU). Available on-line [<http://lead.virtualcenter.org/en/dec/toolbox/Mixed1/TLU.htm>] from FAO, Livestock, Environment and Development LEAD Initiative, Rome.
- Lee, R. B. (1969): !Kung bushmen subsistence: an input-output analysis. In: *Environment and Cultural Behaviour*. New York: Natural History Press.
- Leege, T. A., Herman, D. J., and Zamora, B. (1981): Effects of cattle grazing on mountain meadows in Idaho. In: *Journal of Range Management* 34, pp. 324-328.
- Levasseur, V. and Olivier, A. (2000): The farming system and traditional agroforestry systems in the Maya community of San Jose, Belize. In: *Agroforestry systems* 49(3), pp. 275-288.
- Lieth, H. (1975): Primary Production of the Major Vegetation Units of the World. In: Lieth, H. and Whittaker, R. H. (Eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York: Ecological Studies 14, Springer, pp. 203-215.
- Lopez-Bellido, Luis, Lopez-Bellido, Rafael J., Castillo, Juan E., and Lopez-Bellido, Francisco J. (2000): Effects of Tillage, Crop Rotation, and Nitrogen Fertilization on Wheat under Rainfed Mediterranean Conditions. In: *Agronomy Journal* 92(6), pp. 1054-1063.
- Lugo, A. E., Scatena, F., and Jordan, C. F. (1999): NPP Tropical Forest: Luquillo, Puerto Rico, 1963-1994. . Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Ma, Z. Y. and Edwards-Jones, G. (1997): Optimizing the external input into farmland ecosystems: a case study from Ningxia, China. In: *Agricultural Systems* 53, pp. 269-283.

- MacDicken, Kenneth G. and Vergara, Napoleon T. (1990): *Agroforestry: classification and management*. New York: Wiley (A Wiley interscience publication).
- Manner, H. I. (1981): Ecological succession in new and old swiddens of Montane Papua New Guinea. In: *Human Ecology* 9(3), pp. 359-377.
- Mannion, Antoinette M. (1995): *Agriculture and Environmental Change. Temporal and Spatial Dimensions*. Chichester, New York: John Wiley & Sons.
- Mäder, Paul, Fließbach, Andreas, Dubois, David, Gunst, Lucie, Fried, Padruot, and Niggli, Urs (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. In: *Science* 296, pp. 1694-1697.
- Mäder, Paul, Fließbach, Andreas, Dubois, David, Gunst, Lucie, Fried, Padruot, and Niggli, Urs (2002): Response. In: *Science* 298, pp. 1889-1890.
- McCarthy, F. D. and McArthur, M. (1960): The food quest and the time factor in Aboriginal economic life. In: Mountford, C. P. (Ed.): *Records of the American-Australian Scientific Expedition to Arnhem Land. Volume 2, Anthropology and Nutrition*. Melbourne: Melbourne University Press, pp. 145-194.
- Mertz, O. and Christensen, H. (1997): Land use and crop diversity in two Iban communities, Sarawak, Malaysia. In: *Danish Journal of Geography* 97, pp. 98-110.
- Mertz, O. (2002): The relationship between length of fallow and crop yields in shifting cultivation: a rethinking. In: *Agroforestry systems* 55(2), pp. 149-159.
- Mitchell, R. (1979): *The Analysis of Indian Agro-ecosystems*. New Delhi: Interprint.
- Morrison, I. K. and Foster, N. W. (2001): NPP Boreal Forest: Mississagi, Canada, 1970-1973. . Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge (TE). Accessed 11/2004.
- Naazar, Ali, Farzad, Javidfar, Jafarieh Yazdi, Elmira, and Mirza, M. Y. (2003): Relationship among yield components and selection criteria for yield improvement in winter rapeseed *Brassica napus* (L.). In: *Pakistan Journal of Botany* 35(2), pp. 167-174.
- Nguyen, M. L. and Haynes, R. J. (1995): Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 52(2-3), pp. 163-172.
- Nye, P. H. and Greenland, D. J. (1960): The soil under shifting cultivation. Harpenden, England: Commonwealth Bureau of Soils (Technical Commentary 51).
- Odend'hal, Stewart (1972): Energetics of Indian Cattle in Their Environment. In: *Human Ecology* 1(1), pp. 3-22.
- Odend'hal, Stewart (1993): Energetics of cattle in a rural Chinese village. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 13(3-4), pp. 201-215.
- Odum, Howard T. (1983): *Systems ecology - an Introduction*. New York-Chichester: John Wiley & Sons.
- Ohiagu, C. E. A. (1979): A quantitative study of seasonal foraging by the grass harvesting termite, *Trinervitermes geminatus* (Isoptera, Nasutitermitinae) in Southern Guinea Savanna, Mokwa, Nigeria. In: *Oecologia* 40, pp. 179-188.
- Oltjen, J. W. and Beckett, J. L. (1996): Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. In: *Journal of Animal Science* 74(6), pp. 1406-1409.
- Ozkan, B., Kurklu, A., and Akcaoz, H. (2004): An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. In: *Biomass and Bioenergy* 26(1), pp. 89-95.
- Pagot, J. (1992): *Animal production in the tropics*. London: MacMillan.

- Pandya, S. M. and Pedhadiya, M. D. (1993): Energy analysis of an Indian village semi-arid ecosystem. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 45, pp. 157-175.
- Patyk, Andreas and Reinhardt, Guido A. (1997): *Düngemittel- Energie- und Stoffstrombilanzen*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.
- Peng, S., Laza, R. C., Visperas, R. M., Sanico, A. L., Cassman, K. G., and Khush, G. S. (2000): Grain Yield of Rice Cultivars and Lines Developed in the Philippines since 1966. In: *Crop Science* 40(2), pp. 307-314.
- Pennsylvania Agricultural Statistics Service (2000): Pennsylvania: Soybeans - Acreage, Yield, Production & Value 2000. Available on-line [<http://www.nass.usda.gov/pa/annsum01/soybean.pdf>] from National Agricultural Statistics Service. Accessed 01/2005.
- Pimentel, D., Hurd, L. E., Bellotti, A. C., Forster, M. J., Oka, I. N., Sholes, O. D., and Whitman, R. J. (1973): Food production and the energy crisis. In: *Science* 182, pp. 443-449.
- Pimentel, David (1980): *CRC Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. Boca Raton: CRC.
- Rajan, K. S., Shffiasaki, Ryosuke, and Takagi, Masataka (1995): *Simulating Agricultural Land Use Changes in Thailand*. Asian conference on remote sensing, Thailand.
- Reganold, John P. (1989): Farming's organic future. In: *New Scientist* (10 June), pp. 49-52.
- Rijal, K., Bansal, N. K., and Grover, P. D. (1993): Energy and subsistence: Nepalese agriculture. In: *Bioresource Technology* 37, pp. 61-69.
- Rourke, B. E. (1974): Profitability of cacao and alternative crops in Eastern Region, Ghana. In: *Economics of Cacao Production and Marketing*. Legon: University of Ghana.
- Ruthenberg, Hans (1980): *Farming systems in the tropics*. Oxford: Clarendon Press
- Rychnovska, M., Ulehlova, B., Jakrlova, J., and Tesarova, M. (1977): *Biomass budget and energy flow in alluvial meadow ecosystem*. XIII International Grassland Congress, Berlin: Akademie-Verlag.
- Sabelberg, Elmar (1975): Kleinbauerntum, Mezzadria, Latifundium. In: *Geographische Rundschau* 27, pp. 326-336.
- Sadras, Victor O. and Calvino, Pablo A. (2001): Quantification of Grain Yield Response to Soil Depth in Soybean, Maize, Sunflower, and Wheat. In: *Agronomy Journal* 93(3), pp. 577-583.
- Sahlins, Marshall (1972): *Stone Age Economics*. New York: Aldine de Gruyter.
- Sarmiento, Lina, Monasterio, Maximina, and Montilla, Miguel (1993): Ecological bases, sustainability, and current trends in traditional agriculture in the Venezuelan High Andes. In: *Mountain Research and Development* 13(2), pp. 167-176.
- Schroll, H. (1994): Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 51(3), pp. 301-310.
- Scrimshaw, Nevin S. and Taylor, Lance (1980): Welternährung. In: *Spektrum der Wissenschaft* (November), pp. 63-73.
- Sharma, Binod P. (2002): Nepal National Report. Available on-line [http://www.fao.org/landandwater/swlwpnr/reports/y_sa/z_np/np.htm] from FAO/AGL Land and Water Development Division. Accessed 01/2005.
- Sharma, S. and Singh, S. P. (1997): Human Resources and sustainable agriculture: a case study from Central Himalaya. In: *Journal of Sustainable Agriculture* 10(1), pp. 75-86.

- Sharma, Subrat and Singh, S. P. (1997): Different agroecosystem productivities across three landforms with similar natural productivities in Central Himalaya. In: *Journal of Sustainable Agriculture* 10(1), pp. 87-102.
- Sims, P. L. and Singh, J. S. (1978): The structure and function of ten western North American grasslands. III. Net primary production, turnover, and efficiencies of energy capture and water use. In: *Journal of Ecology* 66, pp. 251-285.
- Sinebo, Woldeyesus (2002): Yield Relationships of Barleys Grown in a Tropical Highland Environment. In: *Crop Science* 42(2), pp. 428-437.
- Singh, J. S., Rao, K. S., and Saxena, K. G. (1997): Energy and economic efficiency of the mountain farming system: a case study in the North-Western Himalaya. In: *Journal of Sustainable Agriculture* 9(2-3), pp. 25-49.
- Singh, Shree P., Teran, Henry, Munoz, Carlos G., Osorno, Juan M., Takegami, Juan C., and Thung, Michael D. T. (2003): Low Soil Fertility Tolerance in Landraces and Improved Common Bean Genotypes. In: *Crop Science* 43(1), pp. 110-119.
- Skrypetz, Stan (2000): Sunflower seed: situation and outlook. Market Analysis Division, Policy Branch, Adaptation and Grain Policy Directorate, Agriculture and Agri-Food Canada.
- Smil, Vaclav (1991): *General Energetics. Energy in the Biosphere and Civilization*. Manitoba, New York: John Wiley & Sons.
- Späth, H.-J. W. (1987): Dryland wheat farming on the Central Great Plains: Sedgwick County, Northeast Colorado. In: *Comparative Farming Systems*. New York: The Guilford Press, pp. 313-344.
- Spedding, Colin R. W. (1979): *An Introduction to Agricultural Systems*. London: Applied Science Publications.
- Spencer, D. S. C. (1975): The economics of rice production in Sierra Leone. Njala University College.
- Spöndly, R. (1993): Fodertabeller för idisslare (Fodder tables for ruminants). Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Stromgaard, P. (1989): Adaptive strategies in the breakdown of shifting cultivation: the case of Mambwe, Lamba, and Lala of northern Zambia. In: *Human Ecology* 17(4), pp. 427-444.
- Sundarraj, P. (1983): Energetics and economics of an organic, mixed farming system in south India. In: *Zeitschrift für ausländische Landwirtschaft* 22(2), pp. 279-287.
- Sundriyal, R. C. (1992): Structure, productivity and energy flow in an alpine grassland in the Garhwal Himalaya. In: *Journal of Vegetation Science* 3(1), pp. 15-20.
- Swanton, Clarence J., Murphy, Steven D., Hume, David J., and Clements, David R. (1996): Recent improvements in the energy efficiency of agriculture: case studies from Ontario, Canada. In: *Agricultural Systems* 52, pp. 399-418.
- Terra, G. J. A. (1958): Farm systems in South-East Asia. In: *Netherland Journal of Agricultural Science* 6, pp. 157-182.
- Trewavas, Anthony (1999): Much food, many problems. In: *Nature* 402, pp. 231-232.
- Tripathi, R. S. and Sah, R. P. (2001): Material and energy flows in high-hill, mid-hill and valley farming systems of Garhwal Himalaya. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86(1), pp. 75-91.
- Tsatsarelis, C. A. (1993): Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 43, pp. 109-118.
- Tsatsarelis, C. A. and Koundouras, D. S. (1994): Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 49(2), pp. 123-130.

- Uhl, C. and Murphy, P. (1981): A comparison of productivities and energy values between slash and burn agriculture and secondary succession in the Upper Rio Negro region of the Amazon Basin. In: *Agroecosystems* 7, pp. 63-83.
- Uhl, C. and Jordan, C. F. (1984): Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. In: *Ecology* 65(5), pp. 1476-1490.
- Unger, Paul W. (2001): Alternative and Opportunity Dryland Crops and Related Soil Conditions in the Southern Great Plains. In: *Agronomy Journal* 93(1), pp. 216-226.
- USDA/NASS (2004): Agricultural Statistics Data Base. Available on-line [<http://www.nass.usda.gov:81/ipedb/>] from USDA National Agricultural Statistics Service. Accessed 01/2005.
- van Delden, Arnout (2001): Yield and Growth Components of Potato and Wheat under Organic Nitrogen Management. In: *Agronomy Journal* 93(6), pp. 1370-1385.
- Van Santen, C. E. (1974): Selected economic aspects of expanding rice production in Liberia. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Wachsmann, Nick, Jochinke, David, Norton, Rob, and Knights, Sue (2003): *An evaluation of safflower, LinolaTM, sunflower, maize, buckwheat and sorghum as spring sown cropping options for south-eastern Australia*. "Solutions for a better environment." Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Victoria: Australian Society of Agronomy.
- Wadley, R. L. (1997): Circular Labor Migration and Subsistence Agriculture: A Case of the Iban in West Kalimantan, Indonesia. Arizona State University.
- Watters, R. F. (1971): Shifting cultivation in Latin America. Rome: FAO (Forestry Development Papers; 17).
- Wey, J. and Traore, S. G. (1998): Système de culture du riz de coteau en Guinée forestière. In: *Agriculture et Développement* 19, pp. 73-77.
- Whittlesey, Derwent (1936): Major agricultural regions of the earth. In: *Annals of the Association of American Geographers* 26, pp. 199-240.
- Wirsenius, Stefan (2003): Efficiencies and biomass appropriation of food commodities on global and regional levels. In: *Agricultural Systems* 77, pp. 219-255.
- Woermann, E. (1959): Landwirtschaftliche Betriebssysteme.
- Zeng, Linghe and Shannon, Michael C. (2000): Salinity Effects on Seedling Growth and Yield Components of Rice. In: *Crop Science* 40(4), pp. 996-1003.
- Zucchetto, J. and Bickle, G. (1984): Energy and nutrient analyses of a dairy farm in Central Pennsylvania. In: *Energy in Agriculture* 3, pp. 29-47.

Appendix

Appendix 1: Zuordnung der im Text verwendeten Fallstudien-Codes zu den jeweiligen Referenzen mit Angabe der jeweiligen Haupterzeugnisse.

Code	Referenz	Haupterzeugnisse
Jagen und Sammeln		
Botswana 1	Leach 1976 (nach Lee 1969)	n.a.
Traditionelle Weide		
Kenia 3	Coughenour et al. 1985	Milch
Österreich 1	Krausmann 2004	Milch und Fleisch
Langbrachesysteme		
Venezuela 1	Sarmiento et al. 1993	Kartoffeln
Intensiver Subsistenzackerbau		
Burkina Faso 1	Le Houérou 1989	Hirse und Milch
China 1	Ma und Edwards-Jones 1997	Reis und Weizen
China 2	Ma und Edwards-Jones 1997	Reis und Weizen
China 3	Ma und Edwards-Jones 1997	Reis und Weizen
China 4	Han et al. 1985	Getreide (nicht näher spezifiziert) und Schweinefleisch
China 5	Guo und Bradshaw 1993	Reis, Weizen und Fisch
Honduras 1	Scrimshaw und Taylor 1980	Mais und Reis
Indien 1	Pandya und Pehadiya 1993	Hirse
Indien 3	Sharma und Singh 1997	Weizen
Indien 4	Sharma und Singh 1997	Weizen
Kenia 1	De Jager et al. 2001	Mais
Kenia 2	De Jager et al. 2001	Mais und Bohnen
Nepal 1	Tripathi und Sah 2001	Reis und Weizen
Nepal 2	Rijal et al. 1991	Reis
Nepal 3	Rijal et al. 1991	Mais, Weizen und Reis
Nepal 4	Rijal et al. 1991	Buchweizen und Gerste
Philippinen 1	Dalsgaard und Oficial 1997	Reis
Philippinen 2	Dalsgaard und Oficial 1997	Reis
Philippinen 3	Dalsgaard und Oficial 1997	Reis
Philippinen 4	Dalsgaard und Oficial 1997	Reis
Extensiv-Industrieller Ackerbau		
Neuseeland 1	Nguyen und Haynes 1995	Weizen, Erbsen, Rüben und Raps
Neuseeland 2	Nguyen und Haynes 1995	Weizen, Buchweizen, Gerste und Erbsen
Neuseeland 3	Nguyen und Haynes 1995	Weizen, Erbsen und Bohnen
Neuseeland 4	Nguyen und Haynes 1995	Weizen, Erbsen und Bohnen
Neuseeland 5	Nguyen und Haynes 1995	Gerste, Erbsen und Weizen
Neuseeland 6	Nguyen und Haynes 1995	Gerste, Buchweizen, Weizen, Erbsen und Hafer
Intensiv-Industrieller Ackerbau		
Frankreich 2	Bonny 1993	Weizen
Griechenland 1	Tsatsarelis 1993	Weizen
Kanada 1	Swanton et al. 1996	Mais
Spanien 1	Caballero 2001	Gerste
Spanien 2	Golley et al. 1990	Mais
Gewächshausanbau		
UK 1	Leach 1976	Kopfsalat
Türkei 2	Ozkan et al. 2004	Tomaten
Türkei 3	Ozkan et al. 2004	Gurken
Türkei 4	Ozkan et al. 2004	Auberginen
Türkei 5	Ozkan et al. 2004	Paprika

Appendix 2: Zusammenfassung der in Abschnitt 3.2.3. beschriebenen Schlüsselindikatoren für jedes der Fallstudien, mit Angabe von als typisch angenommenen und ggf. für die Energieflussmodelle in Abbildung 3-12 benutzten Werten (in fetter Schrift).

Agrarsystem / Fallstudie	Energieeinsatz pro Fläche		Energieertrag			Kolonisierung (HANPP%) [%]	Zeiteinsatz pro Fläche Intern [h/ha]	Maximale Bevölkerungsdichte [Personen/km ²]	Fläche Produktionssystem [ha]
	Intern [GJ/ha]	Extern [GJ/ha]	Pro Fläche [GJ/ha]	Pro Zeiteinsatz (Produktivität) [MJ/h]	Pro Energieeinsatz (Effizienz) [GJ/GJ]				
Jagen und Sammeln	0,001	0	0,005	5	5	0,0001	1	0,15	n.a.
Botswana 1	0,000456	0	0,0029	4,46	6,36	< 0,1	0,65	0,08	n.a.
Traditionelle Weide	0,05	0	0,1	1,5	2	5	70	1	n.a.
Kenia 3	0,016	0	0,021	1,36	1,31	17,8	23	0,6	n.a.
Österreich 1	0,390	0	1,037	1,86	2,66	n.a.	557	30	16
Langbrache-systeme	0,15	0	3,5	17,5	20	40	200	100	n.a.
<i>In Transition:</i> Venezuela 1	0,71	18,10	4,56	n.a.	0,24	> 14,3	n.a.	130	n.a.
Intensiver Subsistenz-ackerbau	2	0	30	20	15	90	1500	1000	2
Burkina Faso 1	0,75	0	6,04	n.a.	8,1	92,4	n.a.	173	4 ⁴⁹
Kenia 2	0,81	0,14	6,37	5,54	6,7	n.a.	1150	182	2,4

⁴⁹ Das dem Produktionssystem zugehörige Weideland umfasst zusätzliche 31 ha.

Kenia 1	0,75	0,41	11,62	10,89	10,0	n.a.	1067	332	n.a.	2,4
Nepal 3	2,96	0,03	11,96	n.a.	4,0	98,8	n.a.	342	n.a.	n.a.
Nepal 4	3,05	0,51	12,97	n.a.	3,6	98,1	n.a.	371	n.a.	n.a.
Nepal 1	3,97	0,98	15,92	13,27	3,2	n.a.	1200	455	n.a.	0,34 - 0,57
Nepal 2	2,47	1,99	21,17	n.a.	4,8	98,3	n.a.	605	n.a.	n.a.
Indien 3	0,66	0,30	27,20	52,51	28,3	63,9	518	777	n.a.	n.a.
Philippinen 4	0,45	1,85	40,11	62,67	17,4	73,3	640	1146	n.a.	2,75
Honduras 1	1,44	1,95	47,60	56,26	14,0	42,6	846	1360	n.a.	6
Indien 4	2,10	1,05	52,50	60,62	16,7	85,1	866	1500	n.a.	n.a.
Philippinen 3	0,49	1,59	56,67	80,50	27,25	61,6	704	1619	n.a.	2,76
<i>In Transition:</i> China 3	8,6	4,0	7,8	n.a.	0,62	n.a.	n.a.	223	n.a.	2,64
<i>In Transition:</i> China 2 ¹⁰	5,8	4,0	12,3	n.a.	1,26	n.a.	n.a.	351	n.a.	3,84
<i>In Transition:</i> Indien 1	2,08	2,98	20,54	33,51	4,06	89,7	613	587	n.a.	n.a.
<i>In Transition:</i> China 1 ¹⁰	12,3	32,4	60,8	n.a.	1,36	n.a.	n.a.	1737	n.a.	n.a.
<i>In Transition:</i> China 4	6,25	16,21	65,89	7,38	2,93	87,5	8923	1883	n.a.	178,2
<i>In Transition:</i> Philippinen 1	0,79	5,76	92,98	82,36	14,20	37,2	1129	2657	n.a.	1,36

<i>In Transition:</i> Philippinen 2	0,56	9,56	96,01	103,24	9,49	35,7	930	2743	1,51
<i>In Transition:</i> China 5	16,17	24,09	182,69	18,05	4,54	52,8	10124	5220	1,9
Extensiv- industrieller Ackerbau	0,01	5	40	4000	8	50	10	1000	200
Neuseeland 2	0,01	0,64	32,92	8663	50,65	n.a.	3,8	941	140
Neuseeland 4	0,01	3,27	32,99	7331	10,06	n.a.	4,5	943	50
Neuseeland 6	< 0,01	1,48	34,14	11772	23,07	n.a.	2,9	975	283
Neuseeland 1	< 0,01	5,24	50,86	11828	9,71	n.a.	4,3	1453	148
Neuseeland 5	< 0,01	3,34	52,84	15541	15,82	n.a.	3,4	1510	116
Neuseeland 3	< 0,01	6,47	53,10	10837	8,21	n.a.	4,9	1517	150
Intensiv- industrieller Ackerbau	0,02	20	100	3000	5	50	30	3000	50
Spanien 1	0,05 ⁵⁰	9,16	27,99	n.a.	3,04	65,3	n.a.	800	40
Griechenland 1	< 0,01	15,98	58,88	8411	3,68	34,8	7	1682	n.a.
Frankreich 2	0,01 ⁵¹	19,43	117,75	n.a.	6,06	37,7	n.a.	3364	n.a.
Kanada 1	0,02 ¹²	10,52	139,92	n.a.	13,28	n.a.	n.a.	3998	n.a.
Spanien 2	0,03	36,64	185,87	3864	5,07	n.a.	48,1	5311	2

⁵⁰ Schätzung

⁵¹ Schätzung

Gewächshaus- anbau	2	1000	100	50	0,1	100	2000	3000	3
UK 1	2	5303	10,6	3,69	0,002	100	2870	303	n.a.
Türkei 2	6,81	96,0	220	67,73	2,14	100	3248	63	0,3-0,5 ⁵²
Türkei 3	2,30	110,52	76,73	23,31	0,68	100	3292	22	0,3-0,5 ¹³
Türkei 4	0,71	86,94	112,56	111,45	1,55	100	1010	32	0,3-0,5 ¹³
Türkei 5	0,99	71,82	150	106,46	2,06	100	1409	43	0,3-0,5 ¹³
Dauerkulturen⁵³	1	20	50	40	2,5	40	500	1500	10
Türkei 1	1,06	22,2	65,0	42,9	2,93	n.a.	1516	1857	n.a.
Deutschland 1	0,6	12,8	19,5	16	1,52	n.a.	800	366	0,1
Auf Grünland basierende Tier- produktion	0,01	5	1	50	0,2	40	20	30	200
USA1	< 0,01	0,90	0,11	25,0	0,12	n.a.	4,4	3,1	n.a.
USA 2	< 0,01	1,14	0,43	102,4	0,38	n.a.	4,2	12	n.a.
Österreich 2	0,24	0,11	3,44	10,1	9,76	n.a.	342	98	32
Auf Ackerland basierende Tier- produktion	0,05	10	3	40	0,3	60	80	100	50
USA 3	0,01	3,67	9,72	n.a.	2,64	97,1	n.a.	278	1295

⁵² Die (offene) Gewächshausproduktion macht nur einen Teil der in diesem Falle kleinbäuerlichen Landwirtschaftssysteme aus.

⁵³ Diese Werte werden als typisch für eher industrialisierte Regionen angenommen. Die in den Tropen oft von Kleinbauern betriebenen Plantagen würden, aufgrund des fehlenden oder geringen Einsatzes von Fossilenergie, davon abweichende Werte aufweisen.

Schweden 1	0,02	15,22 ⁵⁴	8,94	n.a.	0,59	n.a.	n.a.	255 ⁵⁵	113,7
------------	------	---------------------	------	------	------	------	------	-------------------	-------

⁵⁴ Um einen adäquaten Vergleich mit „USA 3“ zu ermöglichen, wurde bei diesem Wert nur der Einsatz von maschinell genutzter Energie (also hauptsächlich Fossilenergie) berücksichtigt. Der bei diesem Agrarsystem ebenfalls als extern zu bezeichnende Einsatz zugekaufter Futtermittel in Höhe von zusätzlich 68,9 GJ/ha ist in diesem Wert somit nicht enthalten.

⁵⁵ Dieser Wert ist nicht mit den übrigen vergleichbar, da die extern angebauten, zugekauften Futtermittel nicht in der Fläche enthalten sind.

Appendix 3: Für die Umrechnung in den Energieflussmodellen verwendete Brennwerte verschiedener landwirtschaftlicher Produkte

Erzeugnis	Heizbrennwert, bezogen auf Trockenmasse [MJ/kg]	Wassergehalt [%]	Heizbrennwert, bezogen auf Frischgewicht [MJ/kg]
Getreide-Körner			
Mittelwert aus 11 Sorten	18,2	14	15,7
Weizen	18,3	14	15,7
Roggen	17,9	14	15,4
Gerste	18,1	14	15,6
Buchweizen	18,6	14	16,0
Hafer	18,8	14	16,1
Mais	18,5	14	15,9
Getreide-Stroh			
Weizen	17,8	14	15,3
Gerste	18,2	14	15,6
Hafer	18,0	14	15,5
Wiesen/Heu			
Wiesen	17,9	14	15,4
Luzerne	18,4	14	15,8
Wurzel- und Knollengemüse			
Kartoffeln	16,8	78	3,7
Zuckerrüben	16,0	77	3,7
Karotten	18,5	88	2,2
Rote Rüben	19,2	89	2,1
Rettich	18,0	90	1,8
Kohl	18,0	92	1,4
Kohlrabi	18,0	92	1,4
Zwiebeln	19,4	88	2,4
Blatt-, Stängel- und Blütengemüse			
Chinakohl	18,7	95	0,9
Kraut	19,3	92	1,5
Spinat	17,1	93	1,4
Spargel	18,0	90	1,8
Petersilie	18,0	90	1,8
Kopfsalat	18,1	95	0,9
Gemüsefrüchte			
Gurken	18,9	97	0,6
Tomaten	19,0	94	1,1
Paprika	19,0	92	1,5
Ölkürbis (einschl. Samen)	19,4	91	1,7
Hülsenfrüchte			
Linsen	18,0	10	16,2
Speisebohnen, Ackerbohnen, Pflückbohnen (Mittelwert)	18,3	79	3,2
Speiseerbsen	20,7	77	4,7
Pferdebohnen	24,0	9	21,9
Kernobst			
Mittelwert Kernobst	20,1	85	3,08
Äpfel	20,4	85	2,99

Birnen	20,2	84	3,17
Kirschen	20,3	83	3,48
Zwetschken	20,0	84	3,27
Edelpflaumen, Mirabellen, Ringlotten	20,0	84	3,27
Marillen	19,7	85	2,89
Pfirsiche	20,0	88	2,49
Beeren			
Mittelwert Beeren	19,5	86	2,78
Erdbeeren	20,0	90	2,10
rote und weiße Johannisbeeren	19,4	85	2,96
schwarze Johannisbeeren	19,0	81	3,56
Stachelbeeren	19,7	87	2,50
Schalenfrüchte			
Walnüsse	n.a.	n.a.	29,50
Holz			
Alle Holzarten	n.a.	n.a.	20,0
Tierische Erzeugnisse			
Rinder	n.a.	n.a.	11,5
Schweine	n.a.	n.a.	17,0
Sonstige	n.a.	n.a.	10,0
Kuhmilch	n.a.	n.a.	3,1
Schafmilch	n.a.	n.a.	1,1
Eier	n.a.	n.a.	2,0
Tierfutter			
Eiweißfutter (Sojaschrot, Tiermehl)	n.a.	n.a.	20,7
Futterpflanzen			
Silo-/Grünmais	18,1	73	4,9
Ölsamen			
Sonnenblumenkerne	28,9	7	27,0
Raps	27,0	12	23,8

Quellen:

Die Werte für die tierischen Erzeugnisse und das Tierfutter stammen von Krausmann 2004 (pers. Mitt.). Alle übrigen Werte stammen aus Haberl 1995.

Anmerkungen:

Für alle Holzarten wurde mit einem mittleren Brennwert von 20,0 MJ/kg gerechnet, was ungefähr den Angaben in Haberl 1995 für den Brennwert verschiedener Waldtypen entspricht. Gelegentlich wurden Umrechnungsfaktoren benötigt, die in der Tabelle nicht angegeben sind. In diesem Fall wurde der Wert eines Erzeugnisses verwendet, dessen Energiewert dem eigentlichen Erzeugnis mutmaßlich möglichst nahe kommt (z.B. Ölkürbis als Wert für Wassermelonen). Diese Näherung wurde nur bei Produkten verwendet, die in der Gesamtmasse eine geringe Rolle spielten. Für Reis wurde der Mittelwert der Getreidesorten verwendet, für Sojabohnen der Wert für Pferdebohnen. In den übrigen Fällen ist die Vorgangsweise ggf. in den Anmerkungen zu der entsprechenden Studie in Appendix 7 erwähnt.

Appendix 4: Verwendete Umrechnungsfaktoren für den Energieeinsatz verschiedener im Agrarsystem eingesetzter Komponenten und Tätigkeiten

Bestandteil	Einheit	Energiewert pro Einheit [GJ / Einheit]	Referenz
Insektizide	kg	0,363	[1]
Herbizide	kg	0,418	[2]
Pestizide	kg	0,391	[3]
Menschliche Arbeit	h	0,0007	[4]
Ochsenarbeit	h	0,004625	[6]
Diesel	kWh	0,0036	[7]
N: Jahr 1980	kg	0,0491	[5]
N: Jahr 1995	kg	0,057	[5]
P ₂ O ₅ (oft als P angegeben)	kg	0,0141	[5]
K ₂ CO ₃ (oft als K angegeben)	kg	0,0097	[5]

Quellenangaben:

- [1] Pimentel 1980, zitiert in Tsatsarelis und Koundouras 1994
- [2] Pandya und Pedhadiya 1993 nach Pimentel et al. 1973 und Mitchell 1979
- [3] Mittelwert aus Insektiziden und Herbiziden.
- [4] Gajasenı 1995 nach Uhl und Murphy 1981
- [5] Pers. Mitt. Krausmann. Nach Pimentel et al. 1973 und Patyk und Reinhardt 1997
- [6] Tripathi und Sah 2001 nach Mitchell 1979
- [7] Leach 1976

Appendix 5: Verwendete Ernteindizes zur Berechnung der ANPP_e aus den Ernteangaben.

Art / Sorte	Ort der Studie	Erntemasse (Trockenmasse) [Mg/ha/Ernte]	Ernteindex	Referenz
Weizen				
TAM-101	Bushland, Texas, Südliche Great Plains (“dryland cropping”, verschiedene Anbaumethoden und Fruchtwechsel)	1,09 – 1,87	0,23 – 0,28	[15]
TAM-101	Bushland, Texas, Südliche Great Plains (“dryland cropping”, Jahr mit wenig Niederschlag)	0,57	0,11	[15]
“Hard red spring wheat” (cv. Cajeme)	Córdoba, Südspanien (Mittelwerte bei verschiedenen Bewässerungspraktik en, Fruchtwechseln und Düngeraten)	5,32 – 6,65	0,41 – 0,44	[16]
Axona/Baldus	Marknesse, Niederlande (Verschiedene N- Raten)	3,95 – 6,39	0,41 – 0,47 (Mittel: 0,44)	[6]
“Soft red winter wheat” (Northrup King cv. Coker 9134)	Florence, South Carolina	2,25 – 3,56	0,35 – 0,39	[17]
Klein Dragon	Südöstliche Pampas, Argentinien (Unbewässert)	2,2 – 4,3	0,32 – 0,39	[18]
Bohnen				
Phaseolus	Thailand (n.a.)	n.a.	0,25 – 0,35	[1]
Phaseolus, verschiedene traditionelle Sorten (“landraces”)	Mittelwert von Popayán, Kolumbien und Quilichao. Nährstoffreicher Boden	n.a.	0,32 – 0,71 (Mittel: 0,62)	[14]
Phaseolus, verschiedene traditionelle Sorten (“landraces”)	Mittelwert von Popayán, Kolumbien und Quilichao, Kolumbien. Nährstoffarmer Boden.	n.a.	0,52 – 0,67 (Mittel: 0,55)	[14]
Phaseolus, verschiedene	Mittelwert von Popayán, Kolumbien	n.a.	0,60 – 0,72 (Mittel: 0,66)	[14]

Hybridsorten ("improved races")	und Quilichao, Kolumbien. Nährstoffreicher Boden.				
Phaseolus, verschiedene Hybridsorten ("improved races")	Mittel von Popayán, Kolumbien und Quilichao, Kolumbien. Nährstoffarmer Boden.	n.a.		0,48 – 0,66 (Mittel: 0,59)	[14]
Sojabohnen	Thailand (n.a.)	n.a.		0,30 – 0,40	[1]
Sojabohnen, zwei verschiedene Sorten	Keiser, Arkansas (bewässert und unbewässert, zwei verschiedene Reihenabstände)	0,4 – 3,3		0,38 – 0,65	[8]
Sojabohnen, verschiedene Sorten	Woodstock, Ontario, Kanada (1994 & 1995)	n.a.		0,52 – 0,61	[12]
Cassava					
Verschiedene Sorten	Thailand (n.a.)	n.a.		0,50 – 0,60	[1]
Kartoffeln					
Sorten "Junior" und "Agria"	Marknesse, Netherlands (1997- 1998, verschiedene N-Raten)	5,31 – 8,67		0,559 – 0,770 (Mittel: 0,656)	[6]
Mais					
Verschiedene Sorten	Thailand (n.a.)	n.a.		0,30 – 0,40	[1]
Verschiedene Sorten	Mexiko (Tropisches Tiefeland, Wassermangel)	1,74 – 2,82		0,09 – 0,27 (Mittel: 0,17)	[3]
Verschiedene Sorten	Mexiko (Tropisches Tiefeland, ausreichend bewässert)	7,48 – 8,45		0,36 – 0,42 (Mittel: 0,39)	[3]
Pioneer '5325'	Aurora, New York, USA (Verschiedene Pflanzungsdichten bei verschiedene N- Raten)	ca. 8,0		0,34 – 0,44 (Mittel: 0,41)	[5]
3417IR	Mead, NE, USA (Im Fruchtwechsel mit Sojabohnen Rotation, N-Mangel)	ca. 3,1		0,40 – 0,52 (Mittel: 0,45)	[9]
3417IR	Mead, NE, USA (Nach Brache, N- Mangel)	3,56		0,43	[9]

3417IR (Im Fruchtwechsel mit Mais, N-Mangel)	Mead, NE, USA	1,41	0,37	[9]
Verschiedene Sorten	Ste-Anne-de- Bellevue, Quebec, Kanada (1996)	8,04 – 12,47 (Mittel: 9,80)	0,47 – 0,53 (Mittel: 0,51)	[10]
Verschiedene Sorten	Ste-Anne-de- Bellevue, Quebec, Kanada (1997)	6,63 – 10,29 (Mittel: 8,33)	0,52 – 0,62 (Mittel: 0,56)	[10]
Verschiedene Sorten	Ottawa, Ontario, Kanada (1996)	8,56 – 13,19 (Mittel: 10,99)	0,42 – 0,58 (Mittel: 0,50)	[10]
Verschiedene Sorten	Ottawa, Ontario, Kanada (1998)	6,96 – 15,38 (Mittel: 10,35)	0,43 – 0,66 (Mittel: 0,60)	[10]
Gerste				
26 verschiedene traditionelle Sorten ("landraces")	Adis Abeba, Äthiopien (tropisches Hochland, Wenige Inputs)	1,07 – 2,68	0,19 – 0,38 (Mittel: 0,29)	[19]
Gairdner	Südwestliches Australien (unbewässert, Jahresniederschlag 400-700 mm)	3,8 – 5,6 (Mittel: 5,1)	0,33 – 0,47 (Mittel: 0,40)	[21]
n.a.	n.a.	n.a.	0,19	[13]
Buchweizen				
Fagopyrum esculentum cv. Hitachi	Longerenong, Südöstliches Australien (Unbewässert)	0,25	0,15	[20]
Fagopyrum esculentum cv. Hitachi	Longerenong, Südöstliches Australia (Unbewässert)	0,35	0,25	[20]
Sorghum				
Verschiedene Sorten	Thailand (n.a.)		0,20 – 0,35	[1]
Hafer				
n.a.	n.a.	n.a.	0,41	[13]
Roggen				
n.a.	n.a.	n.a.	0,30	[13]

Hülsenfrüchte

n.a.	n.a.	n.a.	0,42	[13]
------	------	------	------	------

Gemüse/Melonen

n.a.	n.a.	n.a.	0,38	[13]
------	------	------	------	------

Sonnenblumen

Advantage / Galah	Südöstliches Australien (trockene Bedingungen, keine Bewässerung)	4,22 / 4,83	0,15 / 0,20	[20]
-------------------	---	-------------	-------------	------

Galah	Südöstliches Australien (trockene Bedingungen, bewässert)	10,28	0,34	[20]
-------	---	-------	------	------

Raps (Canola)

Winterraps (Brassica napus), verschiedene Züchtungslinien	Karaj, Iran	n.a.	0,19 – 0,27	[22]
---	-------------	------	-------------	------

Früchte

n.a.	n.a.	n.a.	0,41	[13]
------	------	------	------	------

n.a.	Japan	n.a.	0,43	[13]
------	-------	------	------	------

Quellen:

- [1] Rajan, Shffiasaki & Tagaki 1995
- [2] George et al. 2001
- [3] Edmeades et al. 1999
- [4] Zeng und Shannon 2000
- [5] Cox und Cherney 2001
- [6] Van Delden 2001
- [7] Peng et al. 2000
- [8] Ball, Purcell und Vories 2000
- [9] Ennin und Clegg 2001
- [10] Costa et al. 2002
- [11] George et al. 2002
- [12] Curtis et al. 2000
- [13] Haberl 1995
- [14] Singh et al. 2003
- [15] Unger 2001
- [16] Lopez-Bellido et al. 2000
- [17] Frederick, Bauer und Busscher 2001
- [18] Sadras und Calvino 2001
- [19] Sinebo 2002
- [20] Wachsmann et al. 2003
- [21] Hill, Carslake und Wallwork 2003
- [22] Naazar et al. 2003

Appendix 6: Zum Abschätzen der ANPP₀ verwendete Fallstudien. Angegeben ist jeweils in Fett die letztlich für die Agrarsystem-Fallstudie benutzte ANPP₀-Schätzung, darunter die Fallstudien oder Modellrechnung, auf denen diese Schätzung beruht.

Fallstudie	ANPP ₀ -Referenz	Ort der ANPP ₀ -Studie	ANPP ₀ [g/m ² /Jahr (GJ/ha/Jahr)]
Philippinen 1 bis Philippinen 4			n.a. (1600)
	Condit, Windsor und Hubbell 1996	Barro Colorado, Panama	n.a. (1620)
	DeAngelis, Gardner und Shugart 1997	Yapo, Côte d'Ivoire	n.a. (1480)
	Kira, Manokaran und Appanah 1998	Pasoh, Malaysia	n.a. (2320)
Kenia 1 und Kenia 2			572 (96)
	Kinyamario 1996	Nairobi, Kenya	572 (96)
Nepal 2, Nepal 3 und Indien 4			997 (172)
	Lugo et al. 1999	Luquillo, Puerto Rico	997 (172)
Nepal 4			563 (106)
	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	563 (106)
Indien 1			542 (91)
	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	542 (91)
	Kinyamario 1996	Nairobi, Kenya	572 (96)
Venezuela 1			n.a. (1021)
	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	n.a. (1021)
Griechenland 1			650 (130)
	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	650 (130)
Frankreich 2			1200 (232)
	Haberl 1995	n.a.	1200 (232)
Spaniel 1			n.a. (130)
	s. Anmerkungen zu Caballero 2001 in Appendix 7	n.a.	n.a. (130)
Spaniel 2			443 (91)

	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	443 (91)
Indien 3			812 (140)
	Siehe Bemerkungen zu Sharma und Singh 1997 in Appendix 7	n.a.	812 (140)
China 5			n.a. (250)
	Schätzung	n.a.	n.a. (250)
Türkei 2-5			650 (130)
	Miami-Modell (Lieth 1975)	n.a.	650 (130)
Kenia 3			n.a. (30)
	Siehe Bemerkungen zu De Jager et al. 2001 in Appendix 7		n.a. (30)
USA 3			600 (118)
	Morrison und Foster 2001	Mississagi, Ontario, Canada	600 (118)
Burkina Faso 1			220 (37)
	Angabe im Artikel (Le Houérou 1989)	Burkina Faso	220 (37)
Honduras 1			1387 (233)
	Daubenmire 1997	Canas	1387 (233)

Anmerkungen:

Für die Umrechnung der in g Trockensubstanz angegebenen Produktivitätsdaten in Energieeinheiten wurde der von Odum 1983 (zitiert in Haberl 1995) angegebene Durchschnittswert für pflanzliche Trockensubstanz von 18,84 MJ/kg benutzt.

Appendix 7: Spezifische Bemerkungen zu den jeweiligen Fallstudien zur Berechnung der Energieflussdaten

Bonny 1993

- Wie bei allen Untersuchungen industrieller Agrarsysteme ergibt sich auch hier die Schwierigkeit, dass die Weizenproduktion isoliert vom normalerweise eine bestimmte Fruchtfolge, einschließlich Brachen umfassenden Gesamtsystem untersucht wurde.
- Die Methoden zur Ermittlung von Energieinput und Output (Systemgrenzen etc.) sind von Bonny nicht angegeben, was eine gewisse Vorsicht beim Detailvergleich mit anderen Studien notwendig macht.
- Als Energieeinsatz durch menschliche Arbeit wurde von einem minimalen, für industrielle Agrarsysteme üblichen Aufwand von 0,01 GJ/ha ausgegangen (von Bonny nicht angegeben).

Caballero 2001

- Die Fläche für Alfalfa ist nicht direkt angegeben und wurde deshalb durch Subtraktion der Maisfläche von der gesamten bewässerten Fläche, welche im wesentlichen nur Mais und Alfalfa umfasst, ermittelt.
- Werte für den Einsatz von P- und K-Düngung sind im Artikel nicht angegeben und werden vernachlässigt.
- Die Flächenanteile für verschiedene Getreidesorten sind aus Tab.10 des Artikels für das Jahr 1990 entnommen, die Angaben für Düngemiteleinsetz aus Tab.5 des Artikels für das Jahr 1989, die Anteile von Ackerland bzw. Wald-/Weideland aus Tab.1 des Artikels für das Jahr 1989.
- Da nur auf einer geringen Fläche überhaupt Pestizide benutzt werden, nehme ich pauschal einen relativ geringen Wert von 0,3 GJ/ha für den Einsatz von Pestiziden an.
- Als Wert für „fuel/electricity“ bzw. „machinery“ wurde der relativ niedrige Wert von 4,0 MJ/ha bzw. 0,5 MJ/ha angenommen, was aber mit einem recht großen Unsicherheitsfaktor behaftet ist.
- Als Brennwert für Oliven wurde der entsprechende Nährwert von 4,8 MJ/kg verwendet.
- Die Menge der abgegrasteten Stoppeln habe ich folgendermaßen abgeschätzt: Aus den 0,42 Schafen pro Hektar des Gesamtsystems (Ackersubsystem + Wald-/Weidesubsystem) ergibt sich eine Dichte von 0,98 Schafen pro Hektar nur auf die Fläche des Ackersubsystems bezogen. Aus Tab.2 des Artikels ist eine ungefähre Aufnahme von Trockenmasse (DMI) von 1,108 kg pro Tag und Schaf ersichtlich. Daraus und der Dichte der Schafe ergibt sich eine Beweidungsintensität von $(0,98 \text{ Schafe/ha}) \cdot (1,108 \text{ kg/Tag} \cdot \text{Schaf}) = 1,09 \text{ kg Trockenmasse/Tag} \cdot \text{ha}$. Dies gilt natürlich nur für die Zeit, in der sich die Schafherde auf dem Stoppelfeld befindet. Die Zeit, in der die Stoppelfelder von den Schafherden genutzt werden, ist in Tab.8 des Artikels mit 60 Tagen pro Jahr angegeben. Daraus ergibt sich eine Gesamtentnahme von $1,09 \text{ kg/Tag} \cdot \text{ha} \cdot (60 \text{ Tage/Jahr}) = 65,4 \text{ kg/ha} \cdot \text{Jahr}$. Bei einem angenommenem Energiewert von 0,0180 GJ/kg Trockenmasse für Stroh (s. Appendix 2) ergibt sich daraus eine Energieentnahme von $(65,4 \text{ kg/Jahr} \cdot \text{ha}) \cdot (0,0180 \text{ GJ/kg}) = 1,18 \text{ GJ/Jahr} \cdot \text{ha}$. Zu beachten ist dabei, dass diese Angabe sich auf die Fläche des Ackersubsystems bezieht, daneben zusätzlich die Schafe auf einer Wald/Weidefläche weiden, für die allerdings keine Energieentnahmedaten vorliegen.
- Von Caballero (2001) wird angegeben, dass 58 kg Konzentrate pro Schaf und Jahr, sowie 123 kg Leguminoseheu pro Schaf und Jahr verfüttert werden. Für die Berechnung der entsprechenden Werte nehme ich an, dass ersteres aus Gerstekörnern, letzteres aus Alfalfa-Heu besteht, wobei ich für Alfalfa-Heu den allgemeinen Wert für Heu (s. Appendix 2) benutze.
- Aus den Produktionsangaben von 72 l Milch/Schaf*Jahr und 28 kg Fleisch/Schaf*Jahr (Caballero 2001) ergibt sich ein Energieertrag aus dem Tiersubsystem von 0,35 GJ/ha*Jahr, wie üblich auf die Gesamtfläche.
- Um die Energiewerte vergleichen zu können, wurde mit einem geschätzten Arbeitseinsatz von 0,05 GJ/ha für das Ackersubsystem, sowie 0,10 GJ/ha für das Tiersubsystem gerechnet.

Coughenour et al. 1985

- Ob irgendwelche auf dem Einsatz von Fossilenergie basierenden Inputs verwendet werden, wird nicht explizit gesagt, ich gehe jedoch davon aus, dass dies nicht der Fall ist.
- Die im Energieflussdiagramm aufscheinenden Getreide Sorghum und Mais, sowie Zucker, werden nicht mit berücksichtigt, da sie durch Tausch gegen Milch bzw. Fleisch erworben wurden und nicht selbst angebaut sind.
- Die gesammelten Wildpflanzen zähle ich beim gesamten Agrarsystem zu den „Basic Crops“, obgleich dabei auch beispielsweise Obst sein kann. Die Menge ist jedoch so klein, dass dies vernachlässigbar ist.
- Der Einsatz von Arbeitsenergie wird folgendermaßen abgeschätzt: Auf einer Gesamtfläche von 754'000 ha befinden sich 9650 Nomaden. Geht man davon aus, dass von diesen die Hälfte eine jährliche Zeit von 2400 Stunden einsetzen, so ergibt sich ein Zeiteinsatz von 15,4 Stunden / ha und Jahr. Hierzu muss jedoch gesagt werden, dass sich gerade bei Nomaden die – in der theoretischen Diskussion zum Modellmerkmal des Zeiteinsatzes diskutierten – schwierige Trennung zwischen eigentlicher Arbeitszeit und „Freizeit“ zeigt.
- Die Fläche des Produktionssystems wurde geschätzt, indem aus der angegebenen Bevölkerungsdichte und einer Annahme von acht Personen pro Haushalt die Fläche pro Haushalt und damit Produktionssystem abgeleitet wurde.

Dalsgaard und Oficial 1997

- Für den im Artikel nicht angegebenen Herbizid- und Pestizideinsatz wurden Durchschnittswerte für die Region Central Luzon auf den Philippinen (1994-1999) von 0,70kg/ha, d.h. ein Energiewert von 0,37GJ/ha (Umrechnungsfaktoren, s. Appendix 3), angenommen (Dawe 2004).
- Im Artikel ist von keinem Tier- oder Maschineneinsatz die Rede. Vor allem beim Einsatz von Tieren besteht der Verdacht, dass zwar Tiere verwendet werden, dieser Einsatz aber nicht im Artikel erwähnt wird. Der Vergleich mit den anderen Systemen ist deshalb in dieser Hinsicht mit Vorsicht zu behandeln.
- Der Arbeitseinsatz ist in Tagen angegeben, bei der Umrechnung in Stunden wurde von einem durchschnittlichen Zeiteinsatz von 8 Stunden pro Tag ausgegangen.
- Um die Angabe von Zeiteinsatz für die Ackerfläche zu ermöglichen, wurde geschätzt, dass 80% des für das gesamte Agrarsystem aufgewandten Zeiteinsatzes für die Umgestaltung dieses Flächenanteils verwendet wurden.
- Für die Umrechnung der Früchte in Energiewerte konnten teilweise keine genauen Heizbrennwerte gefunden werden. Als Ersatz wurden statt dessen folgende Energiewerte aus Appendix 2 verwendet: Der Umrechnungsfaktor von Ölkürbis für „watermelon“, „bitter gourd“ und „bottle gourd“, Paprika für „chili“ und „eggplant“, Mittelwert Kernobst für „banana“, „papaya“, „mango“, „santol“, star apple“, „guava“ und „tamarind“, Spinat für „water spinach“, Walnüsse für „coconut“, sowie der Energiewert von Kartoffeln für „sweet potato tops“.
- Die Ernteangaben bis 10kg wurden für die Berechnung der entsprechenden Energie-Outputs vernachlässigt.
- Für die Umrechnung der „105 kg poultry&eggs“ in Energie wurde mit 52,5kg Huhn und 52,5kg Eier gerechnet.
- Für die Werte von N, P und K wurden die in Abbildung 5 bis Abbildung 8 des Artikels angegebenen Werte verwendet. Die N-Werte unterscheiden sich dabei teilweise von den auf S.524 des Artikels angegebenen Werten, sind somit anzuzweifeln.
- Der als Düngemittel verwendete Kompost, Blätter usw. sind nicht quantitativ angegeben und können somit nicht berücksichtigt werden.
- Auf der als „Homestead“ und „Sloping land/river bank“ angegebenen Fläche werden sowohl Holz, Gras, als auch Früchte&Gemüse angebaut, es entsteht also das Problem einer nicht möglichen scharfen Trennung zwischen Wald/Weide- und Pflanzen-Subsystem. Ich löse dies so, dass ich die entsprechenden Flächen sowohl dem einen als auch dem anderen Subsystem zuschlage, da sie gewissermaßen aufeinander liegen. Bei Philippinen 3 und 4 werden die Fläche der Homestead lediglich zum Wald/Weide-Subsystem hinzugezählt. Die Fläche des Fischteichs wird vernachlässigt, da sie im Artikel nicht angegeben ist und mutmaßlich nur einen sehr geringen Teil ausmacht.

De Jager et al. 2001

- Das „maize grain + beans intercropping system“ habe ich als gesamtes Pflanzen-Subsystem angenommen (zu eventuell zusätzlichem Anbau gibt es keine Angaben).
- Der Zeiteinsatz pro Hektar wurde durch Division der angegebenen Arbeitszeiten durch die durchschnittliche Farmgröße berechnet. Der in Arbeitstagen angegebene Zeiteinsatz wurde mit der Annahme eines Einsatzes von 8 Stunden pro Tag in Stunden umgerechnet.
- Die Energiewerte für den Einsatz von Düngemitteln wurden direkt aus den Angaben für N,P und K berechnet.
- Es wird angenommen, dass weder Mais noch Bohnen an Tiere verfüttert werden.
- Die im Artikel angegebene Benutzung von Bäumen in der Form von Brennholz wurde aufgrund großer methodischer Unsicherheiten nicht in die Energieflussanalyse einbezogen.

Golley et al. 1990

- Lediglich für Mais und Weizen sind im Artikel die Energieeinsatz und -ertrag ausgiebig angegeben. Da Weizen im Vergleich nur etwa ein Zehntel der Fläche vom Mais einnimmt, stelle ich den Energiefluss exemplarisch für das Maissystem dar.

Guo&Bradshaw 1993

- Das zwischen den Feldern als Fischfutter gepflanzte Gras wurde mit in das betrachtete System einbezogen.
- Ich nehme an, dass für die Umrechnung von menschlicher Arbeit in Energie ein Wert von 13 MJ pro 8 Stunden Arbeit verwendet wurde, wenngleich die im Artikel verwendete Formulierung nicht eindeutig ist. Aus diesem Umrechnungsfaktor wurde die eingesetzte Zeit berechnet.
- Für die verschiedenen Inputs nicht erneuerbarer Energie (indirekt durch Düngemittel, Pestizide, Maschinen, direkt durch Treibstoffe) verwende ich die von Guo & Bradshaw in Abbildung 4 des Artikels (als „Fossil Energy Input“) direkt angegebenen Werte. Da jedoch weder aufgeschlüsselt ist, auf welche Komponenten dieser Energieeinsatz zurück geht, noch die Umrechnungsfaktoren angegeben sind, die Umrechnung der in Abbildung 3 des Artikels angegebenen eingesetzten chemischen Düngemittel zudem auf einen niedrigeren Wert hindeutet, ist diese Angabe des Energieinputs im Falle dieser Studie mit Vorsicht zu behandeln.

- Der diesem Einsatz von Futtermitteln entsprechende Energieeinsatz ist nicht exakt zu ermitteln, da nur angegeben ist, dass er aus Gerste und Ölsaatresten stammt. Für eine ungefähre Schätzung wurde jene Energie angenommen, die für einen entsprechenden Output in dem hier untersuchten Agrarsystem eingesetzt werden muss. Das heißt, es ergibt sich bei der ermittelten Energieeffizienz von 14,78 ein für 131,8 GJ Futtermittel notwendiger Energieeinsatz von $131,8 \text{ GJ} / 14,78 = 8,92 \text{ GJ}$
- Die Fläche pro Produktionssystem ist nicht direkt angegeben, hingegen sehr wohl die agrarisch genutzte Fläche pro Person. Angegeben ist daher die Fläche pro Produktionssystem, nimmt man als Produktionssystem einen Haushalt, bestehend aus acht Personen, an.

Han et al. 1985

- Da das Saatgut aus der Ernte des vergangenen Jahres gewonnen wird, ist es durch Abzug der entsprechenden Energie von der Ernte berücksichtigt.
- In der Analyse von Han et al. 1985 erscheinen auch Pflanzenanteile, die wieder zurück ins Feld gehen (z.B. seedcakes), als Output. Da in dem hier verwendeten Modell nur die Ernte als Output gezählt wird, berücksichtige ich diese entsprechenden Anteile nicht.
- Ich gehe von der Annahme aus, dass sämtlicher Maschineneinsatz für das Ackersubsystem aufgewendet wird.
- Der aus den Baumwollsaamen stammende, verwertete Output besteht aus dem an die Tiere verfütterten Saatkuchen und dem Pflanzenöl. Zum Zwecke der Vergleichbarkeit mit anderen Studien bin ich hierbei so verfahren, dass ich diese beiden getrennt angegebenen Energiewerte für Saatkuchen und Pflanzenöl gemeinsam als Wert für Ölsaamen verwendete.
- Als durchschnittliche Fläche des Forest/Pasture-Subsystems wird 18% der Gesamtfläche angegeben. Obwohl dieser Anteil sehr stark zwischen den verschiedenen angegebenen Systemen variiert, verwende ich die 18%, in Ermangelung eines genaueren Wertes, für alle Systeme gleichermaßen. Da für den Vergleich mit den anderen Studien der Durchschnitt verwendet wird, ergibt sich dort dadurch kein Fehler.
- In den Energiewerten für das Forest/Pasture-Subsystem ist das Gras, das durch Abweiden genutzt wird, nicht mit berücksichtigt. Han et al. merken jedoch durchaus an, dass in Farmen mit Weideland diese auch für die Weide von Schafen und Ziegen genutzt wird.
- Die Inputs in das Animal-Subsystem sind nicht für jede der Kollektivfarm getrennt aufgeführt. Näherungsweise benutze ich deshalb für alle einzelnen Kollektivfarmen bei der Darstellung des Tiersubsystems die prozentualen Durchschnittswerten aus Abbildung 2 des Artikels.
- Für das Tiersubsystem werden nur Energie-Outputs angegeben, die aus dem System hinausgehen, der Teil der Tierproduktion, der von den Bauern selbst verzehrt wird, ist nicht aufgezeichnet. Es können deshalb nur Minimalwerte für die Tierproduktion angegeben werden.
- Interessanterweise gehen Han et al. offenbar in ihrer Rechnung davon aus, dass alle arbeitsfähigen Personen auch den ganzen Tag arbeiten. Es ist fraglich, ob diese Annahme so möglich ist.
- Die von mir aus den direkten Mengenangaben und den im Appendix 4 angegebenen Umrechnungsfaktoren errechneten Energiewerte für Düngemittel liegen um 30% niedriger als die in Tab. IV des Artikels direkt angegebenen. Ich korrigiere deshalb bei den anderen vier Farmen die Werte durch Multiplikation mit dem Faktor 0,7.
- Für die Berechnung der Input/Output-Analyse des Ackersubsystems wurde angenommen, dass 80% der für das Gesamtsystem aufgewandten Arbeitsenergie in das Ackersubsystem investiert werden.

Heitschmidt et al. 1996

- Der Umfang der Futtermittel für ein Jahr ist in Tab.2 des Artikels angegeben. Ich rechnete diese Angaben mit Hilfe der im Appendix 2 angegebenen Faktoren in Energiewerte um. Für Heu bzw. Gras (Weide) benutze ich dabei den in Appendix 2 angegebenen Faktor für Wiesen (Trocken- bzw. Frischgewicht), für die Leguminose Alfalfa den Wert von Luzerne. Das eingesetzte Proteinkonzentrat nehme ich als auf Sojabohnen basierend an und benutze für die Umrechnung den entsprechenden im Appendix 2 angegebenen Wert für Sojabohnen. Die Fläche dürfte aufgrund der nicht berücksichtigten Verarbeitung in ein Konzentrat unterschätzt sein, was jedoch beim geringen Anteil dieses Futtermittels vernachlässigbar scheint.
- Für die Heu-Werte, für die vermutlich die Ernte zum Teil in Gewicht des Heus angegeben ist, wird mit einem Wassergehalt von 14% gerechnet. Dies ergibt 301 kg/ha für die Heuproduktion.
- Der Einsatz von Futtermitteln pro produziertem Kalb ergibt sich durch Addition der eingesetzten Futtermittel für die Mutterkuh für ein Jahr, plus den Futtermitteln für ihr Kalb von der Geburt bis zur Schlachtung.
- Die Energiewerte für die produzierten Kälber sind direkt aus Tab.6 des Artikels entnommen, die angegebenen Energiewerte sind auf den gesamten Körper des Kalbs bezogen.
- Über die in Tab.3 des Artikels angegebenen Erntewerte für die einzelnen Futtermittel werden die dem Futtermiteinsatz entsprechenden Flächen abgeschätzt.
- Für die Sojabohnen resp. das Proteinkonzentrat benutze ich den ungefähren durchschnittlichen Erntewert der USA von 2,5 t/ha (USDA/NASS 2004).

- Für die Sonnenblumensamen benutze ich den durchschnittlichen Ertrag für das an Montana angrenzende Kanada von 1,49 t/ha (Durchschnitt 1996-2000, Skrypetz 2000). Als Input-Werte benutze ich jene des im Artikel angegebenen Gerstegetreides. Da der Anteil des den Sonnenblumensamen zugrundeliegenden „Finishing Supplements“ nur minimal ist, ist der darauf zurückgehende Fehler ohne Zweifel vernachlässigbar.
- Aus diesem jeweiligen Flächenbedarf für die Produktion eines Kalbes lässt sich der Flächenanteil, bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Fläche (Wald-/Weide und Ackersubsystem) berechnen. Diese Flächenanteile sind in Spalte D angegeben.
- Der Ertrag pro Hektar Gesamtfläche schließlich ergibt sich aus der Multiplikation des Flächenanteils der jeweiligen Futterkategorie mit dem Energieertrag pro Hektar. Dieser Wert ist in Spalte C des Excel-Notebooks angegeben.
- Die in Tab.3 des Artikels angegebenen Input-Werte für generelle Operationen des Animal-Subsystems (z.B. Transport) gelten für eine 250-köpfige Herde. 1/125 der Werte ergeben demnach die Input-Werte, bezogen auf ein Mutterkuh-Kalb-Paar. Um die auf einen Hektar des Gesamtsystems bezogenen Werte zu erhalten, müssen diese Werte durch die für die Produktion eines Kalbs notwendige Gesamtfläche dividiert werden.
- Für die Inputs Energieinputs Soja betreffend wurden die Werte für Alfalfa benutzt.
- In geringem Umfang wird zum Teil ein als „Finishing Supplement“ bezeichneter Futtermittelzusatz verfüttert. Nach verschiedenen Quellen gehe ich von einem pflanzlichen Anteil von 60% trockenen Sonnenblumenkernen aus.

In diesem Fall war die Trennung zwischen den verschiedenen ökonomisch abgetrennten Produktionssystemen nicht möglich. Es wurden deshalb alle Werte so behandelt, als ob ein einziges Produktionssystem vorläge. Tatsächlich sind jedoch Weide und Feedlot, die beiden Stationen der Rinder, ökonomisch in der Regel voneinander getrennt.

Leach 1976

Budget No 47 – Winter Lettuce in UK, 1971-1972

- Es fallen ca. 90% des eingesetzten Gesamtenergie auf Heizwärme, weitere ca. 5% auf die Anreicherung der Luft mit CO₂ und 1 bis 4 % auf die Beleuchtung der Setzlinge, weitere 2% gehen auf das Konto der Schalen, in denen die Salatköpfe aufgezogen werden. Der Energieeinsatz durch Düngemittel etc. ist im Vergleich dazu minimal.
- Auch auffällig ist, die vergleichsweise hohe Arbeitsintensität dieses Systems (2870 h/ha/Jahr).

Leach 1976 nach Lee 1969

- Lee (1969) gibt laut Leach (1976) an, dass 65% der 668 Leute zählenden Bevölkerung am Jagen und Sammeln beteiligt sind. Diese 65% verwenden 2,5 von 7 Wochentagen für die Jagd und das Sammeln. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Zeitverwendung von 0,652 h / ha/Jahr. Multipliziert mit angenommenen 0,0007 GJ/h ergibt sich daraus ein Energieaufwand von 0,000456 GJ / ha/Jahr.
- Die Aufteilung zwischen Einsatz erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie ergibt sich aus der Annahme, dass ausschließlich Arbeitsenergie als erneuerbarer Teil zu zählen ist, wodurch die Höhe des Einsatzes nicht erneuerbarer Energie durch den Gesamtenergieeinsatz, abzüglich der Arbeitsenergie ermittelt werden kann.

Le Houérou 1989 nach Kiekens 1984

- Sämtliche Werte sind aus Abbildung 59 des Artikels, nach Kiekens 1984 entnommen.
- Für die Umrechnung der „Manure“ in Energie verwende ich den von Pandya & Pedhadiya 1993, sowie Sharma & Singh 1997 angegebenen Umrechnungsfaktor von 7,286 MJ/kg.
- Als energetischen Wert für das Hirsestroh benutze ich jenen von Gerste (18,0 MJ/kg, in Appendix 2 angegeben).
- Beim Rangeland wird zwischen „Herbage“ und „Browse“ getrennt. Ersteres ist in der Excel-Tabelle unter „Grass&Hay“, letzteres unter „Tree leaves & other animal digestible tree parts“ aufgeführt.
- Als Brennwert für „Browse“ verwende ich den im Appendix für Wiesen angegebenen Wert von 17,9 MJ/kg, bezogen auf die Trockenmasse.
- Es wurde – der Berechnung für das Weidesystem von Coughenour et al. 1985 (s. Bemerkungen oben) folgend – ein Arbeitsenergieeinsatz von 0,011 GJ/ha für das Tiersubsystem, sowie – dem System von De Jager et al. 2001 folgend – 0,75 GJ/ha für das Ackersubsystem angenommen.

Ma&Edwards-Jones 1997

- Die im Artikel angegebenen 10-20 % fallow cropland wurden für die Angaben nicht berücksichtigt.
- Die Energiewerte sind lediglich direkt angegeben, wodurch systematische Fehler, hauptsächlich aufgrund unterschiedlicher Umrechnungsfaktoren, wahrscheinlich sind.
- Die Werte für Pestizideinsatz wurden aus der Gesamtenergie, abzüglich allen angegebenen Energiewerten, abzüglich des angenommenen Wertes für Samen errechnet.

- Die Aufteilung des (undifferenziert angegebenen) Werts für Maschinenproduktion, sowie Öl und Elektrizität wurde – basierend auf anderen Studien – mit 1:4 abgeschätzt.
- Der nur in der Summe angegebene Wert für eingesetzte tierische und menschliche Energie wurde – basierend auf dem normalerweise sehr hohen Einsatz menschlicher Arbeitsenergie in vielen chinesischen Agrarsystemen – mit 1:1 abgeschätzt. Dennoch ist diese Schätzung ziemlich willkürlich und die entsprechenden Werte sind deshalb mit Vorsicht zu behandeln.
- Der Ertrag wurde abgeschätzt, indem die angegebenen durchschnittlichen Getreideernten („crop yield“) für 1985 mit dem durchschnittlichen Energiegehalt von 15,7 MJ/kg multipliziert wurden.
- Die Angaben über die Fläche des Produktionssystems von „China 2“ und „China 3“ beruhen auf Angaben über die pro Person zur Verfügung stehende Agrarfläche. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese nur jeweils ca. 60% der benötigten Nahrungsenergie produzieren kann.

Nguyen&Haynes 1995

Die Studie von Nguyen & Haynes ist ein typisches Beispiel für die sehr limitierte Aussage von Energiebilanzen einzelner Feldfrüchte, von denen etliche für industrialisierte Systeme zu finden sind. Mangels genauerer Angaben über die gesamte Fruchtfolge wurde von Nguyen & Haynes nur der Weizenanbau genauer untersucht, einige Annahmen treffend kann aber auch die gesamte Fruchtfolge dargestellt werden. Die Vorgangsweise wird im Folgenden beschrieben:

Durchschnittlicher jährlicher Energieinput der gesamten Fruchtfolge:

In Tab.3 sind der Energieinput für die gesamte Fruchtfolge angegeben, im Text selbst sind Angaben über die einzelnen Fruchtfolgen zu finden. Im Gegensatz zu den hier gewählten Systemgrenzen ist hier jedoch das Saatgut in den Energieinput inkludiert. Für Weizen, Erbsen und Gerste sind die Werte für das Saatgut angegeben und können somit direkt abgezogen werden. Um den Energieeinsatz für die Maschinenmanufaktur mit einzurechnen, wird der Energieinput um 10% erhöht. Für den Buchweizen in der Fruchtfolge des biodynamischen Hofes der Kowai-Site wurden die Input-Werte von Weizen benutzt. Für die Bohnen des konventionellen Hofes der Temuka-Site die Werte für die Erbsen. Für die Erbsen der Templeton-Site werden die entsprechenden Werte der Temuka-Site benutzt.

Durchschnittlicher jährlicher Energieoutput der gesamten Fruchtfolge:

Der durchschnittliche jährliche Energieoutput lässt sich aus den in den verschiedenen Tabellen für die einzelnen Feldfrüchte angegebenen Ernteangaben, zuzüglich des durch Weide erzeugten Lammfleisches und der Schafwolle ermitteln. Da die Wolle im Energieoutput ohnehin vernachlässigbar ist, wurde für die Umrechnung der Massenangaben von Wolle der Faktor des Lammfleisches benutzt. Die Energiewerte für die einzelnen Erntedaten wurden, zwecks besserer Vergleichbarkeit mit den anderen Studien, aus den Masseangaben mit Hilfe der in Appendix 2 angegebenen Umrechnungsfaktoren berechnet, nur für Erbsen werden die direkten Energieangaben verwendet. Für Buchweizen wurden die Erntewerte von Weizen benutzt, für Bohnen die Werte der Erbsen. Für die Erbsen der Templeton-Site werden die entsprechenden Werte der Temuka-Site benutzt.

Ozkan et al. 2004

- Die Werte für Arbeitsenergie und chemische Düngemitteln wurden aus den direkt angegebenen Werten mit Hilfe der im Appendix angegebenen Faktoren in Energiewerte umgerechnet. Für alle anderen Werte wurden die direkten Energieangaben verwendet.
- Der Posten „water for irrigation“ wird nicht mit in die Rechnung eingeschlossen.
- Für die Umrechnung der Erntedaten in Energiewerte werden die im Appendix angegebenen Faktoren verwendet, für Auberginen der Energiegehalt von Paprika. Ozkan et al. 2004 verwenden für sämtliche vier Gemüsesorten den gleichen Energiefaktor, was eine erhebliche Fehlerquelle im Bezug auf den Energie-Output darstellt.
- Bei der Angabe über die Fläche des Produktionssystems ist die Fläche der Gewächshäuser und in Klammern die mittlere Fläche der gesamten Agrarsysteme angegeben.

Pandya&Pedhadiya 1993

- Wenn nicht anders vermerkt, sind alle Energie-Input und –Output-Werte für das Pflanzenbausystem aus Tab.1 entnommen.
- Die Tiere weiden kurze Zeit des Jahres auf den Flächen von „Grazing lands“, „Range lands“ und „Waste land“. Die zusammengefasste Fläche dieser drei Kategorien (1124,2 ha) werden als „Forest/Pasture-Subsystem“ gewertet.
- Die Fläche des Cropping Systems ist mit 923,5 ha angenommen, wenngleich sich das von der in tab.3 angegebenen „average cropping area“ von 934,5 ha leicht unterscheidet.
- Wo möglich, wurden die Energiewerte für Düngemittelsatz aus den angegebenen Mengenangaben mit Hilfe der von FADINAP/UN 2004 angegebenen Zusammensetzungen und der im Appendix angegebenen

Umrechnungsfaktoren berechnet, um den systematischen Fehler durch die verschiedene Umrechnungsfaktoren so klein wie möglich zu halten.

- Die als Brennstoff verwendete Tierexkrementa wurden nicht als Output des Systems berücksichtigt.
- Zur Vereinfachung wurde die Energie der auch Ölsamen enthaltenden Baumwolle ganz zu den „Non-Edible Cash Crops“ gerechnet.
- Es wurde angenommen, dass der gesamte angegebene Arbeitsenergie von Tieren im Ackersubsystem verwendet wird.
- Es wurde angenommen, dass keine auf nicht erneuerbaren Energien basierenden Inputs für das Wald-/Weidesubsystem verwendet werden.
- Der Anteil des Zeiteinsatzes, der auf das Ackersubsystem fällt, wurde mit 70% angenommen.

Rijal et al. 1991

- Kein Verwendung von Pestiziden angenommen (im Artikel keine Werte angegeben).
- Indirekter Energieeinsatz durch Maschinenmanufaktur mit 20% des Wertes für „Fuel&Electricity“ angenommen.
- Alle Angaben beziehen sich auf die in Tab.1 angegebene „Crop Area“.

- Bezüglich der für die Modellberechnung von NPP₀ notwendigen Werte für Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur sind von Rijal et al. keine Werte angegeben. Abgeschätzt werden diese deshalb durch die unter Sharma 2002 angegebenen Werte.
- Werte für Residues sind angegeben. Um den Teil zu berücksichtigen, der im Feld verbleibt, zähle ich zu den Residues 10% dazu.

Sarmiento et al. 1993

- Es ist lediglich ein Gesamt-NPK-Einsatz (in kg) angegeben. Zur Ermittlung des Energieeinsatzes durch synthetische Düngemittel benutze ich daher ein angenommenes Verhältnisses von 1:1:1 für N:P:K.
- Als Beispiel werden die Werte eines Bauern von 1989 benutzt (Tab.3 des Artikels). Für die Jahre 1990 und 1991 sind keine Daten für die Weizenernte angegeben.

Scrimshaw&Taylor 1980

- Bei der Berechnung des Energieeinsatzes durch Düngemittel gehe ich von einer N:P:K-Zusammensetzung von 1:1:1 aus. Berücksichtigt man noch, dass nicht hervorgeht, welche Art von Düngemittel mit der Angabe gemeint ist, kann diese Annahme unter Umständen einen hohen Fehler enthalten.
- 59 Arbeitstage sind für die Vermarktung der Produkte angegeben, diese wurden nicht in das System mit einbezogen. Entsprechend die 66 Einsatztage des Ochsengespanns in anderen Agrarsystemen.
- Der Zeiteinsatz ist in Arbeitstagen angegeben, ich gehe von einem 8 Stunden umfassenden Arbeitstag aus.
- Für das Obstbaumsystem sind keine Erntedaten angegeben. Da diese – gemessen an der Dicke des Pfeils in der Darstellung – nicht sehr viel ausmachen dürfte, vernachlässige ich diese (ebenso wie den Arbeitseinsatz).
- Der Arbeitseinsatz von Ochsen ist in Tagen angegeben, wobei angegeben ist, dass ein Tag aus 8 Arbeitsstunden besteht.
- Als energetischer Umrechnungsfaktor für Reis werden 15,7 MJ/kg angenommen (Mittelwert für Getreide)
- In dem Flussdiagramm ist die Maisernte mit 10845 kg angegeben. Zählt man die verkauften, selbst verzehrten, bzw. als Futtermittel und Saatgut verwendeten Mengen zusammen ergeben sich allerdings lediglich 8576 kg. Möglicherweise besteht die Differenz im Verlust durch Lagerung und Verarbeitung des Mais. Mit 2269 kg ist diese nicht unerheblich. Ich benutze als Wert den Erntewert von 10845 kg und ziehe davon den als Saatgut wieder verwendeten Teil von 64 kg ab, so dass sich eine Gesamternte von 10781 kg ergibt, wovon 12 kg an das Tiersubsystem, die restlichen 10769 kg von der Familie verzehrt und verkauft werden.
- Beim Reis ergibt sich ein ähnlicher Fehler, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen: Während als Ernte 4385 kg angegeben sind, vermehrt sich dieser Reis offenbar auf wundersame Weise, wodurch sich 4632 kg durch Addition von Verkauf, Selbstbedarf, Saatgut und Tierfutter ergeben. Wiederum verwende ich als Basis den Erntewert von 4385 kg.
- Die für den Ochsen aufgewandten 12kg Salz werden vernachlässigt.
- Bei Eiern wurde mit einem mittlerem Gewicht von 50g pro Ei gerechnet, was eine Gesamtproduktion von 12 kg ergibt.
- Der „Cropping Intensity Index“ wurde berechnet durch die Summierung des Produkts aus Fläche und Anzahl der Ernten pro Jahr, geteilt durch die Gesamtanbaufläche (ohne Wald/Weide).
- Es kann davon ausgegangen werden, dass keine Maschinen eingesetzt wurden, da keine Ausgaben für Treibstoff verzeichnet sind.

Sharma&Singh 1997

- Der von Sharma & Singh verwendete Umrechnungsfaktor von 0,07672 GJ/kg für N liegt ca. 35% über dem von mir verwendeten Faktor (Appendix 3). Die von Sharma&Singh 1997 verwendeten Umrechnungsfaktoren für den Energieeinsatz durch P und K sind dagegen nahezu identisch mit den von mir verwendeten. Da nur die Energiewerte für Gesamtdüngemiteinsatz angegeben waren, ich also nicht wie bei den meisten anderen Studien die Energiewerte aus den direkten Angaben für Düngemiteinsatz berechnen konnte, berücksichtige ich die unterschiedlichen Umrechnungsfaktoren, indem ich 20% vom Energieeinsatz für chemische Düngemittel abziehe.
- Für den Einsatz von Maschinen ist lediglich ein summierter Energiewert für Maschinenherstellung, sowie Treibstoff angegeben. Ich schätze die Aufteilung mit 25% für Maschinenherstellung und –Unterhalt („Machinery“), sowie 75% für Treibstoffeinsatz („Fuel&Electricity“) ab.

Singh et al. 1997

- Der Energieeinsatz für das gesamte Pflanzensubsystem wurde aus den Angaben für die einzelnen Pflanzenkulturen sowie deren Anteil an der Gesamtanbaufläche errechnet.
- Der Arbeitseinsatz wurde mit Hilfe des angegebenen Umrechnungsfaktors in Stunden zurück gerechnet und daraufhin mit Hilfe des angegebenen Standardfaktors von 0,0007 GJ/h in Energieeinheiten zurück gerechnet. Für die Umrechnung wurde der Mittelwert zwischen den angegebenen Umrechnungsfaktoren für Männer und Frauen verwendet.

Swanton et al. 1996

- Als Ernte wurde der ausschließlich angegebene Durchschnittswert für 1990-1992 von 8800 kg/ha verwendet. Dieser liegt relativ hoch im Vergleich zu regionalen Statistiken.

Tripathi&Sah 2001

- Für die Energieflussanalyse verwendet wird der in Abbildung 2 des Artikels angegebene Energiefluss eines durchschnittlichen Agrarsystems aus high hill, mid hill und valley system. Die flächenbezogenen Werte werden dabei näherungsweise durch die durchschnittliche Agrarfläche von high-hill und mid-hill system ermittelt, welche beträgt 35,6 ha beträgt für ein ganzes Dorf beträgt, ermittelt aus den Angaben für durchschnittliche Fläche des Agrarsystems eines Haushalts, multipliziert mit den Haushalten pro Dorf (Tab.9).
- Um einen Vergleichswert für den Energieinput zu haben, wurde für den Arbeitseinsatz der mittlere Wert aus Sharma & Singh 1997 verwendet.

Tsatsarelis 1993

- Da laut Tsatsarelis die meisten Systeme diesem Typ zuzuordnen sind, wurden die Düngemittelangaben für System B verwendet.
- Tsatsarelis gibt zudem an, dass Weizen in der Regel in Griechenland nicht bewässert wird und das Stroh selten zu Strohballen verarbeitet wird. Dementsprechend wurden diese beiden Zusatzoperationen nicht in die Rechnung miteinbezogen.
- Da keine Zugaben von Stalldünger erwähnt sind, wird von einem reinen Pflanzenbausystem ausgegangen.
- Bei den als Intervallen angegebenen Größen wurde der Mittelwert aus Maximal- und Minimalwert benutzt.

Zucchetto&Bickle 1984

- Die Energiewerte für chemische Düngemittel, ebenso wie die Ernte von Mais und Grünmais, sind über die in Appendix 2 angegebenen Umrechnungsfaktoren aus den im Artikel angegebenen Mengenangaben berechnet. Für „Urea“ wurde dabei der gleiche Wert wie für „Nitrogen“ verwendet.
- „Machinery“ beinhaltet auch die Energieausgaben für Gebäude, in denen die Tiere untergebracht sind.
- Der Grünmais wird in der Excel-Tabelle unter „Grass&Hay“ angegeben. Im Vergleich zu den Energieangaben von Zucchetto und Bickle 1984 ergibt sich dadurch z.B. beim an die Tiere verfütterten Mais+Silage ein um 14% höherer energetischer Wert. Dies zeigt auch die nur grobe Vergleichbarkeit verschiedener Analysen.
- Für die „Food Supplements“ werten Zucchetto und Bickle 1984 lediglich die Verarbeitungskosten für Sojamehl, nicht jedoch die darin enthaltene Energie als Input. Ich dagegen betrachte diesen Energieaufwand wegen der andernfalls schwierigen Vergleichbarkeit mit anderen Studien, bei denen die Verarbeitungskosten nur schwer nachzuvollziehen sind, als systemextern und werte dagegen die im „Food Supplement“ enthaltene Energie als Input. Als Umrechnungsfaktor benutze ich den im Appendix angegebenen Faktor für Eiweißfutter. Zum Abschätzen der entsprechenden Fläche wurde eine Ernte von 2912 kg/ha angenommen

(Pennsylvania Agricultural Statistics Service 2000), von bushel/acre in kg/ha der Umrechnungsfaktor 67,25 benutzt, was zusammen mit dem im Appendix 3 angegebenen Energiewert für Sojabohnen einen Ertrag von 63,77 GJ/ha für Sojabohnen ergibt.

- Den „Veterinarian Service“ wird nicht in die Inputs eingeschlossen.
- Da die Angaben im Artikel hierzu missverständlich sind, berechne ich die $ANPP_{akt}$ mit Hilfe von Ernteindizes. Bei Luzerne („Alfalfa“) und Mais Silage („Corn Silage“) gehe ich davon aus, dass 5% der Gesamtbiomasse im Feld verbleiben. Für Mais, bei dem die Ernte bei extrem niedrigen und fragwürdigen 1,2 t /ha liegt (auf 648ha nur Mais angebaut, s. Tab. A-1 des Artikels), rechne ich mit einem Ernteindex von 0,37.