

Bilanzierung des Produktionsenergie- Flusses in der Trockenlandwirtschaft

- erster Schritt zur einzelbetrieblichen Energieumsatz-Optimierung und zur agroenergetischen Regionalanalyse *)

Budgeting of the agricultural production energy flow in dryland farming

- first step to optimize the energy turnover on a farm basis and to an agro-energetic regional analysis.

Von Hans-Joachim Späth**)

1. Einleitung

Im Rahmen der international wachsenden Notwendigkeit, nicht-erneuerbare Energie-reserven konservativer als bislang zu nutzen und zu strecken und Rohstoffrecycling zu verwirklichen, bleibt es eine der vordringlichsten Aufgaben, den Energieverbrauch in allen Phasen der Produktion, des Transportes, der Weiterverarbeitung und des Konsums industrieller und landwirtschaftlicher Güter zu minimieren und nicht - wie selbst als mittelfristige Zwischenlösung immer wieder nahegelegt - auf den Erfolg der Suche nach neuen, noch nicht bekannten Quellen der Energie und der Rohstoffe optimistisch zu vertrauen.

Für die Agrarwirtschaft stellt sich in diesem Rahmen die Aufgabe, den Agrarpro-

*) Ein Heisenbergstipendium, finanzielle Hilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft und Förderungen durch die gastgebende COLORADO STATE UNIVERSITY ermöglichten die Durchführung eines Agrarenergieprojektes, in dessen Rahmen diese Methodik entwickelt worden ist. Für diese Förderungen sie herzlich gedankt.

***) Dr. Hans-Joachim Späth, Director of the Institute for Dryland Development, University of Oklahoma, 455 West Lindsey, Suite 804, Norman, OK 73019

duktions-Energiefluß zu beobachten, die produkt-, regions- und betriebstypenspezifischen Energie-Wirkungsgrade vergleichend zu erfassen und Konzepte realistischer Energiefluß-Alternativen mit dem Ziel der regionalen Optimierung des Energieumsatzes zu entwickeln und zu verwirklichen.

Im vergangenen Jahrzehnt sind insbesondere durch die Volks- und Agrarökonomie, durch die Soziologie und Ingenieurwissenschaften Anstrengungen zur Erfassung des landwirtschaftlichen Energieumsatzes sowie der Energie-Wirksamkeit verschiedener Produktionssysteme unternommen worden. Die hierbei erarbeiteten Energie-Bilanzen bauen jedoch fast ohne Ausnahme auf sehr stark verallgemeinerten physischen und technischen betrieblichen Grundlagen auf. Hierzu z.B. (Green, 1976 und 1978), (Heyland und Solansky, 1979), (Patrick, 1977) oder (Pimentel et al., 1973). Sie verwenden tradierte (und veraltete) Faktoren zur Umrechnung der einzelnen Produktionsinputs in Energieäquivalente und eine nur für betriebswirtschaftliche Fragestellungen angemessene Methodik der Energiefluß-Bilanzierung. Sie gelangen so zu Einheitswerten für ganze Agrarräume, die darüber hinaus die geoökologische Variabilität des Raumes als zentrales Steuerungsmoment für die regionale Abwandlung dieser Energieumsatz-Eckwerte unberücksichtigt lassen.

Die zweite Gruppe dieser Arbeiten beschäftigt sich innerhalb der gegebenen Gesamtproblematik mit Punktstudien und erbringt Resultate, deren räumlich-zeitlicher Transfer als Grundlage für planerische Maßnahmen unangemessen ist. Als thematische und regionale Beispiele mögen (Heyland und Solansky, 1979), (Smith und Fornstrom, 1980) und (Steinkampf, 1979) genügen.

In der dritten Gruppe werden zum gegebenen Gesamtproblem nur Teilaspekte bearbeitet, wie z.B. der Treibstoffverbrauch bei unterschiedlichem Geräteinsatz oder Feldbodeneigenschaften (Downs and Hansen, 1979), (Shelton et al., 1980), (Shelton und Bashford, 1977) oder (Taylor, 1977) der Energie-Verbrauch zum Trocknen der Ernte (Horsfield et al., 1977) (Shove, 1977) oder die Wirkung unterschiedlicher Dünger- und Pflanzenschutzmittel-Zufuhr auf das standörtliche Produktionspotential und die Energiebilanz (Alder, 1976; Forster und Rask, 1977; Green et al., 1979 und Lockeretz, 1979).

Die Geoökologie ist in Verbindung mit den Agraringenieur-Wissenschaften angesprochen, an der Lösung dieses Zukunftsproblems mitzuarbeiten, weil sie allein dem Energieumsatz in seiner vielfältigen, dominant ökologischen Verflechtung pro Standort und Region methodisch systematisch auf den Grund zu gehen vermag. Sie ist in der Lage, die Alternativen zu gegenwärtigen Energiefluß-Regimen auf einzelbetrieblicher und agrarräumlicher Basis im Rahmen der genannten Verflechtungen zu entwickeln. Erst durch die Einbeziehung des naturgeographischen Rahmens mit seinen variablen und konstanten Parametern in die landwirtschaftliche Energieumsatz-Analyse sind der Regionalplanung, dem Ressourcemanagement und dem Gesetzgeber brauchbare Entscheidungshilfen und umfassende Planungsinstrumente zu geben.

Die Methodik der Bilanzierung des Produktionsenergie-Flusses und der darauf aufbauenden agro-energetischen Regionalanalyse wird hier hauptsächlich mit Beispielen aus dem Ackerbau unter semi-ariden Klimabedingungen erläutert,

- weil die im Trockenfeldbau heute praktizierten Kulturtechniken zur Bodenfeuchtespeicherung, zur Unkrautbekämpfung, zur Wind- und Wassererosionskontrolle, zur Saatbettbestellung und zum Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmittel die wichtigsten Möglichkeiten der auch in anderen landwirtschaftlichen Produktionszweigen (wie dem Regenfeldbau oder dem Bewässerungsfeldbau) praktizierten Techniken umfassen,
- weil damit die Möglichkeiten der anzustrebenden Optimierung des Energie-Umsatzes hier modellhaft zu umreißen sind,
- weil im Rahmen semi-arider Klimate die Wirkungen variabler geoökologischer Rahmenbedingungen auf den Energie-Umsatz besonders eindrucksvoll vorzustellen sind und
- weil die Halmfrüchte des Trockenfeldbaus - zum überwiegenden Anteil der Weizen - als eine der wichtigsten globalen Hauptnahrungsmittelgruppen flächenanteil- und energieumsatzmäßig im Rahmen der Gesamtpalette der Agrarproduktion stark repräsentativen Charakter haben.

Die hier gewählte Vorgehensweise sollte also ohne größere Probleme auf die anderen agrarischen Produktionszweige, selbst auf Intensivkulturen unter anderen natürlichen oder künstlichen Klimabedingungen übertragbar sein. In jedem Falle aber dient sie als methodisch brauchbare Leitlinie für eine von Fall zu Fall abzuändernde Systematik.

2. Problemstellung

Hier soll eine Einführung gegeben werden in die

- Methodik der Berechnung landwirtschaftlicher Produktionsenergie-Haushalte (allgemein und mit Beispielen aus dem Trockenfeldbau),
- Erhebung der kulturtechnischen Energie-Daten und der zeitgleichen Daten zum geoökologischen Rahmengeschehen,
- Möglichkeiten der regionalen Darstellung der Feld-Energiebilanzen zum Zwecke der agro-energetischen Regionalanalyse,
- Datenanalyse pro Standort und pro Region zum Wechselspiel zwischen Energiebilanz und agronomischen und geoökologischen Energiefluß-Regimefaktoren. Kurze Hinweise auf mögliche Planspiele zum Zwecke der Optimierung des zukünftigen agrarlandwirtschaftlichen Energieflusses schließen diese Einführung ab.

3. Landwirtschaftliche Produktionsenergie-Bilanzen und geoökologische Variabilität

Die folgenden Begriffe werden auf dem Gebiet der Agrarenergie-Forschung verwendet oder hier erstmals eingeführt.

Kulturrenergie - all jene Energiefaktoren, die zum Zwecke der Produktion einer gegebenen Anbaufrucht vor und nach ihrer Saat direkt und unmittelbar in das Feld eingebracht werden (auch "Energie-Input" genannt). Nach dieser Definition bleibt die im Zuge der Ernte verbrauchte Energie als Input unberücksichtigt, findet die Ernte doch erst dann statt, wenn die Produktion abgeschlossen ist.

Kulturrenergiefluß - die auf der Basis kleinster Zeiteinheiten beobachteten Veränderungen des aktuellen Gesamtinputs der Kulturrenergie und seiner Einzelkomponenten.

Kulturrenergiefluß-Regime - sie werden durch den Gang der monatlichen Energie-Investitionen und deren Streuung um das Jahresmittel quantitativ beschrieben. Im Trockenfeldbau können die Energiefluß-Regime auch indirekt durch die vor der Saatbettbestellung noch an der Feldoberfläche vorhandenen Strohrestraten (hier "%RR" genannt) beschrieben werden, da diese Restrate das Resultat aus der Summe aller mechanischen Feldoperationen zum Zwecke der Unkrautkontrolle, zur Bodenfeuchtespeicherung und zur Erosionskontrolle darstellt.

Energiefluß-Regimefaktoren sind demnach alle direkt in die Energie-Bilanz eingehende Einzelelemente (wie Treibstoff, Arbeit, in Maschinen gebundene Energie, Energie in Dünger und Pflanzenschutzmittel, Saatgut, Strom zur Bereitstellung von Bewässerungswasser, der Ertrag) und alle exogenen Faktoren, die die Art, Anzahl und Intensität der einzelnen Energie-Inputgruppen regulieren (wie z.B. klimatische Parameter (Niederschlagsereignisse, Gewitter, Hagel, Dürren, Frost, Sturm), Unkrautprosperität, Erosionsanfälligkeit, Bodenwasserhaushaltseckwerte, Ionenaustauschkapazität u.a.m).

Nahrungsenergie - die in der Ernte enthaltene, metabolisch verwertbare Energie (auch "Energie-Output" genannt).

Energie-Wirkungsgrad - das Verhältnis von Energie-Output zu Energie-Input. Er bezeichnet das Maß des Energieumsatzes.

Bislang herrscht in der Literatur insbesondere hinsichtlich der zu berücksichtigenden Energie-Einzelinputs keine Einheitlichkeit vor; zumeist werden diese Inputs nicht einmal identifiziert. Die anzuwendenden und/oder verwendeten Faktoren zur Umrechnung dieser Inputs in Energie-Einheiten bleiben undefiniert oder werden als überholte Werte aus früheren Publikationen übernommen. Ohne Einheitlichkeit bleiben die erzielten Resultate jedoch Fragmente von begrenztem Wert, da sie nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen sind. Darüber hinaus sind die Transfermöglichkeiten beschnitten.

Ein erster Schritt zu brauchbaren Energie-Analysen bestünde also in der Defini-

tion aller Bilanz-Inputs; darüber hinaus ließen sich Anhaltspunkte für die Interpretation ihrer Resultate gewinnen, wenn der jeweilige Zweck der Analysen erklärt werden würde. Außerdem ist es unbedingt erforderlich, die erarbeiteten Energie-Wirkungsgrade in Relation zu den entsprechenden Farmgrößen zu sehen. Selbst bei gleichen Energie-Umrechnungsfaktoren für in Maschinen gebundene Energie und bei vergleichbarem Umfang des Geräteparks ist die zu veranschlagende "gebundene" Energie im Falle des Maisanbaus bei (Pimentel et al., 1973) mit 62 acres (25 ha) Bezugsfläche unverhältnismäßig höher als im Falle des Weizen-Trockenfeldbaus mit hundertfachen Farmgrößen. Diese Disparitäten haben das Bild bisher publizierter Energie-Wirkungsgrade verzerrt und verbieten direkte Vergleiche.

Die im folgenden vorgeschlagene Methodik zur Bilanzierung des Energieflusses in der Weizenproduktion versucht, den in der Einleitung erörterten betrieblichen und regionalen Planungsanliegen gerecht zu werden und ein Beispiel dafür zu geben, wie agrar-energetische Analysen versachlicht und vereinfacht werden können.

Die für diese neue Richtung angewandter geökologischer Forschung einzuschlagende Arbeitsweise verbindet die klassischen Arbeitsverfahren der naturwissenschaftlichen Physischen Geographie und der Agrartechnik mit jenen der Systemtechnik, einem Ansatz, der seit den 50er Jahren komplexe Systeme in technischen und nicht technischen Bereichen methodenorientiert, konzipiert, entwickelt, realisiert und steuert (Riehle et al., 1978 und Schmitz, 1978). Dieser methodische Ansatz - obschon selten in der praktischen Geoökologie verwendet - eignet sich besonders in dieser Wissenschaft, deren Forschungsaufgabe doch nichts anderes ist als die Analyse natürlicher und künstlicher einfacher und komplexer Funktions-Systeme.

3.1 Die Faktoren der Produktionsenergie-Bilanzen und die Energie-Bilanzen

Die am Projekt teilnehmenden Farmen werden in Einzelfelder untergliedert (hierzu weitere Einzelheiten unter Kapitel 3.3 Datenerhebung). Pro Feld werden pro Anbaujahr und Arbeitsgang Treibstoffe, Arbeit, in Maschinen gebunden (oder fixierte) Energie, Saatgut, Düngemittel, Herbizide und Pestizide sowie Transportenergie als Kulturenergie-Input - soweit zutreffend - ermittelt und auf eine bearbeitete Flächeneinheit umgelegt. Die Addition der Summen aller Einzelfaktoren ergibt den Produktionsenergie-Gesamtinput pro Flächeneinheit. Als Input werden all jene Feldarbeiten verbucht, die direkt mit der mechanischen und chemischen Unkrautkontrolle, mit der Erosionskontrolle, dem Düngen und dem Saatvorgang verbunden sind. Alle anderen Feldarbeiten bleiben unberücksichtigt, da sie zum einen keinen direkten Produktionsinput darstellen; zum anderen werden sich alle planerischen Bemühungen - so z.B. die der Optimierung der Energie-Quotienten - ausschließlich auf diese hier erfaßten direkten Inputs konzentrieren. Folglich können neben der während des Erntevorgangs verbrauchten Energie auch die in betriebswirtschaftlichen Abhandlungen wie z.B. (Heichel, 1976; Marchetti, 1980; Pimentel und Pimentel, 1979 und Pimentel et al., 1975) mit erfaßten Energie-Investitionen in Kornspeichern Gebäuden, Zäunen, Farmwegenetz und selbst in Wohnhäusern im Rahmen oben gegebener Problemstellung und angesichts der anzustrebenden Überschaubarkeit der Energiefluß-Analysen nicht in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Im Sinne

der Problemstellung müssen auch die Faktoren "Einstrahlungs-Energie" und "photosynthetische Kapazität bzw. die Fähigkeit der Kulturpflanzen, Lichtenergie in chemische Energie umzusetzen", als unbeeinflussbare Konstante betrachtet werden. Diese haben keinerlei Einfluß auf die Gestaltung des Kulturenergie-Inputs; sie stellen darüber hinaus selbst auch keine Kulturenergie-Faktoren dar. Die energetische Betriebs- und Regionalanalyse richtet ihr Augenmerk streng auf die Relation des Kulturenergie-Inputs zu dessen Umsetzbarkeit; dabei sind die raumzeitlichen Geofaktoren "Boden (und Bodeneigenschaften)" und "Wasser" zum Zwecke der Multiplikation des Kulturenergie-Inputs optimal zu nutzen.

Die einzelnen Energie-Inputs und der Energie-Output werden einheitlich im kcal, in Joule, BTU oder anderen Energie-Einheiten pro Flächeneinheit gegeben.

Treibstoff: Der Treibstoffverbrauch kann zum einen präzise mit Hilfe von direkt am Schlepper angebrachter Verbrauchermeßgeräte ermittelt werden. Diese Optimallösung läßt sich finanziell im Rahmen von Regionalanalysen nicht verwirklichen, da i.d.R. mehrere 10er bis 100er von Schleppern über mehrere Jahre hinweg zu beobachten sind. Darüber hinaus würde diese Lösung einen von den Arbeitern über die anfallenden Beobachtungsphasen hinweg nicht zu leistenden Buchführungs- und Wartungsaufwand erfordern. Völlig brauchbare Alternativen bieten sich zum anderen an, wenn die vom Hersteller gegebenen Daten zum Verbrauch pro Einsatzstunde verwendet werden. Darüber hinaus haben Traktor-Testlaboratorien verschiedener nationaler Agraringenieur-Fakultäten seit vielen Jahren die Verbrauchsdaten der verschiedenen Schlepper kontinuierlich publiziert. Die umfassendste Dokumentation zu international im Handel befindlichem Gerät stammt aus dem Nebraska Tractor Test Laboratory der University of Nebraska. Die jährlichen Testergebnisse sind fast allen Jahrgängen der Agricultural Engineering Yearbook der ASAE gegeben.

Die Energie-Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen Treibstoffe sind der Tabelle 1 zu entnehmen; diese Brennwerte sind nach (Downs und Hansen, 1979) dem neusten technologischen Stand angepaßt.

Arbeit: Die Zeit, welche zum Zwecke der Verrichtung von Feldarbeit auf dem Feld zugebracht wird, wird als "Arbeitsenergie" erfaßt. Der Umrechnungsfaktor von 465 kcal/h (s. Tabelle 1) deckt im wesentlichen die Nahrungsenergie, die ein Erwachsener pro Arbeitsstunde während einer 7-Tage-40-Stunden-Woche metabolisch verbraucht. Dieser Faktor geht über die von (Simons, 1977) für vergleichbare Arbeiten gegebene Werte hinaus - Holzsägen 420 kcal/h, Bergwerksarbeit 320 kcal/h - um den bei der Nahrungsmittel-Weiterverarbeitung zu beobachtenden wachsenden Energie-Zusatzinvestitionen Rechnung zu tragen.

Nicht berücksichtigt werden die vielfach diskutierten und häufig eingeschlossenen zusätzlich auf den Arbeiter zukommenden Energie-Bedürfnisse seiner Familienangehörigen, die Anteile seiner Altersversorgung u.a.m. (siehe z.B. IFIAS, 1974). Nur so bleibt dieser Faktor "Arbeitsenergie" überschaubar und international vergleichbar.

Fixierte Energie: Fixierte oder in Maschinen gebundene Energie wird zur Herstellung von Schleppern und Ackergerät verbraucht; sie ist nach Abschluß der Herstel-

lung des Gerätes in selbigem "fixiert". Sie wird nach folgender Konzeption berechnet: Summiert werden all jene industriellen Energie-Inputs, die von Maschinen und Arbeitern während der Fertigung von Landmaschinen aus Rohmaterialien verbraucht werden. Energie, die z.B. im Bergwerk zur Erzgewinnung und im Stahlwerk zur Stahlproduktion verbraucht worden ist, bleibt unberücksichtigt. Nur die im Zuge der Weiterverarbeitung in dieses Rohmaterial investierte Energie wird verbucht und einem Ausgangswert Null zugeschlagen. Dieses "Mehrwert-Konzept" geht zum einen davon aus, daß die bereits zum Zeitpunkt der Anlieferung im Rohmaterial enthaltene Energie auch am Ende der Einsatzzeit des Gerätes im dann noch gegebenen Altmaterial vorhanden ist, und daß zum anderen bei Projekten, die an zukünftigen Versorgungsproblemen arbeiten, alle Möglichkeiten der Energie- und Rohstoff-Rückgewinnung genutzt werden. Das vorliegende Modell praktiziert rechnerisch also ein Recycling der im Rohmaterial fixierten Energie. Dieses "Mehrwert-Konzept" ist an (Doering III, 1978) angelehnt. Die Mehrwert-Konzeption steht in starkem Kontrast zu allen in früheren Arbeiten verwendeten Verfahren zur Berechnung der fixierten Energie. Jene gehen fast ausnahmslos auf den Wert 22 026 kcal/kg Material von Berry und Fels (1973) zurück. Die gerade seit 1973 (erste Energiekrise) gemachten Fortschritte in der Energieverbrauchs-Minimierung (Doering III et al., 1977) sind aber so durchschlagend bilanzeffektiv geworden, daß von diesen als zu veraltet einzustufenden Faktoren abzurücken ist.

Die hier verwendeten Umrechnungsfaktoren von 3 141 kcal/kg (1 426 kcal/lb) für Traktoren und 1 872,25 kcal/kg (850 kcal/lb) für Bodenbearbeitungs- und Saatgerät berücksichtigen alle modernen Möglichkeiten der industriellen Energieeinsparungen; sie wurden in Zusammenarbeit mit den wichtigsten amerikanischen Landmaschinenherstellern aus den von Doering III (1978) gegebenen Werten entwickelt. Gegenüber früheren Arbeiten werden so die Gesamt-Inputs spürbar reduziert und die Energie-Wirkungsgrade drastisch verbessert.

Die fixierte Energie wird sodann umgelegt auf eine bearbeitete Flächeneinheit (ha, acre etc.). Die hierzu verwendeten Abschreibungsmodelle weichen in der Literatur erheblich voneinander ab, und zwar in Bezug auf die Abschreibungsperiode und auf die jährlichen Abschreibungsanteile. Für Forschungszwecke sind lineare Modelle geeignet. Die einheitlich anzusetzende Abschreibungsperiode ergibt sich aus den Daten zur tatsächlichen Einsatzzeit motorisierter und nicht-motorisierter Geräte der am Projekt teilnehmenden Betriebe. Tabelle 1 gibt hierzu einige Eckwerte. Die hier vorgeschlagenen Eckwerte weichen fast ohne Ausnahme von jenen ab, die von den Steuerbehörden verwendet werden. Die Daten über die echten Einsatzjahre entsprechen aber der Zielsetzung von energetischen Regionalanalysen eher als jene, die im Steuerrecht verankert sind. Das gleiche trifft für die Instandhaltungs- und Wartungsenergie pro Einsatzjahr zu.

Der abzuschreibende Betrag der fixierten Energie pro Einsatzjahr und pro bearbeiteter Flächeneinheit errechnet sich aus der ursprünglichen Mehrwertenergie der einzelnen Geräte, die durch die zutreffende Anzahl tatsächlich zu erwartender Einsatzjahre und durch die Gesamtzahl der bearbeiteten Flächeneinheiten dividiert wird. Die Instandhaltungs- und Wartungsenergie wird nach dem gleichen Modus berechnet; sie kann gelistet oder in den Betrag der fixierten Energie aufgenommen werden.

Saatenergie: Sie stellt die metabolisch verwertbare Energie einer Gewichtseinheit des betreffenden Produktes dar. Diese Nahrungsenergie ist für Weizen und andere wichtige Halmfrüchte in Tabelle 1 gegeben.

Energie der Chemikalien: Für Düngemittel wird die zur Herstellung der Elemente N, P, K, S und Z, für Pflanzenschutzmittel die zur Produktion der Wirkstoffe verbrauchte Energie veranschlagt (s. Tabelle 1). Hier fanden - wie im Falle der Energie im Saatgut - während des letzten Jahrzehnt keine drastischen Veränderungen statt.

Transportenergie: Jene Energie, die zur Beförderung von Ackergerät zum Zwecke der Verrichtung eines Arbeitsganges zwischen Gerätelagerplatz (Farmhaus) und Feld verbraucht; sie berechnet sich zweckmäßigerweise nach einer einheitlichen Modellvorstellung. Als Beispiel: Farmspezifische mittlere Distanz zwischen Farmhaus und Feldern wird bei 25 km/h und 25 % Ladungsfaktor zweimal pro Arbeitsgang zurückgelegt. Nur Treibstoff wird verbucht. Treibstoffverbrauch wird z.B. an Hand der Nebraska Tractor Test Daten für 100 %, 75 % und 50 % Ladungsfaktor durch Extrapolierung für 25 % Ladung mittels optimaler Kurvenanpassung ermittelt.

Ertragsenergie: Der Ertrag als produzierte Nahrungsenergie ist der Output. Hier wird - wie im Falle des Saatgutes - die metabolisch verwertbare Energie pro Gewichtseinheit ermittelt.

Der Output / Input - Quotient ist damit ein Maß für die Energiewirksamkeit der verschiedenen Anbausysteme.

Die Agrarenergiefluß-Berechnung wird bei der Fülle der erforderlichen Observationen zweckmäßigerweise mit Hilfe von Großrechenanlagen erfolgen. Diese Berechnung kann dem in Abbildung 1 gegebenen Algorithmus für unbewässerten Anbau folgen. Ein hierauf aufgebautes Fortran-Programm, das mit System 2000-Software für eine Cyber 205-Anlage verbunden ist, steht als Agricultural Energy Flow Simulator (AEFS) über den Software Catalogue der ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS (Späth, 1983 a) zur Verfügung.

Aufbau und Inhalt der Produktionsenergie-Haushalte für Einzelfelder im Trockenfeldbau folgen dem Beispiel aus Tabelle 2 für gedüngten Anbau:

In Zeile 1 wird das betreffende Feld durch eine Feld-Nummer, durch Angaben zur Größe, zum Sommerbrachejahr, zur Lage im Koordinationssystem und zur Bodenserie und -art identifiziert. Zeile 2 gibt die Titel der Einzelspalten. Nach der Auflistung der einzelnen Feldarbeiten und deren jeweiligen Überführung in Treibstoffenergie (Fuel), Arbeitsenergie (Labor), Fixierte Energie (Embodied), Transportenergie und falls zutreffend Saatenergie (Seed), Düngerenergie (Fertilizer) oder Pflanzenschutzmittel (Herb/Pest) sowie der abgesetzten Angabe zum Ertrag (Yield, hier in bu/acre) werden die Summen der einzelnen Input-Gruppen gebildet und in Klammer mit Prozentanteilen am Gesamt-Input versehen.

Die Daten der zum Zeitpunkt der Saat rechnerisch noch an der Feldoberfläche gegebenen Anteile an der ursprünglichen Strohrate (% Remaining Residue oder auch

kurz % RR genannt) sind Ausdruck der Art, Häufigkeit und Intensität der Bodenbearbeitung (auch Tillage genannt) und dienen zur Gruppierung der Tillage-Systeme. Diese Pflanzenrestraten werden nach den in Tabelle 3 gegebenen Reduktionsfaktoren pro Bearbeitungsgang pro Ackergerät in einer Subroutine des Agricultural Energy Flow Simulator berechnet.

Der Energie-Quotient Output / Input wird dann an Hand des rechts unten abgedruckten Gesamtenergie-Inputs und des Ernteenergie-Outputs gebildet. Der Quotient ist auf Grund der Zusammensetzung des Gesamtinputs ein recht komplexes Gebilde; er stellt ein Maß für die Energiewirksamkeit des betreffenden Anbausystems dar und sagt aus, daß für jede kulturtechnisch investierte Energieeinheit die errechnete Anzahl an Nahrungsenergieeinheiten erwirtschaftet wird.

Ungedüngter Weizenanbau erbringt i.d.R. ca. 10 % geringere Erträge als gedüngter Anbau; dafür aber sind die Wirkungsgrade um ca. 100 % höher.

Energie-Haushalte sind zeitlose Planungsinstrumente, bleibt doch der in einer Maßeinheit Treibstoff enthaltene Brennwert oder die in einer Gewichtseinheit Korn enthaltene Nahrungsenergie (zumindest über lange Zeiträume hinweg) stets die gleiche. Die Summen der Einzelinput-Gruppen können an Hand der in Tabelle 1 gegebenen Umrechnungsfaktoren in die sonst üblichen Einheiten wie Liter, Stunde, Gewichtseinheiten etc. überführt werden. Danach können diese Energie-Haushalte mit den an gegebenen Orten und zu gegebenen Zeiten gültigen DM- oder \$-Beträgen (oder beliebigen anderen Währungseinheiten) in zeitlich und regional begrenzt gültige Finanzhaushalte umgeschrieben werden. Für einen örtlich gegebenen Produktionsenergie-Haushalt errechnen sich also von Jahr zu Jahr ändernde Finanzhaushalte.

3.2 Die Datenbasis

Daten, die sowohl den Agrarenergiefluß als auch das zeitgleiche geökologische Rahmengeschehen erfassen, sind nicht vorhanden. Sie werden für jede einzelne punktuelle oder regionale Studie und für jedes Produkt gesondert von Grund auf neu erhoben werden müssen. Ohne diese neu zu schaffende doppelte Datenbank wäre aber diese neue Planungsperspektive nicht zu öffnen.

3.2.1 Kriterien zur Auswahl der Observationen und Theoriebildung

Agrarproduktions-Energiebilanzen sind nur im Rahmen der sie bedingenden geökologischen Wirkfaktoren zu interpretieren und für Planungszwecke zu nutzen (Späth, 1983 b und 1983 c). Es ist deshalb für das Studium dieser Bilanzen und ihrer Verflechtung mit den natürlichen Rahmenbedingungen erforderlich, die individuellen Agrarobservationen mit ihren zeitgleichen standörtlichen Daten zu verbinden. Damit sind also zwei parallele Erhebungen durchzuführen, nämlich jene zum Energiefluß und jene zum Verhalten der externen naturgeographischen Energiefluß-Regimefaktoren. Diese Erhebungen komplementieren die theoretischen Funktionsabläufe zwischen den Faktoren "Variable geökologische Rahmenbedingungen / Energie-Konsum / Energie-Produktion / Landnutzungsstruktur". Abbildung 2 modelliert diese

funktionalen Beziehungen.

Von Fall zu Fall sind die abhängigen und unabhängigen Energiefluß-Regimefaktoren in Anlehnung an die vorgegebene Problemstellung gesondert zu bestimmen. Die folgenden Beispiele treffen hauptsächlich auf den Trockenfeldbau zu.

3.2.1.1 Agrarobservationen

Nach folgenden Kriterien werden die Agrarobservationen ausgewählt:

- gleichmäßige räumliche Verteilung,
- Erfassung aller repräsentativen Farmgrößen,
- aller Bodenbearbeitungs-Systeme,
- aller Altersgruppen der Farmer,
- aller repräsentativen Produkte und Produktsorten auf
- Betrieben mit und ohne Düngereinsatz.

Erläuterungen zu

Farmgröße: Im Normalfalle bestimmt die Größe des Betriebes das Volumen des Maschinenparks. Durch die Erfassung aller Betriebsgrößen kann zunächst einmal diese These überprüft und mögliche Beziehungen quantifiziert werden. Zum anderen kann im Rahmen der statistischen Analyse für jede Betriebsgrößen-Gruppe der Einfluß der jährlichen Summe der fixierten Energie auf die potentiellen Veränderungen des Energie-Wirkungsgrades studiert werden. Darüber hinaus kann das für bestimmte Betriebsgrößen gegebene optimale Inventar (fixierte Energie) ermittelt werden. Für den amerikanischen Trockenfeldbau würden die Betriebsgrößen zwischen 32 ha (80 acres) und 4000 ha (10 000 acres) liegen.

Bodenbearbeitungs-Systeme: Diese Systeme sind gekennzeichnet durch die Anzahl und Intensität der mechanischen Bodenbearbeitungen, durch die Art der verwendeten Maschinen und Chemikalien. Die aus der Bodenbearbeitung resultierende Qualität der standörtlichen Energiefluß-Regimefaktoren "verbleibende Pflanzenreste" und "pflanzenverfügbare Bodenfeuchte" geben die wichtigsten Anhaltspunkte zur quantitativen Definition und Gruppierung dieser Systeme. Im Falle des Trockenfeldbaus wird die Reihe der Bodenbearbeitungs-Systeme von der traditionellen (aus den humiden Zonen übernommenen) Schwarzbrache angeführt, gefolgt von Abstufungen des Stoppelmulches. Am anderen Ende der Skala stehen die Kombinationen aus mechanischer plus chemischer Unkrautkontrolle. Die Null-Tillage mit ausschließlicher chemischer Unkrautkontrolle bildet den Abschluß.

Eine objektive numerische Beschreibung der verschiedenen Bodenbearbeitungs-Systeme wird erforderlich, um Analysen der Beziehungen zwischen diesen Systemen und den energetischen und ökologischen Folgeparametern durchzuführen. Die brauchbarste Methode der Klassifizierung der Tillage-Systeme im Hinblick auf deren Verwendbarkeit besteht in der Quantifizierung der an der Feldoberfläche zur Saatzeit noch vorhandenen Pflanzenrestraten. Hierzu s. Tabelle 3. Diese Pflanzenrestrate % RR wird um so kleiner, je häufiger und intensiver Feldarbeiten durch-

geführt werden. Witterungseinflüsse und natürlicher Verfall bleiben bei dieser Berechnung unberücksichtigt.

Altersgruppen der Farmer: Unter der Annahme, daß sich die Methoden der Betriebsführung (einschließlich der Methoden der Feldbearbeitung) mit zunehmendem Lebensalter auf Grund wachsender Eigenerfahrung ändern, sorgt die ausgewogene Verteilung aller Altergruppen für einen vereinheitlichten Einfluß dieses sonst nicht faßbaren Faktors.

Produkte und Produktsorten: Verschiedene Sorten eines Anbauproduktes zeigen bei gleichen Saatraten und gleichen äußeren Bedingungen unterschiedliche Produktionsleistungen. Die an die regional vorherrschende geökologischen Rahmenbedingungen angepaßten Sorten können durch eine ausgewogene Verteilung in der Observierung ermittelt und vergleichende Leistungstests pro Standortcharakteristika durchgeführt werden.

Düngereinsatz: Die zur Produktion der Elemente N, P, K, S und Z erforderlichen Energieinvestitionen sind so hoch, daß die Düngergaben ohne weiteres den unter ungedüngten Bedingungen zu verzeichnenden Energie-Input um 100 % steigern können, ohne dabei jedoch auch die Ertragsleistungen vergleichbar zu erhöhen. Stark variable Reduzierungen der Energie-Quotienten sind die Folge. Die Düngerauswirkungen auf die Produktionsleistungen sind aber pro Standort von der bodenartsspezifischen pflanzenverfügbaren Feuchte, vom Ton- und Humusgehalt und der Ionenaustauschkapazität abhängig. Es gilt, die potentiellen Unterschiede der natürlichen Bodenfruchtbarkeitsmerkmale, die Spielarten der kulturtechnischen Abänderungen derselben sowie ihre Energiefluß-Wirksamkeit auf breiter Basis zu erfassen.

3.2.1.2 Geoökologische Observationen

Die zu übernehmenden Agrarobservationen müssen im wesentlichen gleichmäßig verteilt sein auf

- alle durch die zu studierenden Agrarzweige genutzten Bodenarten,
- alle im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Niederschlagsregime,
- alle repräsentativen topographischen Lagen.

Grundsätzlich gilt es, all jene naturgeographischen Faktoren zu erfassen, die alleine einen wichtigen direkten Eigenbeitrag zur Gestaltung des Energieflusses leisten - dies sind also exogene Energiefluß-Regimefaktoren - und die im Verbund den Rahmen der produktionswirksamen geökologischen Variabilität abstecken.

Da es sich bei agro-energetischen Betriebs- und Regionalanalysen um äußerst umfangreiche Datenerhebungen und Datenspeicherungen handelt und deren Erhebung und statistische Analyse sehr kostenaufwendig sind, werden die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel die über ein unabdingbares Mindestmaß hinausgehende Anzahl der parallel zu erhebenden ökologischen Datengruppen entscheidend mitbestimmen.

Für das Beispiel des Trockenfeldbaus ist der Begriff "geoökologische Variabilität" hauptsächlich mit der raum-zeitlichen Abwandlung jener Bodeneigenschaften, die das Umsetzen des Niederschlages in pflanzenverfügbare Bodenfeuchte regulieren. Diese geoökologische Variabilität ist gekoppelt mit der lokalen, räumlichen und zeitlichen Abwandlung der Tillage-Systeme (=kulturtechnische Variabilität), welche die im Rahmen der erwähnten Bodeneigenschaften gegebenen Bodenfeuchtespeichervermögen differenziert ausschöpfen.

Für den Maisbau unter humiden Klimabedingungen - um ein anderes Beispiel zu geben - beschränkt sich der Einfluß der geoökologischen Variabilität hauptsächlich auf die regionale Verteilung jener Bodeneigenschaften, die die Nährstoffverfügbarkeit dominant regulieren, auf die Unterschiede der Wassererosionsgefährdung (nach Wischmeier und Smith, 1965), auf die natürliche Ertragsfähigkeit, auf gegebene Bodendegradierungen und klimatische Eigenschaften, die den Reifungsprozeß steuern.

Für Glashauskulturen sind die aus der künstlich geschaffenen Aridität des Gewächshausklimas resultierenden Salzanreicherungen im Boden zu messen und zu gruppieren und die Energiewirksamkeit der Meliorationsbedürfnisse und der Bodenfruchtbarkeitsmanipulierung zu erfassen.

Am Beispiel des Bewässerungsfeldbaus in ariden Gebieten wird die geoökologische Variabilität im wesentlichen durch die regionalen und saisonalen Unterschiede der Bodenversalzung und der Ionenaustauschkapazität, durch die bodenartspezifischen Bodenwasserhaushaltseckwerte, durch die Werte der Permeabilität und der Wasserleitfähigkeit gekennzeichnet.

Erläuterungen zu:

Boden: Grundsätzlich ist hier vorab nach Gebieten zu differenzieren, in denen "Wasser" den dominanten ertragslimitierenden Faktor darstellt und nach solchen Gebieten, in welchen mangelnde Nährstoffverfügbarkeit alle anderen Ungunstfaktoren überwiegt. Hierauf aufbauend wird dann der Katalog jener Faktoren erstellt, die aus dem Sektor "Boden" als Kenngrößen der geoökologischen Variabilität verwendet werden sollen.

Für die hier als Hauptbeispiel gewählten semi-ariden Kornkammern mit Bodenfeuchte als dem entscheidenden Mangelfaktor sind diese Kenngrößen primär die bodenartspezifischen Eckwerte des Bodenwasserhaushaltes. Hieraus resultiert die vom Niederschlagsregime und vom Tillage-System abhängige optimale pflanzenverfügbare Feuchte. Sekundär können z.B. folgende Parameter erhoben werden: Die unterschiedlichen Grade der Winderosionsanfälligkeit (nach Skidmore und Woodruff, 1968) (sie bestimmen die Spanne des lokalen Produktionspotentials auf der Basis jener Produktsorten, die einerseits an die lokalen Erosionsbedingungen gestaffelt angepaßt sind, die andererseits aber auch reduzierte Höchstleistungen vorweisen), das Ausmaß des bereits erfolgten Bodenabtrags durch Winderosion und natürliche Bodenfruchtbarkeitsniveaus (beide helfen im Rahmen der statistischen Analyse jene regional differenzierten Ertragsunterschiede zu erklären, die nicht feuchtedargebotsbedingt sind).

Von größter Wichtigkeit aber ist die fortlaufende Aufzeichnung des aktuellen Bodenfeuchtegangs. Proben zum Termin der ersten Frühjahrstillage, der Saat und der Ernte aus 3 bis 4 Horizonten des gesamten Wurzelraumes liefern (am kostengünstigsten an Hand der gravimetrischen Methode) jene Daten, die es ermöglichen, mathematische Modelle zum Bodenfeuchteentzug unter unterschiedlichen Tillage-Systemen, Niederschlagsregimen und Bodenarten zu erstellen. Ohne diese Bodenfeuchteentzugsmodelle sind im Rahmen der Planspiele und des Ressourcenmanagements keine Trendberechnungen und Prognosen zur standörtlichen und regionalen Ertrags- und Energieumsatzentwicklung möglich. Ein Hinweis zur Methode der hier vorgeschlagenen Bodenfeuchtemessung: Alle anderen Methoden scheiden angesichts der jährlich wiederkehrenden Meß-Serien von mehreren Tausend Proben aus. Entscheidend ist aber, daß in allen Teilphasen des Probenziehens, des Verpackens und der Laboranalyse über die gesamte Projektdauer hinweg einheitliches praktiziert wird. Dann bleiben die Ergebnisse untereinander vergleichbar.

Niederschlag: Wenngleich es für wissenschaftliche Zwecke Brauch geworden ist, zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration eine möglichst vollständige Palette klimatischer Einflußgrößen zu verwenden (z.B. nach Penman, 1948), so scheidet diese Vorgehensweise in der Praxis bereits daran, daß auf einem zu fordernden dichten Stationsnetz zur Erfassung der Niederschlagswerte diese zusätzlichen Klimawerte aus Personal-, Erfahrungs- und Geldmangel nicht erhoben werden können. Praktisch brauchbare, aber auch finanzierbare Minimal-Lösungen zwingen sich von selbst auf, wenn - wie im vorliegenden Falle - die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration ein Teilziel des Projektes darstellt, wenn die Datenerhebung auf die längerfristige Mitwirkung von Fachfremden aufbaut, und wenn die Dichte des Observationsnetzes die Dichte des Netzes der offiziellen Klimastationen um einen Faktor von mehreren Hundert oder gar Tausend übersteigt. Im Rahmen der vorgegebenen Problemstellung sollte jede einzelne Feldobservation, zumindest aber der dazu gehörende Betrieb fortlaufende Niederschlags- und Temperaturdaten auf Tagesbasis liefern. Mit ihrer Hilfe kann dann z.B. in Anlehnung an Blaney und Criddle (1950), an Thronthwaite und Mather (1955), an Pfau (1966) oder an Späth (1976) der Gang der Bodenfeuchteentwicklung berechnet werden. Diese berechneten Werte werden dann mit den tatsächlichen gemessenen Werten korreliert und das gewählte oder angemessenste mathematische Feuchteentzugsmodell so abgewandelt, daß zwischen berechneten und gemessenen Feuchtwerten ein Höchstmaß an Übereinstimmung erzielt wird. Auf dieser Basis kann dann gezeigt werden, wie effektiv die unterschiedlichen Tillage-Systeme auf verschiedenen Bodenarten und unter verschiedenen Niederschlags-Regimen Niederschlag in pflanzenverfügbare Bodenfeuchte umzusetzen vermögen. Der Begriff "Brachewirksamkeit" kann mit Hilfe dieser Information sodann pro Tillage-System und geoökologischer Rahmencharakteristik präziser definiert werden (s. Späth, 1983 c). Für diesen Vorgang gibt es in der Literatur noch keine brauchbaren Vorbilder.

Im Zuge der statistischen Analyse wird sich dann zeigen, daß die Ertragsentwicklung und die Energie-Wirkungsgrade höher mit den pflanzenverfügbaren Feuchtedarboten und mit dem Unterschiedsbetrag zwischen täglichem aktuellem pflanzenverfügbarem Feuchtebetrag und täglichem pflanzlichem Wasserbedarf korreliert sind als mit den Niederschlagsdargeboten selbst, daß das Niederschlagsdargebot ande-

rerseits - da es das Unkrautwachstum steuert - dominant das Ausmaß der zur Saatzeit verbleibenden Pflanzenrestrate (% RR) und damit auch die Größe des Gesamt-Energie-Inputs (über die Unkrautkontrollmaßnahmen) bestimmt.

Topographische Lage: Die Auswahl der topographischen Lagen wird alle zu repräsentierenden Standortgruppen im Untersuchungsgebiet abdecken. Standortvorschläge sind nicht zu geben. Die einzige Leitmaxime verlangt, die ganze im Untersuchungsgebiet gegebene Spannbreite der Variabilität der naturgeographischen Energiefluß-Regimefaktoren zu erfassen. Einige Beispiele erinnern an die tradierten Verfahren der physisch-geographischen Raumgliederung.

Beispiel 1) Semi-aride Beckenlandschaften. Alle um das Beckenzentrum konzentrisch angeordneten Gürtel (Höhenstufen) sind zu erfassen, z.B. in Form zweier, alle agrar-relevante extreme Expositionen erfassende Nord-Süd- und Ost-West-Querschnitte durch die Beckenlandschaft (sofern sie Agrargebiete erfassen). Diese Vorgehensweise ist entsprechend auf die vertikale Zonalität entlang von Gebirgs-Vorland-Profilen abgewandelt anzuwenden. Die Standortreihe ist vollständig zu erfassen.

Beispiel 2) Kleingekammerte Räume, wie sie z.B. für Mitteleuropa typisch sind, mit gemischter Agrarnutzung. Hier wird sich die Erhebung pro Kleinkammer auf die repräsentativen Standortgruppen - zumeist nach dem Catena-Prinzip - erstrecken.

Beispiel 3) Mehr oder weniger homogene Großlandschaften, wie z.B. die Great Plains oder die Prärien Nordamerikas. Hier rückt der Aspekt der Untergliederung und der Minimierung der tatsächlich observierten Fläche stärker in den Vordergrund. Hier sind mittels Zerlegung in Schachbrettmuster entlang des Gitternetzes oder anderer Leitlinien und mittels Auslassungen die Gradienten der geoökologischen Rahmenparameter voll zu erfassen; die agro-energetischen Folgen werden durch Interpolierung auf die Gesamtfläche der Großlandschaft übertragen.

3.2.2 Anzahl der Observationen, Größe des Untersuchungsgebietes und Beobachtungszeitraum

Anzahl der Observationen: In der Regel wird der zur Verfügung stehende Finanzhaushalt den zahlenmäßigen Umfang der Observationen mitbestimmen. Regionale Ausdehnung des Untersuchungsgebietes sowie der Kriterienraster für die Observationsauswahl lassen jedoch schnell Schätzwerte ableiten. Es hat sich erwiesen, daß z.B. im Falle des Trockenfeldbaus erst mit etwa 1000 Observationen pro 100 mm Jahresniederschlagsabwandlung entlang eines Profils die Breite der geoökologischen und kulturtechnischen Variationsmöglichkeiten pro Standort voll zu erfassen ist. Zwar kann die Anzahl der Observationen nur in Anlehnung an den gegebenen Auswahlkriterien-Katalog sowie die gegebene Problemstellung bestimmt werden, doch ist auch sicher, daß solche Untersuchungen den Rahmen bisheriger, ähnlicher Erhebungen sprengen werden.

Die Wahl der Größe des Untersuchungsgebietes muß ungeachtet der Finanzmittel so ausfallen, daß die räumliche Variation der naturgeographischen und der kultur-

technischen Energiefluß-Regimefaktoren überzeugend darzustellen ist. Hierzu s. auch Hinweise unter 3.2.1.2.

Dem beispielsweise in der Trockenlandwirtschaft für Testparzellen gegebenen Bedarf an 30jährigen Datenreihen wird entsprochen, indem z.B. für ein bestimmtes Tillage-System auf einer bestimmten Bodenart über die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes hinweg während eines Kalenderjahres eine Vielzahl unterschiedlicher Klimaeinflüsse erfaßt wird und so über drei bis vier Beobachtungsjahre hinweg eine weit breitere Datenbasis pro Standorteigenschaft (Boden, Tillage-System) vorhanden ist, als dies für einen isolierten Standort über 30 Jahre hinweg möglich wäre. Der Forderung nach langen Datenreihen pro Standorteigenschaft zur Erfassung der zeitlichen Variation einzelner Wirkfaktoren wird also durch eine zweckgebundene Festsetzung der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes voll und ganz entsprochen.

3.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt in zwei Schritten:

- 1) Einmalig sind Daten zu erheben
zum Betriebsinventar - das sind der Maschinenpark und die an der Erhebung teilnehmenden Felder sowie deren Lage im Koordinatensystem und deren Größe -

zu jenen Bodeneigenschaften, die im Rahmen der zuvor festgelegten Auswahlkriterien als Indikatoren für die geökologische Variabilität bestimmt worden sind - im Falle des Trockenfeldbaus also hauptsächlich die Bodenwasserhaushaltseckwerte der Böden aller zu observierender Felder - sowie

zur Wetterbeobachtung.
- 2) Fortlaufende Datenerhebung
zum Kulturenergiefluß und

zum geökologischen Geschehen.

3.3.1 Farminventur

Alle im Rahmen der unter Kapitel 3.1 genannten Aktivitäten verwendeten Maschinen und Traktoren werden pro Betrieb erfaßt. Dabei werden für jedes Gerät Angaben gemacht zu

- Art des motorisierten oder nicht-motorisierten Gerätes,
- Hersteller,
- Herstellungsjahr,
- erwartete Einsatzzeit in Jahren,
- Maschinenbreite,
- Gewicht,
- Treibstoffverbrauch.

Anhand der Angaben zur erwarteten Einsatzzeit wird das in Kapitel 3.1 besprochene Abschreibungsmodell entwickelt.

Bei fehlenden Angaben zum Gewicht läßt sich die Breite der Ackergeräte mit Hilfe von gerätespezifischen Breite / Gewicht-Gleichungen in Gewichte umrechnen. Dieses Gewicht wird dann in fixierte Energie umgeschrieben und nach dem auf der Grundlage aller Observationen ermittelten Abschreibungsmodus in die Energiebilanz aufgenommen.

Mit Hilfe der Angaben zum Hersteller und zur Breite (in der Farminventur) können weiterhin die im monatlichen Feldaktivitäts-Bereich zu machenden Angaben zur verwendeten Maschinenart und deren Breite leicht überprüft werden. Diese Verifizierungsmöglichkeit gewinnt besonders dann an Bedeutung, wenn mehrere Exemplare eines bestimmten Gerätetyps im Einsatz sind.

Die Angaben der Hersteller und/oder die Daten der Traktor Test Laboratorien zum Kraftstoffverbrauch werden für jeden Betrieb und jeden Schlepper in die betriebliche Datenbank gespeist.

Alle an der Erhebung beteiligten Felder eines Betriebes werden inventarisiert und durch folgende Merkmale indentifiziert:

- Feld-Nummer - sie setzt sich zusammen aus einer für jeden Betrieb konstanten Betriebsziffer und einer fortlaufenden Feldziffer (z.b. 7.13),
- Lage im Koordinatensystem,
- Jahr der Beobachtung,
- Nutzungsart (Sommerbrache oder Weizenanbau) im gegebenen Jahr,
- durchschnittliche Fläche,
- durchschnittliche Anbaufrucht oder Rotationssystem,
- Bodenart.
- Weitere oder andere Identifikations- und Qualifikationsmerkmale werden hier aufgeführt, wenn solche in Anlehnung an den Auswahlkriterienkatalog zu ermitteln sind.

Mit Hilfe der Feld-Nummer wird das Feld innerbetrieblich gekennzeichnet, die Angaben zur Lage im Koordinatensystem beschreiben die Lage der Einzelfelder in Relation zu den anderen Projektfeldern und zur Lage der Projekt-Klimastationen. Durch sie können also die Daten der Farm- und Feld-Agrardaten mit den Daten der Klimaobservationen in Rechenanlagen verbunden werden.

Die Flächenangaben sind für jedes Feld - je nach Nutzungsart - mehr oder weniger von Jahr zu Jahr verschieden; sie sind zu spezifizieren, weil alle Energiefluß-Beobachtungen auf eine Flächeneinheit zu beziehen sind, und weil die tatsächliche Betriebsfläche (Produktionsfläche) der Einzeljahre in der statistischen Analyse eine Rolle spielt.

Für den Trockenfeldbau wird beispielweise für jedes Feld die dominant vertretene Bodenart ermittelt, Feldkapazitäts- und Permanenter Welkepunkt-Wassergehalte bestimmt und repräsentative Standorte für die fortlaufende Bodenprobenentnahme

(und die Vergleichsproben) auf dem Feld identifiziert. Für andere Bodennutzungsarten sind entsprechend die gewählten Bodenparameter zu bestimmen und die fortlaufenden Messungen vorzubereiten.

Für jeden Betrieb wird schließlich ein Niederschlagsmeßgerät sowie ein Minimum-Maximum-Thermometer installiert und deren tägliche Ablesung vorbereitet.

3.3.2 Fortlaufende Erhebungen zum Energiefluß und zum geoökologischen Geschehen

Auf monatlichen Fragebögen werden die Energiefluß-Bewegungen pro Feld registriert. Tabelle 4 faßt alle für den Trockenfeldbau relevanten Fragen in einem Format zusammen, welches ohne größeren Buchführungsaufwand und ohne Berechnungen seitens der Landwirte zu bearbeiten ist.

Im Erntemonat wird zusätzlich ein Erntebericht mit folgenden Spalten-Titeln vorgelegt:

Feld-Nummer, Erntedatum, geerntete Fläche, Ertrag in dz/ha, Anbauprodukt.

Diese monatlich eingehenden Antworten werden mit den Daten der Betriebscharakteristik (s. Kapitel 3.3.1) kombiniert und führen zur komplexen Synthese des Jahresgangs der Energie-Ausgaben und zum Energie-Ertrag nach dem in Tabelle 2 vorgegebenen Muster. Die hier vorgestellte Kombination von einmaligen Erhebungen und fortlaufend wiederkehrenden Erhebungen ermöglicht Quervergleiche, Überprüfungen und den Ausschluß von Irrtümern in allen energiefluß-wirksamen Bereichen der Datenerfassung.

Auf einem weiteren monatlichen Datenbogen werden die Betriebsklimadaten auf Tagesbasis registriert.

Für den Trockenfeldbau werden an wichtigen Eckterminen während des Anbaujahres die Bodenproben entnommen und im Labor auf den Feuchtegehalt hin untersucht. Die Resultate werden zusammen mit Angaben zum Zeitpunkt der Messungen und zur Lage des Standortes im Koordinatensystem in der Datenbasis gespeichert.

Diese hier vorgestellte Erhebungsmethode hat sich als besonders kostensparend und erfolgreich erwiesen und ist auf andere landwirtschaftliche Landnutzungsarten und Klimagebiete problemlos zu übertragen.

4. Die agro-energetische Regionalanalyse

Im Rahmen einer agro-energetischen Regionalanalyse ist es erforderlich, pro Subregion und Standortgruppe die Energiebilanzen für die unterschiedlichen Bodenbearbeitungs-Systeme zu ermitteln, die Wirkung der Energiefluß-Regimefaktoren auf diese Bilanzen zu quantifizieren und die Wechselbeziehungen zwischen Energie-

Investitionen und -produktion und kulturtechnischer und geoökologischer standörtlicher und regionaler Variabilität mathematisch zu formulieren.

Die lokalen und kleinregionalen Beziehungen sind daraufhin in ihrer großräumlich-zeitlichen Variation darzustellen.

Im wesentlichen spezifiziert diese Analyse die in Abbildung 2 ausgewiesenen funktionalen Zusammenhänge.

4.1 Regionale Darstellung der Einzelfeld-Energiebilanzen in ihrer geoökologischen Verflechtung

Primär werden die Einzelfeld-Energiebilanzen für das gesamte Untersuchungsgebiet sowie die zuzuordnende Variabilität der gewählten geoökologischen Energiefluß-Regimefaktoren kartographisch zusammengefaßt. Diese kartographische Zusammenfassung kann in Anlehnung an vorgegebene Planungsaufgaben untergliedert werden. Für den Trockenfeldbau eignen sich Gruppierungen nach folgenden thematischen Beispielen:

- Tillage-System (Anteil der zur Saatzeit verbliebenen Pflanzenrestrate),
- Famgröße,
- Produktsorte,
- Anbau mit oder ohne Düngereinsatz,
- Bodenart,
- Anbaujahr.

Hierzu s. Späth (1983 c).

Die Karten zu den einzelnen thematischen Gruppierungen werden klein- und großräumige Homogenität, Disparität, Gradienten, Inseln, Extremwerte, Gunst- und Ungunstzonen u.a.m. in ihrer räumlichen Bedeutung darstellen. Planungsaufgaben sind allein schon auf dieser Basis zu bewältigen. Die Resultate der nachfolgend zu erörternden statistischen Analysen ergänzen und präzisieren diese gesamtregionalen, selektiv-synthetischen Kartengruppen.

4.2 Analyse der Wechselbeziehungen zwischen kulturtechnischen und agroökologischen Energiefluß-Regimefaktoren pro Standort und Subregion

Im nächsten Schritt gilt es, pro Standortgruppe und Subregion zutreffende Wechselbeziehungen zwischen jenen kulturtechnischen und agro-ökologischen Energiefluß-Regimefaktoren zu klären, die an der Gestaltung der Feld-Energiehaushalte direkt oder indirekt beteiligt sind, die in der Datenerhebung berücksichtigt worden sind, oder die im Zuge der Feld-Energiehaushaltsberechnungen quantifiziert worden sind.

Im Trockenfeldbau und in vielen anderen Feldnutzungsarten bestehen zwischen den folgenden (rangmäßig ungeordneten) Parametern Wechselbeziehungen:

- aktuelle pflanzenverfügbare Bodenfeuchte (das Ergebnis der Art und Intensität der Bodenbearbeitung und deren Einfluß auf die standörtliche Ökologie),
- Bodenart-Gruppe (numerisch repräsentiert durch die potentielle pflanzenverfügbare Bodenfeuchte bzw. die nutzbare Kapazität),
- Ertrag,
- Energie-Wirkungsgrad,
- Niveau der natürlichen Bodenfruchtbarkeit,
- Produktionsfläche des Feldes,
- Betriebsgesamtfläche,
- Treibstoffverbrauch,
- Arbeitseinsatz,
- fixierte Energie,
- Anbauprodukt (und Arten desselben),
- Saattraten,
- Chemikalieneinsatz (Düngerraten, Pflanzenschutzmittel-Raten),
- Transportenergie.

Einfache Regressionen zwischen miteinander verbundenen Faktoren und multiple und partielle Regressionen für komplexere Wechselbeziehungen zwischen mehreren, sich gegenseitig und unterschiedlich beeinflussenden Faktoren stellen jene Korrelationen brauchbar dar, welche die in Abbildung 2 gegebenen Abläufe regulieren.

Input-Output-Matrixen, wie sie in der Volkswirtschaft und in der Hydrologie zur vereinfachenden Darstellung komplexer Austauschprozesse verwendet werden (s. z.B. Hendricks und Dehaan, 1981 und Leontief, 1965), eignen sich nur sehr bedingt als Anschauungsmittel, da die gesamte Vielfalt des komplexen Faktors "Input" in einen einzigen Output - die Nahrungsenergie - umgesetzt wird.

In der Trockenlandwirtschaft wird der Energie-Umsatz hauptsächlich durch Einfach- und Mehrfachbeziehungen der folgenden Art reguliert:

"Niederschlagsdargebot und -verteilung / Intensität des Unkrautwachstums / Anzahl und Intensität der mechanischen und chemischen Unkrautkontrollaktionen / aktuelles pflanzenverfügbares Bodenfeuchtedargebot / landwirtschaftlicher Ertrag / Energie-Quotient",

oder

"Nutzbare (Feuchte-) Kapazität des Bodens / Düngierzufuhr / Ertrag / Energie-Quotient".

Die Tabellen 5 und 6 geben hierzu einige Beispiele, die unter semi-ariden Bedingungen zwischen 450 und 250 mm Jahresniederschlag - gemittelt über alle vorgefundenen Bodenarten, Weizensorten und Farmgrößen - zutreffen.

Anhand der sich ergebenden einzelnen Beziehungsgleichungen sind die lokalen und regionalen Schwachstellen, Schwellenwerte einzelner Entwicklungstrends, sich lohnende oder nicht mehr lohnende Energie-Zusatzinvestitionen, die Spanne der Optimierungsmöglichkeiten u.a.m. näher zu bestimmen und im Rahmen vorgegebener Planungsziele zu bewerten.

In der Regel sind alle Einfach-Beziehungen fortlaufend mit einander verbunden - zumal es sich in der geoökologischen Agronomie zumeist um manipulierte Kreisläufe handelt. Die komplexen Wechselbeziehungen können dann z.B. durch ein System kontinuierlicher Gleichungen wiedergegeben werden. Hierzu als Beispiel die Herleitung der agro-ökologischen Trockengrenzformel nach Späth (1980). Die resultierende umfassende Systemgleichung ist einfach aufgebaut und zugleich auch einfach zu handhaben.

4.3 Planspiele

Die Datenanalyse zu Projekten dieser Art wird fast nie ohne die Hilfe von großen EDV-Anlagen durchgeführt werden können. Damit ergibt sich technisch die Möglichkeit, über das in Kapitel 4.2 beschriebene Beispiel für einfache mathematische Modellierungen hinaus "Linear Programming Models" zu erstellen; damit sind unter bezweckten, projizierten, optimierten oder befürchteten Gesamtzenarios oder einzelner Energiefluß-Regimefaktoren Planspiele noch leichter auf der Grundlage der Projektdatenbasis durchzuführen. In diesem Zusammenhang kann auf die in Heady und Dvoskin (1977), Eidman (1977) und Everett II (1977) publizierte Diskussion über das Wesen und die Brauchbarkeit des "Agricultural Energy Modeling" verwiesen werden.

Sowohl der Einsatzzweck als auch die finanzielle Projektgrundlage bestimmen aber letztlich die Komplexität des zu formulierenden mathematischen Planungsmodells. Ungeachtet seiner Komplexität wird dieses Modell als Endprodukt der agro-energetischen Regionalanalyse stets die Leitlinien für die gesuchten energiewirksamen planerischen Initiativen liefern.

5. Summary

Increasing cost and decreasing abundance of fossil energy resources force farming industries on a global scale to optimize the relationship between cultural energy input and food energy output, and to minimize all forms of energy waste in agricultural production. This is truly an enormous worldwide task, since the progressive increase in food production over the past 30 years has been achieved mainly on the basis of excessive energy investments.

The assistance of all related sciences is required to solve the task at hand. Only the geo-ecological approach, however, can perform an agro-energetic regional analysis and can produce a land use and resource management model which explains the range of potential optimizations and the variability of the agricultural energy flow on the basis of interacting variable agro-technical and geo-ecological energy flow regime factors.

Up to now there are no methodological guidelines for budgeting agricultural energy flow on a regional scale. There is not even any consistency in regards to the scope of direct productions energy inputs and to energy conversion factors.

This paper analyses necessary and unnecessary energy budget components, it suggests procedures for accounting for all pertinent budget inputs and the output, it outlines the differences and similarities of this approach and the methods and conversion factors formerly used by others, it explains potential procedures for selecting appropriate geo-ecological parameters which influence the agricultural production energy flow, and it pleads for methodological uniformity and transparency for future research in this field for the benefit of practical applicability of the research results.

Furthermore this paper explains the methodological details, the contents, and the scope of composing the data base for both the agricultural energy flow and the surrounding geo-ecological setting in their regional and local variability, it describes possible formats of functional questionnaires for the longterm data raising process, it outlines the method of transforming local information about interrelated variables into its spatial perspective, and finally it identifies statistical methods for analysing the functional model "geo-ecological" variability / production energy input / food energy output / land use structure".

Small and large scale options for mathematical modeling and the scope of potential land use planning and resource management on the basis of the resulting models are mentioned in the end.

Tabelle 1: Faktoren zur Umrechnung der Agrarproduktions-Energiebilanzinputs in Energie-Einheiten (kcal).
 Quellenangaben im Text.
 Conversion Factors for all Components of the Energy Budget of Agricultural crop Production. Sources in Text.

Energiehaushalts-Einzelposten Energy Budget - Item	Umrechnungsfaktor Conversion Factor		
Fixierte Energie in Traktoren Embodied Energy in Tractors	3 140,97 kcal/kg 1 426,00 kcal/lb		
Fixierte Energie in Ackergerät Embodied Energy in Tillage Implements & Planters	1 872,25 kcal/kg 850,00 kcal/lb	Düngemittel Fertilizer	
Abschreibungsmodell linear		Stickstoff Nitrogen	14 286,34 kcal/kg 6 486,00 kcal/lb
Motorisierte Geräte Motorized Equipment	10 Jahre 10 Years	Phosphor Phosphor	2 997,80 kcal/kg 1 361,00 kcal/lb
Nicht-Motorisierte Geräte Non-Motorized Equipment	15 Jahre 15 Years	Kali Potassium	1 599,12 kcal/kg 726,00 kcal/lb
Instandhaltung/Wartung		Schwefel Sulfur	26 651,98 kcal/kg 12 100,00 kcal/lb
Motorisierte Geräte Motorized Equipment	8%/Jahr 8 p.c./Year	Alle anderen All others	2 202,64 kcal/kg 1 000,00 kcal/lb
Nicht-Motorisierte Geräte Non-Motorized Equipment	3%/Jahr 3 p.c./Year	Pflanzenschutzmittel Herbizides/Pesticides	
Arbeit Labor	465,00 kcal/h 465,00 kcal/h	2,4-D	20 279,74 kcal/kg
Weizen (Korn), Roggen (Korn), Hirse (Korn)	3 303,96 kcal/kg	2,4-D	9 207,00 kcal/lb
Wheat (Grain), Rye (Grain), Milo (Grain)	1 500,00 kcal/lb	Paraquat	109 746,70 kcal/kg
Hafer (Korn) Oats (Grain)	3 900,00 kcal/kg 1 770,60 kcal/lb	Paraquat	49 825,00 kcal/lb
Sonnenblumenkerne Sunflowerseed	5 600,00 kcal/kg 2 542,40 kcal/lb	Atrazin Atrazine	45 330,40 kcal/kg 20 580,00 kcal/lb
Gerste (Korn) Barley (Grain)	3 125,95 kcal/kg 1 419,18 kcal/lb	Glyphosate Glyphosate (Roundup)	108 229,07 kcal/kg 49 136,00 kcal/lb
Sorghum (Korn) Sorghum (Grain)	3 297,14 kcal/kg 1 496,90 kcal/lb	Dicamba Dicamba (Banvel)	70 323,79 kcal/kg 31 927,00 kcal/lb
Benzin Gasoline	8 274,77 kcal/kg 31 320,00 kcal/gal	Endrin Endrin	24 229,07 kcal/kg 11 000,00 kcal/lb
Diesel Diesel	9 186,79 kcal/kg 34 772,00 kcal/gal	Cygon Cygon	2 997,80 kcal/kg 1 361,00 kcal/lb
LP Gas LP Gas	6 144,52 kcal/kg 23 257,00 kcal/gal	Bladex 80W Bladex 80 W	45 330,40 kcal/kg 20 508,00 kcal/lb
		Alle anderen All others	24 229,07 kcal/kg 11 000,00 kcal/lb

Tabelle 2: Feld-Energiehaushalt für gedüngten Weizenanbau mit Herbizid/Pestizideinsatz im Anbaujahr 1981/82.
 Alle Erläuterungen im Text
 Field-energybudget for fertilized wheat with herbicide/pesticide application during the crop year of 1981/82.
 All explanations given in text.

FIELD NUMBER=4.4		ACRES= 80.0		YEAR=81		LEGAL DES.= 7N-62-11SE 1/4		SOIL DES.=OL - FSL	
TILLAGE OPERATION	MA. + MODEL3	WIDTH (FT.)	TRACTOR	DEPTH (IN.)	ACRES /HR.	ACRES DONE	LOAD	OPERATION ENERGY (kcal/1000 acre)	DATE
SWEEP,LG V-BLADE	NB-NULL	28	ST BCII	4.00	15.00	80.00	3	FUEL EN.= 21795089.6 LABOR EN.= 31000.0 EMBODIED EN.= 48030.2 TRANSPORT. EN.= 3349702.7	81/05/02
CHISEL W/SWEEP, 18IN	JF-NULL	32	ST BCII	4.00	17.00	80.00	3	FUEL EN.= 19230961.4 LABOR EN.= 27352.9 EMBODIED EN.= 253928.0 TRANSPORT. EN.= 3349702.7	81/06/05
SWEEP,LG V-BLADE	NB-NULL	28	ST BCII	3.00	14.90	80.0	3	FUEL EN.= 21941365.4 LABOR EN.= 31208.1 EMBODIED EN.= 48030.2 TRANSPORT. EN.= 3349702.7	81/07/02
PLANT	JD LZ	36	ST BCII	2.5	20.00	80.00	4	FUEL EN.= 11702516.6 LABOR EN.= 23250.0 EMBODIED EN.= 98978.4 TRANSPORT. EN.= 3349702.7 SEED EN.= 45000000.0	81/09/07
	CROP VAR.=SCOUT66		SEEDING RATE (LB./AC.)=30.00						
FERT,NH3	-NU-NULL	20	ST BCII	4.50	20.00	80.00	3	FUEL EN.= 16346317.2 LABOR EN.= 23250.0 EMBODIED EN.= 191127.1 TRANSPORT. EN.= 3349702.7 FERTILIZER EN.= 259456000.0	81/08/25
	POUNDS/ACRE OF N, P, K, S, Z, AND MANURE RESPECTIVELY		40.00*****						
HERB/PEST	-NU-NULL	30	CA 930	0.00	26.18	30.0	3	FUEL EN.= 1644630.6 LABOR EN.= 6660.6 EMBODIED EN.= 2069347.0 TRANSPORT. EN.= 1576330.7 PESTICIDE EN.= 2382259.5	81/05/25
	PUNDS/ACRE OF BANVEL, ATRAZINE, PARAQUAT, ROUNDUP, 2-4D, BLADEX, CYGON, ENDRIN, AND OTHER RESPECTIVELY *****		.69 *****						
YIELD (BU./AC.)=12.9					ACRES HARVESTED= 80.00			82/07/22	
TOTAL FUEL EN.=	92660880.8	(22.03)	REMAINING	YIELD EN.=		1161000000.0			
TOTAL LABOR EN.=	142721.6	(.03)	RESIDUE= 64.8						
TOTAL EMBODIED EN.=	2709440.8	(.03)							
TOTAL SEED EN.=	45000000.0	(10.70)							
TOTAL FERTILIZER EN.=	259456000.0	(61.68)							
TOTAL HERB./PEST. EN.=	2382259.5	(.57)							
TOTAL TRANSPORT. EN.=	18324844.0	(4.36)							
								TOTAL INPUT EN.=	420676146.7
								TOTAL OUTPUT EN.=	1161000000.0
								OUTPUT/INPUT RATION=	2.76

Tabelle 3: Weizenstroh-Reduzierung pro Bearbeitungsgang in Prozent der von der Bearbeitung gegebenen Strohrate.

Residue reduction in percent of amount given before tillage operation)

Name des Gerätes	Name of implement	% Stroh-Reduzierung % Residue reduction
Wendepflug	Moldboardplow	100
Zweiwegscheibenpflug	Offsetdisk	
Tandemscheibenpflug	Tandemdisk	
> 15,25 cm tief	> 6,0 inches deep	80
14,22 - 15,25 cm tief	5,6 - 6,0 inches deep	70
12,70 - 13,97 cm tief	5,0 - 5,5 inches deep	60
10,15 - 12,45 cm tief	4,0 - 4,9 inches deep	50
7,62 - 9,91 cm tief	3,0 - 3,9 inches deep	40
Einwegscheibenpflug	Onewaydisk	
Einscheibenpflug	Singledisk	
> 15,25 cm tief	> 6,0 inches deep	70
14,22 - 15,25 cm tief	5,6 - 6,0 inches deep	60
12,70 - 13,97 cm tief	5,0 - 5,5 inches deep	50
10,15 - 12,45 cm tief	4,0 - 4,9 inches deep	40
7,62 - 9,91 cm tief	3,0 - 3,9 inches deep	30
Ritzpflug	Chisel	25
Mulch-Streuer	Mulch Treader	20 - 25
Egge	Harrow	20
Breitscharpflug	Sweeps	
≤ 45,27 cm breit	≤ 18 inches wide	20
50,80 - 76,20 cm breit	20 - 30 inches wide	15
> 76,20 cm Breit	> 30 inches wide	10
unspezifiziert	unspecified	15
Jätstab	Rodweeder	
> 5,08 cm tief	> 2 inches deep	10
2,54 - 5,08 cm tief	1 - 2 inches deep	5

Nach Späth (1980) und unveröffentlichten Umfrage-Resultaten aus 80 Farmen.

Tabelle 4: Monatlicher Bericht zur Feldarbeit pro Feld-Nummer
 Hier Spaltentitel
 Monthly field activity report for each field number.
 Headings of the columns.

Tillage						
Aktivität	Schlepper Modell-Nr. und Name und Breite des Ackergerätes (m)	Arbeits- tiefe (mm)	Geschwindigkeit (km/h) (ha/h)		Bearbeitete Gesamtfläche (ha)	Datum
Activity	tractor model-no. and name and width of implement (m)	working depth (mm)	tractor speed (km/h) (ha/h)		area done (ha)	date
Saatarbeiten						
planting activities						
Schlepper Modell-Nr. Name und Breite des Gerätes (m)	Anbau- produkt	Saat- rate (kg/ha)	Tiefe (mm)	Geschwindigkeit (km/h)	Bearbeitete Gesamtfläche (ha)	Datum
Tractor model-no. name and width of implement (m)	crop variety	seeding rate (kg/ha)	depth (mm)	tractor speed (km/h)	area done (ha)	date
Chemikalieneinsatz						
chemical application						
Name der Chemikalien	Anwendungs- rate	Schlepper Modell-Nr. Name und Breite des Gerätes (m)	Tiefe (mm)	Geschwindigkeit (km/h)	Bearbeitete Gesamtfläche (ha)	Datum
Name of chemical	rate of application	tractor model-no. name and width of implement	depth (mm)	tractor speed (km/h)	area done (ha)	date

Tabelle 5: Wechselbeziehungen zwischen zur Saatzeit an der Feldoberfläche verbleibender Pflanzenrestrate (%RR), verfügbarer Feuchte (M in inches) * und Weizenertrag (Y in bu/acre) für ungedüngten (oD) und gedüngten (D) Anbau für alle Tillage-Systeme im Bereich der zentralen Great Plains. A = Y-Achsen Schnittpunkt, B = Steigung der Regressionsgeraden und r = Korrelationskoeffizient.

*Relationship between remaining residue (% RR), available moisture (M in inches) * and wheat yield (Y in bu/acre) for unfertilized (oD) and for fertilized (D) wheat for all tillage systems in the central Great Plains. A = Y-intercept, B = slope of regression equation, r = correlation coefficient.*

	A	B	r
% RP/M _{oD}	47,84	-1,06	-0,58
% RP/M _D	39,34	-0,40	-0,49
Y/M _{oD}	-1,20	1,98	0,84
Y/M _D	20,64	1,00	0,70

* Definiert als 40% Niederschlagsspeicherung während der 14monatigen Bracheperiode plus 80% der Niederschläge während der Vegetationsphase.
Defined as 40% fallow efficiency plus 80% fo rainfall during growing period.

Tabelle 6: Wechselbeziehungen zwischen Weizenertrag (Y in bu/acre), verfügbarer Feuchte (M in inches) * und Energie-Output / -Input - Quotient (R) für ungedüngten (oD) und für gedüngten (D) Weizenanbau für Schwarzbrache, modifizierte Schwarzbrache, Stoppelmulchen, Minimum-Tillage und Öko-Tillage. A = Y-Achsenabschnitt und B = Steigung der Regressionsgeraden, r = Korrelationskoeffizient.

*Relationship between wheat yield (Y in bu/acre) , available moisture (M in inches) *, and energy-output / -input - ratio (R for unfertilized (oD) and for fertilized (D) wheat for clean tillage, modified black fallow, stubble mulching, minimum-tillage and eco-tillage. A = Y-intercept and B = slope of regression equation, r = correlation coefficient.*

Korrelation von	Tillage System								
	Schwarzbrache und modifiz. Schwarzbrache			Stoppelmulchen und Minimum-Tillage			Minimum-Tillage und Öko-Tillage		
	Clean Tillage and modified Clean Tillage 0-29% RR			Stubble Mulching and Minimum-Tillage 30-59% RR			Minimum-Tillage and Eco-Tillage 60-99% RR		
	A	B	r	A	B	r	A	B	r
Y/M _{oD}	1,35	1,89	0,80	-2,58	1,97	0,88	-2,72	2,00	0,87
Y/M _D	21,24	4,00	0,63	17,35	1,13	0,68	37,35	0,26	0,40
R/M _{oD}	1,09	0,82	0,64	-2,25	1,15	0,71	20,62	0,26	0,56
R/M _D	5,83	0,12	0,58	4,06	0,22	0,59	2,85	0,29	0,69
Y/R _{oD}	14,00	1,22	0,78	14,93	0,97	0,83	25,57	0,29	0,68
Y/R _D	24,10	2,14	0,78	25,25	1,78	0,67	34,30	0,72	0,64

* Definiert als 40% Niederschlags-speicherung während der 14 monatigen Bracheperiode plus 80% der Niederschläge während der Vegetationsperiode.

Defined as 40% fallowefficiency plus 80% of rain during the growing period.

Abbildung 1: Algorithmus des landwirtschaftlichen Energiefluß-Simulators.

Algorithm of the agricultural energy simulator.

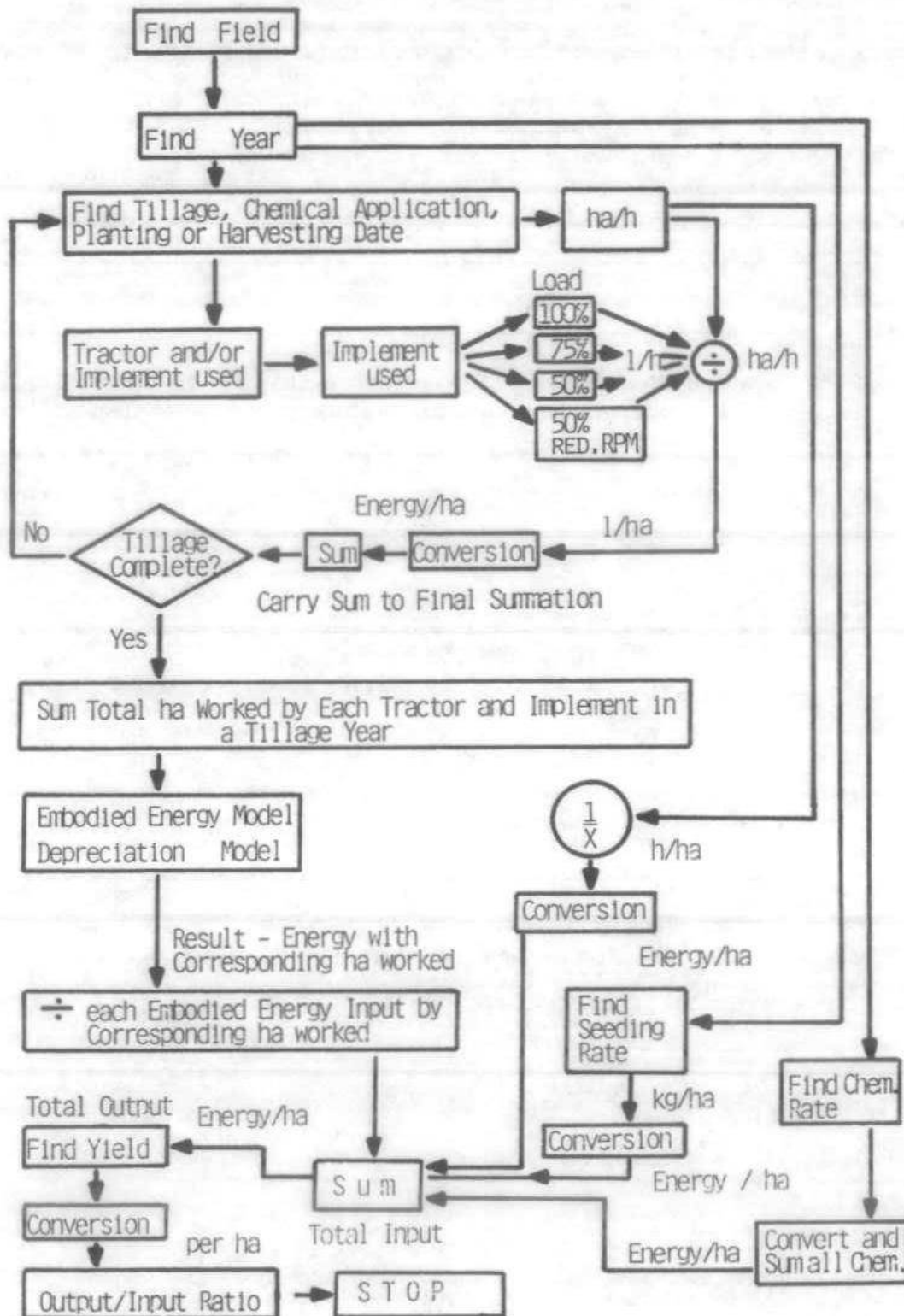
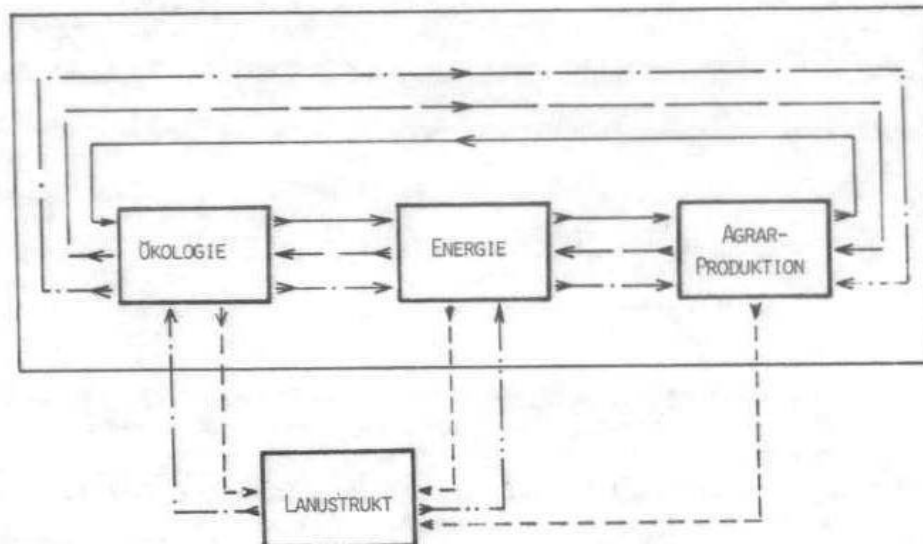


Abbildung 2: Wirkungsweise des Faktors 'Landnutzungsstruktur' (Lanustrukt) im Funktionsmodell 'Nahrungsmittelproduktion / Energiehaushalt / Geo-ökologische Variabilität'.

Impact of soil management systems on interrelated 'Ecological Variability / Energy Budget / Food Production'.



Literaturverzeichnis

1. Alder, E.F., G.C. Klingman und W.L. Wright: Herbicides in the Energy Equation. In: Weed Science 24, 1976, S. 99 -106.
2. Asae: Agricultural Engineering Yearbook 1979/80, 1980.
3. Berry, R.S. und M.F. Fels: The Production and Consumption of Automobiles. An Energy Analysis of the Manufacture, Discard, and Reuse of the Automobile and its Component Materials. University of Chicago 1973.
4. Doering, III, O.C.: A General Procedure for Counting Energy in Farm Machinery. Dept. of Agric. Economy, Purdue University, West Lafayette, Ind., 1978.
5. -, T.J. Considine und C.E. Harling: Accounting for Tillage Equipment and Other Machinery in Agricultural Energy Analysis. In: Energy in Agriculture, Agric. Exp. Station, Purdue University, West Lafayette, Ind., NSF/RA-770128, 1977.
6. Downs, H.W. und R.W. Hansen: Operating Farm Machinery Effectively. Colo. State Univ. Ext. Service Publ. No. 5.008, 1979.
7. -: Matching Tractor and Implement Sizes. Colo. State Univ. Ext. Service Publ. No. 5.009, 1979.
8. Eidman, V.R.: Agricultural Energy Modeling: Discussion of Linear Programming Models. In: Amer. J. of Agric. Economy, 59, 1977, S. 1081 - 1082.

9. Everett II, H.W.: Agricultural Modeling: Discussion of Input-Output Analysis. In: Amer. J. of Agric. Economy, 59, 1977, S. 1079 - 1080.
10. Forster, D.L. und N. Rask: Changes in Fertilizer Usage and Crop Production under Scarce Energy Supplies. In: Lockeretz, W. (Hrsg.): Agriculture and Energy. New York 1977, S. 75 - 83.
11. Green, M.B. Energy in Agriculture. In: Chem. and Industry, No. 15, 1976, S. 641.
12. -: Eating Oil. Energy Use in Food Production. Boulder/Colorado 1978.
13. -, G.S.Hartley und T.F. West: Chemicals for Crop Protection and Pest Control. Oxford 1979.
14. Heichel, G.: Agricultural Production and Energy Resources. In: American Scientist, 64, 1976, S. 64 - 72.
15. Heady, E.O. und D.D. Dvoskin: Agricultural Energy Modeling for Policy Purposes. In: Amer. J. of Agric. Economy, 59, 1977, S. 1075 - 1078.
16. Hendricks, D.W. und R.W. Dehaan: The Input-Output Water Transactions Model of Supply and Demand. In: Water Supply and Management, Vol. 5, No. 4/5, 1981, S. 317 - 330.
17. Heyland, K.-U. und S. Solansky: Energieeinsatz und Energieumsatz im Bereich der Pflanzenproduktion. In: Ber. über Landwirtschaft, N.F., Sonderhefte 195, 1979, S. 15 - 30.
18. Horsfield, B., H. Doster und R.Peart: Drying Energy from Corn Cobs: A Total System. In: Lockeretz, W. (Hrsg.): Agriculture and Energy. New York 1977, S. 47 - 63.
19. Ilias: Energy Analysis. Workshop Report No. 6. International Federation of Institutes for Advanced Study, The Nobel House, Stockholm, Sweden 1974.
20. Leontief, W.W.: The Structure of the US Economy. The Input-Output Tables. In: Scientific American, Vol. 212, No. 4, 1965, S. 25 - 35.
21. Lockeretz, W.: Energy Inputs for Nitrogen, Phosphorus, and Potash Fertilizers. In: Pimentel, D. (Hrsg.): CRC Handbook Series, CRC Press, West Palm Beach, 1979.
22. Marchetti, C.: Wieviel kostet Öl unser täglich Brot. In: Bild der Wissenschaft, 2, 1980.
23. Patrick, N.A.: Energy Use Pattern for Agricultural Production in New Mexiko. In: Lockeretz, W. (Hrsg.): Agriculture and Energy, New York, 1977, S. 31 -40.
24. Penman,H.L.: Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass. In: Proc. Roy: Soc. A 193, S. 120 - 145.
25. Pimentel, D. und M. Pimentel: Food, Energy, and Society. New York 1979.
26. Pimentel,D., L.E. Hurd, A.C. Bellotti, M.J. Forster,I.N. Oka. O.D. Sholes undR. J. Whitman: Food Production and the Energy Crisis. In: Science, Vol. 182, 1973, S. 443 - 449.
27. Pimentel, D., W. Dritschilo, J. Krummel und J. Kutzman: Energy and Land Constraints in Food-Protein Production. In: Science, Vol. 190, 1975, S. 754 - 761.
28. Riehle, H.-G., Rinza, P. und H. Schmitz: Systemtechnik in Betrieb und Verwaltung. Teil 1. Grundlagen und Methoden. VDI-Verlag Düsseldorf, 1978.
29. Schmitz, H.: Systemtechnik in Betrieb und Verwaltung. Teil 2. Verfahren und praktische Beispiele zur Abwicklung komplexer Aufgaben. VDI-Verlag Düsseldorf, 1978.

30. Shelton, D.P., K. von Bargaen und A.S. Al-Jiburi: Nebraska On-Farm Fuel Use Survey. In: Transactions of the ASAE, 1980, S. 1089 - 1092.
31. Shelton, D.P. und L.L. Bashford: In Farm Energy Tips. University of Nebraska, CC271, Lincoln, 1977.
32. Shove, G.C.: Potential of Drying Grain with Solar Energy. In: Lockeretz, W. (Hrsg.): Agriculture and Energy. New York, S. 41 - 45.
33. Simmons, I.G.: The Ecology of the Natural Resources. London 1974, Kapitel 8.
34. Skidmore, E.L., und N.P. Woodruff: Wind Erosion Forces in the US and their Use in Predicting Soil Loss. USDA Agric. Hdb. No. 346, 1968.
35. Smith, J.A. und Fornstrom: Energy Requirement of Selected Dryland Wheat Cropping Systems. In: Trans. ASAE, 1980, S. 822 - 830.
36. Späth, H.-J.: Die agro-ökologische Trockengrenze. In: Erdkunde Bd. 34, 1980, S. 224 - 231.
37. -: Agricultural Energy Flow Simulator. In: Elsevier Science Publishers: Software Catalogue, 1983 a.
38. -: Energy Budgets and Available Moisture for 1980 and 1981 Wheat Crops in the Central Great Plains of North America. In: Great Plains-Rocky Mountain Geographical Journal, Vol. 11, No. 1, 1983 b.
39. -: Energiewirksamkeit der Weizenproduktion unter semi-ariden Klimabedingungen. In: Erdkunde Bd. , 1983 c.
40. Steinkampf, H.: Energieeinsparung in der Pflanzenproduktion - Bereich Agrartechnik. In: Ber. über Landwirtschaft, N.F. Sonderheft 195, 1979, S. 157 - 167.
41. Taylor, J.H.: Increasing the Efficiency of Agricultural Traction and Transport. In: Lockeretz, W. (Hrsg.): Agriculture and Energy. New York, 1977, S. 223 - 232.
42. Wischmeier, W.H. und D.D. Smith: Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland east of the Rocky Mountains. Agric. Hdb. 282, USDA-ARS in Coop. Purdue Agric. Exp. St., 1965.
43. USDA: Nutritive Value of American Foods. ARS Agric. Hdb. No. 456, 1975.