

Zeitschrift: Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie = Économie et sociologie rurales [1980-2007]
Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie
Band: - (2007)
Heft: 2

Artikel: Energiebedarf der landwirtschaftlichen Produktion in Europa : regionale Unterschiede und Bestimmungsgründe
Autor: Kränzlein, Tim / Kempen, Markus / Mack, Gabriele
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-966518>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Energiebedarf der landwirtschaftlichen Produktion in Europa: Regionale Unterschiede und Bestimmungsgründe

Tim Kränzlein¹, Markus Kempen² und Gabriele Mack¹

1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Produktion ist auf den Einsatz fossiler Energieträger, sei es in direkter oder indirekter Form, angewiesen. Dieser ist mit negativen externen Effekten verbunden und wird zunehmend teurer. Der sparsame und effiziente Einsatz von Energieträgern ist daher von hoher gesellschaftlicher Priorität. Aus Gründen der Nachhaltigkeit ist ein Monitoring des Energiebedarfs unabdingbar und auch aus Gründen der Ökonomie sinnvoll.

Dieser Beitrag hat zum Ziel, europaweit den Energiebedarf von 8 pflanzlichen und 3 tierischen Produkten in allen 213 NUTS-II-Regionen der EU-25³ und der Schweiz zu vergleichen. Es werden Standorte identifiziert, in denen ein über- bzw. unterdurchschnittlicher Energiebedarf vorherrscht und die Bestimmungsgründe analysiert. Weiterhin werden für ganz Europa energiebedarfsbezogene Produktionsfunktionen abgeleitet, die Rückschlüsse auf die Bandbreite des Energiebedarfs zulassen.

Nun gibt es bereits zahlreiche Beiträge, die den Energiebedarf der landwirtschaftlichen Produktion und deren Bestimmungsfaktoren untersucht haben. So stellten Carlsson-Kanyama und Faist (2000) in einer Literaturübersicht den Energiebedarf pflanzlicher Produktionsverfahren für mehrere europäische Länder vergleichend gegenüber. Diese Aufstellungen erlauben einen schnellen, jedoch groben Vergleich des Energiebedarfs entlang der Produktionsprozesskette der meisten landwirtschaftlichen Produktionsverfahren und stellen eine Basis für eine

¹ Forschungsanstalt Agroscope-Reckenholz Tänikon ART, CH-8356 Ettenhausen.

² Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik, Universität Bonn, D-53115 Bonn.

³ Basierend auf der EUROSTAT-Systematik der Gebietseinheiten, Europäische Gemeinschaften, 2004.

vereinfachte Lebenszyklusanalyse dar. Die für die energetische Bewertung genutzten Energiekoeffizienten beruhen jedoch auf verschiedenen methodischen Ansätzen und sind deshalb nur eingeschränkt vergleichbar. Regionale und kulturartspezifische Studien zum Energiebedarf sind zahlreich. Tzilivakis et al. (2005) haben den Energiebedarf der Zuckerrübenproduktion in Grossbritannien untersucht. Pluimers et al. (2000) ermittelten die Energieeffizienz der niederländischen Tomatenproduktion, Antón et al. (2005) jene der mediterranen. Für die Schweiz haben Nemecek et al. (2005) auf der Grundlage der Ökobilanzmethode den Energiebedarf für verschiedene Acker- und Futterbaukulturen ermittelt. Rahmharter (1999) untersuchte die österreichische Produktion von Weichweizen, Gerste und Körnererbsen, Dalgaard et al. (2001) beurteilten konventionelle und ökologische Ackerbauverfahren in Dänemark. Nemecek und Baumgartner (2006) verglichen den Energiebedarf von Futterpflanzen in verschiedenen Ländern Europas. Pervanchon et al. (2002) haben einen Ansatz zur Abschätzung des Energiebedarfs verschiedener Länder vorgeschlagen. Dabei werden die regionsspezifischen Gegebenheiten der landwirtschaftlichen Produktion wie Maschineneinsatz oder Bewässerungsverfahren berücksichtigt und einer einheitlichen Methodik unterstellt. Ein internationaler Sektorvergleich, der den fossilen Energiebedarf im Rahmen einer Clusteranalyse untersucht, ist in Conforti und Giampietro (1997) zu finden, wobei der Focus auf länderspezifischen Sektorkennzahlen liegt. Die Resultate dieser genannten Studien sind aufgrund der verschiedenen Methoden und der eingeschränkten Übertragbarkeit der Ergebnisse nur bedingt für einen europaweiten Vergleich geeignet.

Dieser Beitrag ermittelt den Energiebedarf des Pflanzenbaus und der Tierhaltung für ganz Europa mit einem einheitlichen methodischen Ansatz, wobei Produktionszusammenhänge zwischen Pflanzenbau und Tierhaltung berücksichtigt werden. Die Abbildung aller NUTS-II-Regionen der EU erfolgt auf der Grundlage der europaweiten Datenbasis des CAPRI-Modells (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis, Britz et al. 2007). Für die Schweiz wird die Datenbasis des Sektormodells SILAS (Sektorales Informations- und Prognosesystem für die Schweiz, Mack und Flury 2006) genutzt. Die beiden Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie für alle relevanten Tier- und Kulturarten standortspezifische Daten insbesondere zu Naturalerträgen, organischen und mineralischen Düngermengen, Pflanzenschutzmittelkosten und Grund- und Kraftfuttermittelmengen enthalten. Diese Daten, die in erster Linie für ökonomische Optimierungen und Prognosen genutzt werden, müssen zur Quantifizierung des Energiebedarfs umfangreich

ergänzt werden. Neben den direkt in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzten Energieträgern sind auch alle übrigen landwirtschaftlichen Inputfaktoren zu quantifizieren. Deren Bereitstellung ist mit einem Bedarf an „indirekten Energieträgern“ verbunden, die - basierend auf der Ökobilanzmethode - den Agrarprodukten anzurechnen sind. Ausgehend von den Modelldaten und weiteren, europaweit verfügbaren Datengrundlagen werden daher Methoden zur Quantifizierung direkten und indirekten Energieträger entwickelt. In Kapitel 2 werden zunächst die eingesetzten Modelle, anschliessend die Bestimmungsfaktoren, Berechnungsmethoden und die verwendeten Daten vorgestellt. Kapitel 3 zeigt die Ergebnisse sowie detaillierte Analysen unterteilt nach pflanzlichen und tierischen Produktionsaktivitäten. Abschliessend werden in Kapitel 4 Schlussfolgerungen abgeleitet.

2. Modelle, Bestimmungsfaktoren, Berechnungen und Datengrundlagen

2.1 Beschreibungen der Modelle CAPRI und SILAS

CAPRI ist ein landwirtschaftliches Sektormodell, das nicht-lineare mathematische Modelle für 213 Regionen der EU-25 mit einem globalen Marktmodell für landwirtschaftliche Produkte verknüpft. Dabei ist das Regionalisierungsniveau auf NUTS-II der EUROSTAT-Nomenklatur ausgelegt (Europäische Gemeinschaften 2004). In jedem regionalen Modell wird das landwirtschaftliche Angebot von 39 pflanzlichen und 19 tierischen Produktionsaktivitäten unter Anwendung der Definitionen der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR, Europäische Gemeinschaften 2000) modelliert. Dabei werden modellendogen, unter Berücksichtigung des organischen Düngereintrags die mineralischen Düngerausbringungsmengen in Konsistenz zur LGR errechnet. Die Modellierung der regionalen Produktionsentscheidungen basiert auf positiver mathematischer Programmierung. Diese optimiert eine Zielfunktion, die Markterlöse, Prämien und eine nicht-lineare Kostenfunktion enthält, unter Einhaltung einer bestimmten Anzahl von Bedingungen wie Futterrestriktionen, Vorgaben zur Verfügbarkeit von Land sowie Politikeinschränkungen (Quoten, Stilllegungssätze etc.) (vgl. Britz et al. 2006). Aus den Optimierungsverfahren resultieren modellendogen die folgenden Output- und Inputmengen: Naturalerträge (kg/ha), organische und mineralische Düngermengen (kg/ha), Grund- und Kraftfuttereinsatz

(kg/Tier). Die Inputmengen bilden eine wichtige Datengrundlage, um den Verbrauch an nicht-erneuerbaren Energieressourcen für alle Produktionsaktivitäten zu berechnen. Dabei entsprechen die Differenzierungen nach Regionen und Produktionsaktivitäten jenen im Angebotsmodell. Das Modell SILAS ist methodisch ähnlich aufgebaut und berücksichtigt statt der NUTS-II-Regionen die Schweizer Produktionskasterzonen (Mack 2006). Um den Energiebedarf landwirtschaftlicher Produktionsaktivitäten, unter Berücksichtigung dieser standortspezifischen Produktionsbedingungen abzuschätzen, muss die Datenbasis der Sektormodelle umfassend erweitert werden. Dabei werden vorwiegend europaweit verfügbare Daten wie Bodenbeschaffenheiten, Maschinenbestände, Bewirtschaftungsprozesse (Pflügen, Nichtpflügen, Gewächshäustypen, Bewässerungssysteme etc.), Pflanzenschutzmittelmengen und Wassereinsatzmengen etc. verwendet (siehe Tab. 1). Ausgehend von diesen Datengrundlagen werden Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Verbrauchs an direkten und indirekten Energieträgern entwickelt und in die Modelle integriert.

2.2 Bestimmungsfaktoren und Berechnungen des Energiebedarfs

Im Folgenden werden die Einflussgrößen, die den direkten und indirekten Energiebedarf bestimmen, und die Berechnungsmethoden aufgezeigt. Die Berechnungsmethoden basieren auf den in DIN EN ISO 14041 (vgl. DIN 1998) festgelegten Prinzipien der Sachbilanz. Unter Berücksichtigung von Mauch (1993) und VDI (1997) wird der kumulierte Aufwand an nicht erneuerbare Energieressourcen errechnet. Die energetische Bewertung der Inputfaktoren erfolgt mit Koeffizienten der „SALCA“-Datenbank (SALCA061 2006). Diese basiert auf den Umweltinventaren von ecoinvent (vgl. Nemecek et al. 2003).

Treibstoffe stellen neben den Brennstoffen und dem elektrischen Strom den wichtigsten direkten Energieträger in der Pflanzenproduktion dar. Nach Moerschner (2000) beträgt der Treibstoffeinsatz je nach Kulturart und Anbausystem zwischen 20-50 % des Primärenergieaufwandes. Outlaw et al. (2005) unterstreichen die Rolle von Treibstoffen durch ihre Berechnungen, nach denen mehr als 55 Prozent des Energiebedarfs der US-Landwirtschaft durch Diesel und Mineraldünger verursacht werden. Für den europäischen Vergleich ist es deshalb bedeutsam, dass der Treibstoffverbrauch möglichst realitätsnah und regionsspezifisch geschätzt wird. Modelle zur Bestimmung des Treibstoffverbrauchs in

Abhängigkeit der wichtigsten Einflussfaktoren werden u.a. vom KTBL entwickelt (KTBL 2004). Sie bestimmen den Treibstoffbedarf in Abhängigkeit der Bearbeitungstiefe, der Bodenbearbeitung, Bodenart sowie der Parzellengröße und berücksichtigen somit die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Treibstoffbedarf (Cortijo 2000). Andere Modelle zur Ermittlung des Treibstoffbedarfs nutzen physikalische Kennziffern und Angaben zum spezifischen Treibstoffverbrauchs sowie der Maschineneinsatzzeit (Moerschner 2000). Mangels europaweiter Daten für derartige Berechnungen wird der Treibstoffverbrauch regions- und verfahrensspezifisch auf der Basis der KTBL-Rechenmodelle (KTBL 2004) ermittelt. Dabei werden regionale Anteile an pflugloser Bewirtschaftung sowie kulturartsspezifische Bodenarten (Kempen et al. 2005) und regionale Parzellengrößen berücksichtigt. Der Treibstoffbedarf in der Grünlandnutzung wird (bei festgelegter Bewirtschaftungsform) in Abhängigkeit der Zahl der Schnitte, wobei, soweit verfügbar, regionspezifische Schnittnutzungsdaten und Weidehaltung berücksichtigt werden. Dazu wird das Modell CAPRI basierend auf UNFCCC (2000) um aktivitätsspezifische Daten zur Weidehaltung ergänzt. Gleichung 1 zeigt die Berechnung des Energiebedarfs für Dieselkraftstoff [EFUL] in MJ/ha.

Gleichung 1

$$EFUL_{a,ps,sq,sp,pu} = \sum_{sp} FUL_{a,sq,ps,sp,pu} * E_{FUL}$$

- a Produktionsaktivität [ha/Tiere/1000 Tiere]
- ps Parzellengröße [1/2/5/10/20/40/80 ha]
- sq Bodenbeschaffenheit [leicht/mittel/schwer]
- sp Bearbeitungsprozesse [Bodenbearbeitung/
Saatbettbereitung/Düngen/Pflanzenschutz/ Ernten/Transport]
- pu Weideanteil
- FUL Dieselbedarfsmenge [l/ha]
- E Energiegehalt [MJ/l;MJ/kWh;MJ/m³;MJ/kg]

In der Tierhaltung ist elektrischer Strom der bedeutendste direkte Energieträger. Kennzahlen für den Einsatz von Elektrizität in der tierischen Produktion haben Boxberger et al. (1997) ermittelt. Für eine europaweite, aktivitätsübergreifende Quantifizierung des Elektrizitätseinsatzes werden diese Kennzahlen genutzt. Es erfolgt eine Unterteilung in einheitliche Grundwerte für Beleuchtung, Belüftung, Entmistung sowie in

ertragsabhängige (wie beispielsweise die Milchkühlung) und futterspezifische Komponenten (wie die Krafftutteraufbereitung). In skandinavischen und baltischen Regionen, in denen Stallbeheizung notwendig ist, wird ergänzend dazu der Energiebedarf für Heizgas [EGAS] in MJ/Tier nach Gleichung 2 ermittelt.

Gleichung 2

$$EGAS_{a,bt,hs} = PR_{a,bt,hs} * GAS_{bt} * E_{GAS}$$

- hs Herdengröße [Rinder:<10/11-50/51-100/>100];[Schweine/Geflügel/andere: <5/5-50/51-100/100-399/>399]
bt Gebäudetyp [je Tierart; nord-/mittel-/südeuropäischer Typ]
pu Flächeneinheit [$1m^2$]
PR Platzbedarf tierische Produktionsaktivität [m^2 /Tier]
GAS Heizgasverbrauch [m^3/m^2]

Vor allem in südeuropäischen Regionen stellt die Bewässerung eine wichtige Determinante im Energiebedarf der landwirtschaftlichen Produktion dar. Dafür werden verschiedene Systeme (fixe oder mobile Anlagen) und Wasserquellen (Oberflächen- oder Reservoirwasser) sowie Pumpeinrichtungen (Dieselpumpen, elektrische Pumpen) genutzt. Die entsprechenden Anlagentypen und deren Einsatz sind u.a. in Derbala (2003) sowie Lal (2004) dokumentiert. Für die vorliegende Studie wird ein von Nemecek et al. (2003) entwickeltes Standardbewässerungssystem erweitert. Der Energiebedarf für Bewässerung kann dadurch - unterteilt nach Elektrizität [ELEC] und Dieselkraftstoff [EFUL] - in MJ/ha basierend auf der regionalen, aktivitätsspezifischen Wassereinsatzmenge errechnet werden. Gleichung 3 zeigt die entsprechende Vorgehensweise.

Gleichung 3

$$ELEC_{a,ip,W} + EFUL_{a,ip,W} = \sum_{ip} W_{a,ip} * (LEC_{ip,W} * e_{LEC} + FUL_{ip,W} * e_{FUL})$$

- ip Bewässerungssystem und Wasserquelle [mobile/fixe Anlage, Oberflächenwasser / Reservoirwasser]
 W Wassermenge [m^3 /ha,Jahr]
 LEC Elektrische Energie [kWh/m^3]
 FUL Dieselbedarfsmenge [l/m^3]

Die Getreidetrocknung erfordert einen hohen Energiebedarf. Die Trocknungsanlagen setzen in der Regel Heizöl und Elektrizität ein. Mangels statistischer Daten über den Einsatz der beiden Energieträger für die Trocknung wird in dieser Arbeit ein in Nemecek et al. (2003) beschriebenes Standardsystem unterstellt. Die Berechnung des Energiebedarfs für Elektrizität [ELEC] und Heizöl [EOIL] in der Trocknung ist in Gleichung 4 beschrieben.

Gleichung 4

$$ELEC_a + EOIL_a = \delta m_a * (LEC_m * E_{LEC} + OIL_m * E_{OIL})$$

- δm zu entziehende Wassermenge [Erntefeuchte – Zielfeuchte in kg/ha]
 LEC Elektrische Energie [kWh/kg]
 OIL Heizölverbrauch [l/kg]

Die Rolle des energieaufwendig erzeugten Mineraldüngers wird in vielen Studien untersucht (siehe u.a. Fluck 1992, Stanhill 1984 und Pimentel 1980). Sowohl das Modell CAPRI als auch SILAS berechnen die Einsatzmenge an Mineraldüngern modellendogen unter Berücksichtigung des aktivitäts- und regionsspezifischen Nährstoffbedarfs, des organischen Düngereinsatzes und Wirkungskoeffizienten für organischen Dünger. Drei Nährstoffkategorien werden unterschieden. Der Energiebedarf für Mineraldüngereinsatz [EFERT] in MJ/ha berechnet sich nach Gleichung 5.

Gleichung 5

$$EFERT_{a,n} = \sum_n Q_{a,n} * E_n$$

- Q Mineralische Düngermenge [kg Reinnährstoff/ha,Jahr]
n Nährstoffkategorie [Stickstoff/Phosphor/Kalium]

Der Maschineneinsatz verursacht im Pflanzenbau einen Grossteil des indirekten Energiebedarfs. Eine realitätsnahe, regions- und aktivitätsspezifische Berechnung erfordert die Verteilung des vorhandenen NUTS-II spezifischen Maschinenbestandes (CH: Betriebszählung 2003) auf die verschiedenen Kulturarten. Verteilungsschlüssel sind die Flächennutzung, die Nutzungsdauer der Maschinen und die Maschineneinsatzzeiten je Kulturart. Während für Traktoren und Mähdrescher sowie andere Erntemaschinen Bestandsstatistiken, wie in Tab. 1 gezeigt, verfügbar sind, muss sowohl für die Nutzungsdauer der Maschinen als auch für die aktivitätsspezifische Einsatzzeit je Hektar Fläche sowie für das Maschinengewicht mit Standardwerten gearbeitet werden. Entsprechende Werte sind zwar für eine Reihe von EU-Ländern verfügbar (siehe Nix 2004, VÚZE 2006 etc.), methodisch jedoch nicht vergleichbar und in ihrem Detailgrad häufig unzureichend für eine EU-weite Analyse. Deshalb werden die Daten von KTBL (2004) unter Ergänzung mit Ammann (2004) zu Grunde gelegt. Diese erlauben eine aktivitätsspezifische Errechnung des Maschinenstundeneinsatzes in Abhängigkeit der Bodengüte, Parzellengrösse sowie der vorherrschenden Bodenbearbeitungsform. Ergänzend erfolgt bei Grünland eine Berechnung unter Berücksichtigung der Anzahl der Schnitte und der Verarbeitungsform des Schnittgutes. Dieser, für deutsche Produktionsverhältnisse entwickelte Ansatz lässt sich aufgrund seines Detailgrades gut auf andere Regionen übertragen. Die Formel für die Berechnung des indirekten Energiebedarfs für das Traktorengewicht [EMAG] in MJ/ha ist in Gleichung 6 dargestellt. Die errechneten Werte werden durch Koeffizienten für Reparaturaufwendungen (nach Nemecek et al. 2003) ergänzt. Ebenso dient das Traktorengewicht als Basis für die Schätzung des aktivitätsspezifischen Energiebedarfs für Anhängemaschinen.

Gleichung 6

$$EMAG_{a,sq,ps} = \frac{\sum_{mt} MAC * WT_{mt}}{WL * LT_{mt}} * WC_{a,sq,ps} * E_{mt}$$

- MAC Maschinenbestand [Stück/NUTS-II-Region]
 mt Maschinentyp nach Motorleistung Traktor [<40 / 40-60 / 61-100 /
 LT >100 kW]
 WL Nutzungsdauer [in Jahren/mt]
 WT Maschineneinsatzzeit [Std/NUTS-II-Region]
 Maschinengewicht [kg/mt]

Im Pflanzenbau fallen zudem indirekte Energieaufwendungen für den Einsatz von Pestiziden an. Europaweite Daten über Ausbringungsmengen von Pflanzenschutzmitteln liegen nicht vor. Deshalb wird der Energiebedarf indirekt über die Pflanzenschutzmittelkosten je Kulturart der CAPRI-Datenbasis geschätzt. Dafür werden sektorale FAO-Statistiken (FAO 2005) über Pflanzenschutzmittelmengen (in aktiver Substanz) energetisch bewertet und mit Pflanzenschutzmittelausgaben der LGR (Europäische Gemeinschaften 2000) zu Energiebedarfskoeffizienten je EURO kombiniert. Anschliessend wird mit Hilfe der regionalen, aktivitätsspezifischen Ausgaben der Energiebedarf für Pflanzenschutzmittel [EPLAP] in MJ/ha, wie in Gleichung 7 dargestellt, errechnet.

Gleichung 7

$$EPLAP_a = \frac{\sum_{as} PLAP_{as} * E_{as}}{SE} * AE_a$$

- as Aktive Substanz [Herbizid/Insektizid/Fungizid]
 SE Pflanzenschutzmittelausgaben [in €/Land]
 AE Pflanzenschutzmittelausgaben [€/ha]
 PLAP Pflanzenschutzmittelmenge [t /Land]

Die Energieaufwendungen für Futtermittel stellen die bedeutendste Komponente in der Tierhaltung dar. In der vorliegenden Untersuchung werden Grund- und Kraftfuttermittel in Abhängigkeit ihrer Herkunft (betriebseigen, regional, innerhalb der EU-25 oder Importfutter) bewertet. Dieser Bewertung liegen die Produktionsaufwendungen sowie der Energiebedarf für Futtermitteltrocknung, Transport und Verarbeitung in Abhängigkeit der Futtermittelausatzmenge und der Zusammensetzung der Ration zu Grunde. In Gleichung 8 ist die entsprechende Formel für den Energiebedarf für Futtermittel [EFEEB] in MJ/Tier dargestellt.

Gleichung 8

$$EFEEB_a = \sum_{fm} FEED_{a, fm} * (BE_{fm} + EDRY_{fm} + ETRANS_{fm} + EPROC_{fm})$$

fm	Futterkomponente [Futtergras/Futtermais/Futtermais/Getreide/Eiweiss/Energie/andere] [kg/Tier]
BE	Produktionsaufwendungen [MJ/kg]
EDRY	Trocknungsaufwendungen [MJ/kg]
ETRAN	Transportaufwendungen [MJ/kg]
S	Verarbeitungsaufwendungen [MJ/kg]
EPROC	

Im weiteren spielen Energieaufwendungen für Stallsysteme eine wichtige Rolle. Mangels statistischer Daten über Gebäudetypen und Nutzungsdauer wird für diese Untersuchung folgender Ansatz gewählt: Standardgebäudesysteme, die basierend auf SALCA061 (2006) um südeuropäische Varianten sowie um Heizaufwendungen für skandinavische und baltische Länder ergänzt werden, stellen die Grundlage dar. Ergänzend werden unter Nutzung von UNFCCC (2000) verschiedene Entmistungssysteme sowie regionale Herdengrößenverteilungen (European Communities, 2000) berücksichtigt. In Gleichung 9 ist die entsprechende Berechnungsmethode für den Energiebedarf für Stallgebäude [EBUI] in MJ/Tier dargestellt.

Gleichung 9

$$EBUI_{a,hs,bt} = \sum_{ms} PR_{a,hs,bt,ms} * \frac{EBAU_{ms} + EDEP_{ms} + EMAN_{ms}}{LT_{bt}}$$

EBAU	Baufwendungen [Gebäudestruktur+Einrichtungen] [MJ/m ²]
EDEP	Entsorgungsaufwendungen [Gebäudestruktur+Einrichtungen] [MJ/m ²]
EMAN	Unterhaltungsaufwendungen [Austausch Baumaterialien+Einrichtungen]
LT	[MJ/m ²]
PR	Nutzungsdauer [in Jahren/bt] Platzbedarf [m ² /Tier]

2.3 Datengrundlagen und Methoden zur Schätzung fehlender Daten

Die in Kapitel 2.2 beschriebenen Berechnungsmethoden sind in der Regel für NUTS-II-Daten ausgelegt. Die Vielfalt der benötigten Daten und der europaweite Ansatz bringen es mit sich, dass Daten auf den verschiedenen Regionalisierungsniveaus (NUTS-II, NUTS-I, NUTS-0) (vergleiche Europäische Gemeinschaften 2004) verfügbar sind. Zudem gelten die Daten nicht immer für den Betrachtungszeitraum (Dreijahresmittel der Jahre 2001-2003). In Tab. 1 sind die Verfügbarkeit und die wichtigsten Quellen der einzelnen Parameter dargestellt. Anschliessend wird die Vorgehensweise bei Datenlücken und exemplarisch Schätzmethoden für bewässerte Flächen und die Erntefeuchte aufgezeigt.

Tab. 1: Datengrundlagen für die Berechnung des Energiebedarfs

Parameter	Regionalisierung	Verfügbarkeit	Datenquelle
Energiekoeffizienten	-	EU-25	SALCA061 (2006)
Naturalerträge / Tierische Leistungen nach Aktivität	NUTS-II	EU-25	EUROSTAT (1995); Britz et al. (2007)
Düngermenge je ha (mineralisch / organisch)	NUTS-II	EU-25	EUROSTAT (1995); Britz et al. (2007)
Grund- und Kraftfuttermenge je Tierart	NUTS-II	EU-25	EUROSTAT (1995); Britz et al. (2007)
Arbeitsprozesse je Kulturart	NUTS-0	2 EU-Länder	basierend auf KTBL (2004) (DE); Handler und Blumauer (2002) (AT)
Pfluglose Bodenbearbeitung	NUTS-0	12 EU-Länder	ECAF (2006)
Transportdistanzen für Futtermittel	NUTS-II	EU-25	basierend auf ecoinvent (2003) unter Nutzung von SALCA061 (2006)
Bodenbeschaffenheit	NUTS-II	EU-25	Hiederer et al. (2003); Britz et al. (2007)
Parzellengröße	NUTS-II	10 EU-Länder	European Communities (2000); BMVEL (2000) (DE); Pitlik (2005) (HU)
Maschinenbestände	NUTS-II	23 EU-Länder	European Communities (2000), DFT (2007) (UK); CSO (2005) (CZ); Pitlik (2005) (HU); SLOVSTAT (2005) (SK); KBA (mehrere Jahrgänge) (DE)
Pestizideinsatz je Kulturart	NUTS-II	EU-25	Britz et al. (2007)
Sektoraler Pestizideinsatz	NUTS-0	EU-25	FAO (2005)
Gründlandnutzung für Futter	NUTS-II	4 EU-Länder	Resch und Buchgraber (2003) (AT); Istat (2005) (IT); Munzert und Frahm (2005) (DE); SI-STAT (2002) (SI)
Regionsspezifische Weidehaltung	NUTS-0	12 EU-Länder	UNFCCC (2000)
Kulturartsspezifische Saatgutmenge (Z-Saatgut und Nachbau)	NUTS-0	21 EU-Länder	GNIS (2004) (Diverse); ISTAT (2005) (IT); KIS (2006) (SI)
Erntefeuchte von Getreide	NUTS-I	1 EU-Land	BMVEL (2000) (DE) (mehrere Jahrgänge)
Kulturartsspezifische Bewässerungsmenge, Wasserquelle, Bewässerungstechnik	NUTS-0 / NUTS-I / NUTS-II	25 EU-Länder (unterschiedliche Präzisierung)	European Communities (2000); FAO (2006); Jacobsen (2006); Ivanova (2004) (BG); ISTAT (2005) (IT); DST (2006) (DK); Pitlik (2005) (HU); SCEES (2004) (FR); INE (2006); SPF (2004) (BE)
Tierartsspezifische Gebäudemodelle	NUTS-0-Gruppen	EU-25	Dux (2004), SALCA061 (2006); Hilty et al (2005)
Herdengröße (nach Tierart)	NUTS-II	21 EU-Länder	European Communities (2000)
Entmistungssystem	NUTS-0	12 EU-Länder	UNFCCC (2000)
Elektrizitätsbedarf (je Tier)	-	EU-25	Dux (2004)
Dieselbedarf je Arbeitsprozess	NUTS-0	1 EU-Land	KTBL (2004) (DE)

Quelle: eigene Aufstellung

Fehlende Daten müssen geschätzt werden. Sofern für die Referenzjahre keine Daten vorliegen werden alternative Jahre mit einbezogen oder die Daten vergleichbarer Regionen verwendet. Die Vorgehens-

weise bei unterschiedlicher Regionalisierung der Datensätze ist komplexer. Neben der Ergänzung fehlender Informationen für einzelne Regionen ist es notwendig, Daten verschiedener Quellen auf unterschiedlichem regionalem Niveau (NUTS-0, NUTS-I und NUTS-II) konsistent zu rechnen. Beispielhaft für die Bewässerung wird im Folgenden die Schätzmethode aufgezeigt. Ziel ist es, kulturartspezifische Bewässerungsflächen zu bestimmen. Zwar existieren grundsätzlich statistische Daten, jedoch sind diese meist nicht in der gewünschten regionalen Auflösung für einzelne Kulturen vorhanden. So kann es beispielsweise vorkommen, dass eine Quelle für ein Land die bewässerten Flächen je Kultur ausweist, während eine andere nur die regionalen Bewässerungsflächen aller Kulturen angibt. Eine Möglichkeit, diese Informationen zusammenzuführen, besteht in der Anwendung eines Bayes Schätzers. Die statistischen Daten werden nicht als feststehende Werte angesehen sondern als Mittelwert einer normalverteilten Zufallszahl, wobei die Varianz in Abhängigkeit von der vermeintlichen Genauigkeit der Datenquelle gesetzt wird. Die a priori Information der bewässerten Fläche ai einer Kultur c oder eines Aggregats von Kulturen ca aus einer Datenquelle s kann somit, wie in Gleichung 10 dargestellt, durch den Mittelwert μ und die Varianz σ als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion beschrieben werden:

Gleichung 10

$$pdf_s(ai_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{c,s}} e^{-\frac{(ai_c - \mu_{c,s})^2}{2\sigma_{c,s}^2}}$$

Gleichung 11

$$\prod_{s,c,ca} pdf_s(ai_c)$$

Ein "Highest Posterior Density" (HPD) Schätzer (Heckelei et al. 2005) maximiert die Wahrscheinlichkeit, dargestellt in Gleichung 11, unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen. So muss sichergestellt werden, dass die Fläche einzelner Kulturen sich zu den übergeordneten Aggregaten addiert und die bewässerte Fläche kleiner ist als die gesamte Anbaufläche a . Nach Logarithmieren und Weglassen konstanter

Terme der Zielfunktion ergibt sich das in Gleichung 12 aufgezeigte Optimierungsproblem:

Gleichung 12

$$\max - \sum_C \sum_S \frac{(ai_c - \mu_{c,s})^2}{2\sigma_{c,s}^2} - \sum_{CA} \sum_S \frac{(ai_{ca} - \mu_{ca,s})^2}{2\sigma_{ca,s}^2}$$

$$s.t. \quad ai_{ca} = \sum_{c \in CA} ai_c$$

$$ai_c \leq a_c$$

$$ai_{ca} \leq a_{ca}$$

Das Ergebnis einer solchen HPD-Schätzung wird beispielhaft für einige Kulturen in Deutschland und Nordrhein-Westfalen in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2: Ergebnis der HPD-Schätzung am Beispiel der Bewässerung in Deutschland und Nordrhein-Westfalen

Region	Kulturart	A Priori Information			HPD Lösung	
		Quelle I ¹	Quelle II ²	Quelle III ³	Fläche (1000 ha)	Anteil Bewässerung (%)
Deutschland	Kartoffeln		137.5	13.71	77.21	27.14
	Zuckerrüben		179.42	25.84	97.73	21.68
	Mais (Silage)			18.68	14.09	1.23
	Körnermais			5.77	5.31	1.26
	Mais (Gesamt)		20.87	24.45	19.4	
	Bewässerte Fläche	234.58	496.87	248.06	316.2	
Nordrhein-Westfalen	Kartoffeln			1.26	4.18	13.56
	Zuckerrüben			2	14.62	20.26
	Mais (Silage)			3.23	2.03	1.58
	Körnermais			1.84	1.57	1.80
	Mais (Gesamt)			5.06	3.6	
	Bewässerte Fläche	15.04		19.79	29.15	
Variationskoeffizient		0.05	0.1	0.2		

¹ DESTATIS (2004)
² Portmann et al. (2007)
³ Eigene Schätzung

Quelle: eigene Berechnungen

Quelle I liefert dabei nur Informationen zur gesamten, bewässerten Fläche (Tab. 2). Da es sich um statistische Daten von vermeintlich hoher Genauigkeit handelt, werden die Varianzen der Werte so gesetzt, dass sich ein Variationskoeffizient von 0,05 ergibt. Quelle II und III liefern zwar mehr Informationen zu einzelnen Kulturen, beruhen aber zum Teil auf Expertenabschätzungen und sind daher vermutlich mit höheren

Ungenauigkeiten behaftet, was sich in den höheren unterstellten Variationskoeffizienten widerspiegelt. Die HPD-Lösung liefert lückenlose Ergebnisse, die allen vorhanden, manchmal widersprüchlichen a priori Informationen möglichst gerecht werden.

Mangels statistischer Daten über die regionale Erntefeuchte in Europa ist es problematisch, die zu trocknende Getreidemenge und die Feuchtedifferenz, die für die Trocknung angesetzt wird, für Mittel- und Nordeuropa abzuschätzen. Dazu wurde in der vorliegenden Studie ein mehrstufiges statistisches Schätzverfahren gewählt: eine Hauptkomponentenanalyse komprimiert die vorhandenen Daten und liefert erklärende Variablen für einen Aufbau von linearen Regressionsmodellen. Als Grundlage für die Hauptkomponentenanalyse dienen ausgewählte Klimadaten des Climate Research Unit (CRU) der University of East Anglia (CRU TS 2.1.) (New et al. 1999). Die Vielzahl der Variablen erfordert eine Komprimierung. In einem nächsten Schritt werden die errechneten Hauptkomponenten mit Statistiken über die Erntefeuchte im Getreideanbau in Deutschland (BMVEL 2001; BMVEL 2002; BMVEL 2003), unterteilt nach Bundesländern (entspricht einer NUTS-I-Region), verknüpft. Alle $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ -Quadrate, in denen der Getreideanbau unter 10 Prozent der gesamten LN umfasst (Koeble et al. 2006), werden von der Analyse ausgeschlossen, um präzisere Schätzungen für die anderen Getreidestandorte zu bekommen. Diese Schätzungen erfolgen mittels kulturartbezogener linearer Modelle. Die Resultate für Deutschland sind in Tab. 3 dargestellt. Es ist erkennbar, dass für alle Kulturarten mehr als 90 Prozent der kumulierten Variabilität erklärt werden kann. Anschliessend werden die linearen Modelle unter Nutzung der Klimadaten für die weiteren Regionen Europas, in denen Getreidetrocknung relevant ist, zur Vorschätzung der Erntefeuchte eingesetzt.

Tab. 3: Parameter und Resultate des statistischen Modells zur Ernte-feuchtevorschätzung in Deutschland

Parameter des statistischen Modells	Weizen	Hafer	Roggen	Wintergerste	Sommergerste	Triticale
Anzahl der Variablen, die in die Hauptkomponentenanalyse einfließen	33	17	30	27	19	24
Anzahl der Hauptkomponenten, die für die Aufstellung des linearen Modells genutzt werden	5	5	5	5	4	5
Kumulierte Variabilität in den Originaldaten, die mit den Komponenten des linearen Modells erklärt werden (%)	94.47	98.35	94.83	94.89	92.75	95.36
Zweifachinteraktion der Hauptkomponenten berücksichtigt	einige	keine	einige	einige	keine	einige
Multipl. R-Quadrat (%)	71.34	60.87	69.06	90.16	70.50	82.42
F-Wert	3.20	3.42	3.65	10.69	11.95	3.61
Zahl der Freiheitsgrade des Standardfehlers	18	11	18	14	15	10
p-Wert	0.011	0.041	0.007	<0.00005	0.00029	0.024

Quelle: eigene Berechnungen

3. Ergebnisse

3.1 Unterschiede im Energiebedarf für Pflanzenbauverfahren

Die auf den Energiebedarf je kg Produkt skalierten Produktionsfunktionen werden in Abb. 1 dargestellt. Für standortbezogene Analysen wird die Produktionsfunktion in drei Gruppen unterteilt, die sich im Energiebedarf unterscheiden (siehe Tab. 4):

1. Gruppe: Produktionsmenge mit dem geringsten Energiebedarf (0-25 Prozent der Menge).
2. Gruppe: Produktionsmenge mit mittlerem Energiebedarf (26-75 Prozent der Menge).

3. Gruppe: Produktionsmenge mit hohem Energiebedarf (76-100 Prozent der Menge).

Für die Schweiz wird ein mit der Produktionsmenge gewichteter Mittelwert ausgewiesen. Die weiteren Resultate der Energiebedarfsberechnungen für pflanzliche Produkte sind in Tab. 4 im Überblick dargestellt.

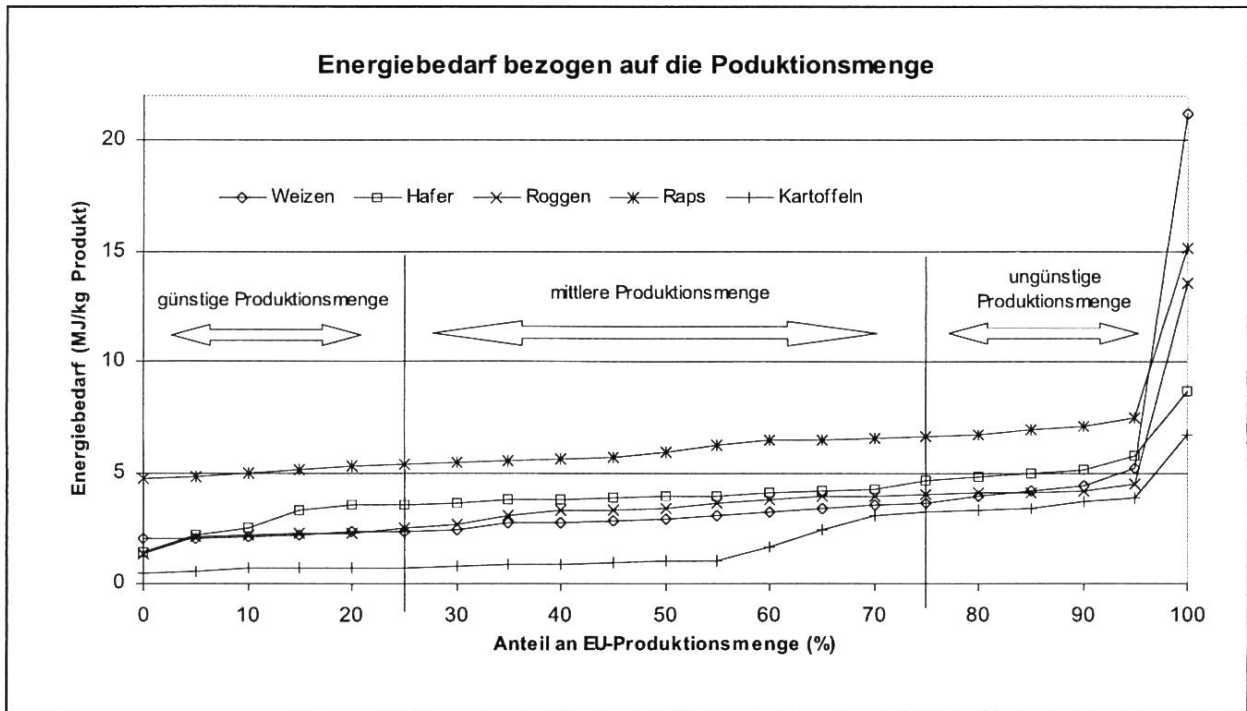


Abb. 1: EU-Produktionsmenge verschiedener Kulturarten nach dem Energiebedarf (MJ/kg Produkt).

Der Blick auf das Ertragsniveau zeigt, dass energetisch günstige Standorte über mehrheitlich höhere Naturalerträge verfügen als mittlere und ungünstige Standorte. Der Energiebedarf je Hektar Ackerfläche bietet ein differenzierteres Bild. Bei Weizen, Hafer, Raps, Silomais, Zuckerrüben und Kartoffeln sind die günstigsten Standorte auch diejenigen mit dem geringsten Energiebedarf je Flächeneinheit, während bei Gerste und Roggen ungünstige Standorte am wenigsten Energie einsetzen. Der Energiebedarf je Hektar der Schweiz liegt bei Getreide über dem Mittel der EU-Standorte. Die Standardabweichung des flächenbezogenen Energiebedarfs der EU deutet darauf hin, dass es sich speziell bei den mittleren und ungünstigen Regionen um sehr heterogene Standorte handelt, bei denen die Standardabweichung teils deutlich über 25 Prozent des Mittelwertes liegt. Dies liegt daran, dass in dieser Gruppe extensive (wie osteuropäische) und intensive Standorte zu finden sind. Am Beispiel von Weizen lässt sich dies verdeutlichen: Für die EU-15 (Euro-

päische Union mit 15 Mitgliedsstaaten, ohne die mittel- und osteuropäischen Neumitglieder) liegt der Energiebedarf je Hektar der mittleren Standorte bei 20 181 MJ/ha und damit um rund 1372 MJ/ha über dem vergleichbaren Mittelwert der EU-25. Der schweizerische Energiebedarf je Hektar ist in etwa vergleichbar mit den mittleren Standorten der EU-15.

Tab. 4: Energiebedarf und Ertragsniveau im Pflanzenbau der EU-25 und der Schweiz

Region	Messgrösse / Einheit	Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Raps	Silomais	Kartoffeln	Zuckerrüben
Energiebedarf Produkt									
EU-25 (günstige Standorte)*	MJ/kg Produkt	2.21	2.55	2.28	2.73	5.01	0.31	0.66	0.28
EU-25 (mittlere Standorte)**	MJ/kg Produkt	3.00	3.35	3.42	3.96	5.89	0.43	1.47	0.40
EU-25 (ungünstige Standorte)***	MJ/kg Produkt	4.64	4.80	4.67	5.26	7.07	0.92	3.70	0.91
CH (Mittelwert)	MJ/kg Produkt	3.80	3.31	3.40	4.14	5.44	0.52	1.11	0.38
Spannweite									
EU-25 (ungünstige/günstige Standorte)	%	210	189	205	193	141	297	559	323
Energiebedarf Fläche									
EU-25 (günstige Standorte)	MJ/ha	16'843	14'126	11'304	11'017	14'928	13'949	27'937	17'307
EU-25 (mittlere Standorte)	MJ/ha	18'809	16'344	11'195	12'293	16'405	21'778	45'475	22'777
EU-25 (ungünstige Standorte)	MJ/ha	19'276	13'947	10'870	14'159	18'000	24'535	61'309	41'457
CH (Mittelwert)	MJ/ha	21'812	20'805	19'321	19'742	18'461	21'335	41'587	28'731
Standardabweichung									
EU-25 (günstige Standorte)	MJ/ha	1'673	3'227	2'682	3'329	3'560	2'811	5'455	2'864
EU-25 (mittlere Standorte)	MJ/ha	4'760	4'455	4'830	3'686	3'733	6'046	14'024	4'767
EU-25 (ungünstige Standorte)	MJ/ha	5'450	3'916	5'755	3'092	4'121	21'118	26'292	26'992
Ertragsniveau									
EU-25 (günstige Standorte)	kg/ha	7'628	5'546	4'952	4'037	2'982	44'954	42'216	61'534
EU-25 (mittlere Standorte)	kg/ha	6'260	4'874	3'269	3'104	2'787	50'676	30'850	56'794
EU-25 (ungünstige Standorte)	kg/ha	4'150	2'905	2'328	2'691	2'546	26'650	16'571	45'672
CH (Mittelwert)	kg/ha	5'739	6'281	5'675	4'764	3'574	42'857	37'461	75'586

Quelle: eigene Berechnungen;

*beinhaltet die, bezogen auf die Produktionsmenge, 25 % günstigsten Standorte;

**beinhaltet die, bezogen auf die Produktionsmenge, 50 % mittleren Standorte;

***beinhaltet die, bezogen auf die Produktionsmenge, 25 % ungünstigsten Standorte.

Zwischen ungünstigen und günstigen Regionen in der EU-25 gibt es grosse Unterschiede. Die ungünstigen Standorte benötigen für die Getreideproduktion rund das Doppelte an Energie für die Erzeugung eines Kilogramm Produktes, bei Raps etwa das eineinhalbfache. Für die Silomais- und Zuckerrübenherstellung benötigen ungünstige Regionen rund die dreifache, bei Kartoffeln gar die fünffache Energiemenge im Vergleich zu günstigen Regionen. Abb. 1 zeigt, dass bei Kartoffeln und Raps über 50 Prozent der Produktionsmenge mit einem ähnlichen Energiebedarf erzeugt wird, während das letzte Drittel der Produktionsmenge unter ungünstigen energetischen Bedingungen produziert wird. Dies resultiert daraus, dass Kulturen wie Zuckerrüben oder Kartoffeln häufig auf guten Standorten angebaut wird. Bei Getreide, das haupt-

sächlich auf mittleren Standorten die Fruchtfolge dominiert, zeigt sich, dass nur ein relativ geringer Anteil der Produktionsmenge (rund 15-30 Prozent) energetisch günstig erzeugt wird, während die verbleibende Menge bereits deutlich mehr Energie benötigt. Allen Kulturarten ist gemein, dass die ungünstigsten 5 Prozent der Produktionsmenge Standorte mit äusserst hohem Energiebedarf abbilden. Dabei fallen unter die ungünstigsten Standorte auch solche, bei denen die jeweilige Kulturart nur einen geringen Flächenumfang aufweist. Die durch Eurostat (1995) ausgewiesenen Erträge sind daher mit höheren Unsicherheiten behaftet. Abb. 2 zeigt die jeweiligen Standorte. Die geographische Lage der günstigen, mittleren und ungünstigen Regionen gibt bereits Hinweise auf die möglichen Ursachen der deutlichen Unterschiede im Energiebedarf. So liegen bei Weizen die wenigen Regionen, die energetisch vorteilhaft produzieren, im Osten Deutschlands, in Dänemark, im Norden Frankreichs und im Südwesten Englands. Mittlere Standorte sind weitgehend in einem Gürtel von Ungarn über die Slowakei, Tschechien, Westdeutschland und Belgien bis nach Frankreich, aber auch in England und Südkandinavien zu finden. Unter energetisch ungünstigen Bedingungen wird in Südeuropa (Griechenland, Italien, Spanien), aber auch in Skandinavien, Polen und im Baltikum produziert. Bei Roggen ist auffällig, dass sich die wenigen günstigen Standorte im Osten Deutschlands, in Frankreich (Centre und Midi-Pyrenees) und Grossbritannien (Eastern) befinden. Die mittleren Standorte sind in Mittel- und Osteuropa zu finden, während das Baltikum, Teile Skandinaviens, Osteuropa und einzelne Regionen in Spanien, Italien und Griechenland zu den ungünstigen Regionen zählen. Bei Zuckerrüben sind günstige Standorte wiederum in den Nordseeanrainerstaaten und im Osten Deutschlands zu finden, während ein mittleres Energiebedarfsniveau in einem Streifen von Ungarn über Tschechien, Deutschland, die Benelux-Region bis hin nach Grossbritannien vorherrscht. Ein ungünstiges Energiebedarfsniveau ist vor allem in Süd- und Osteuropa zu finden.

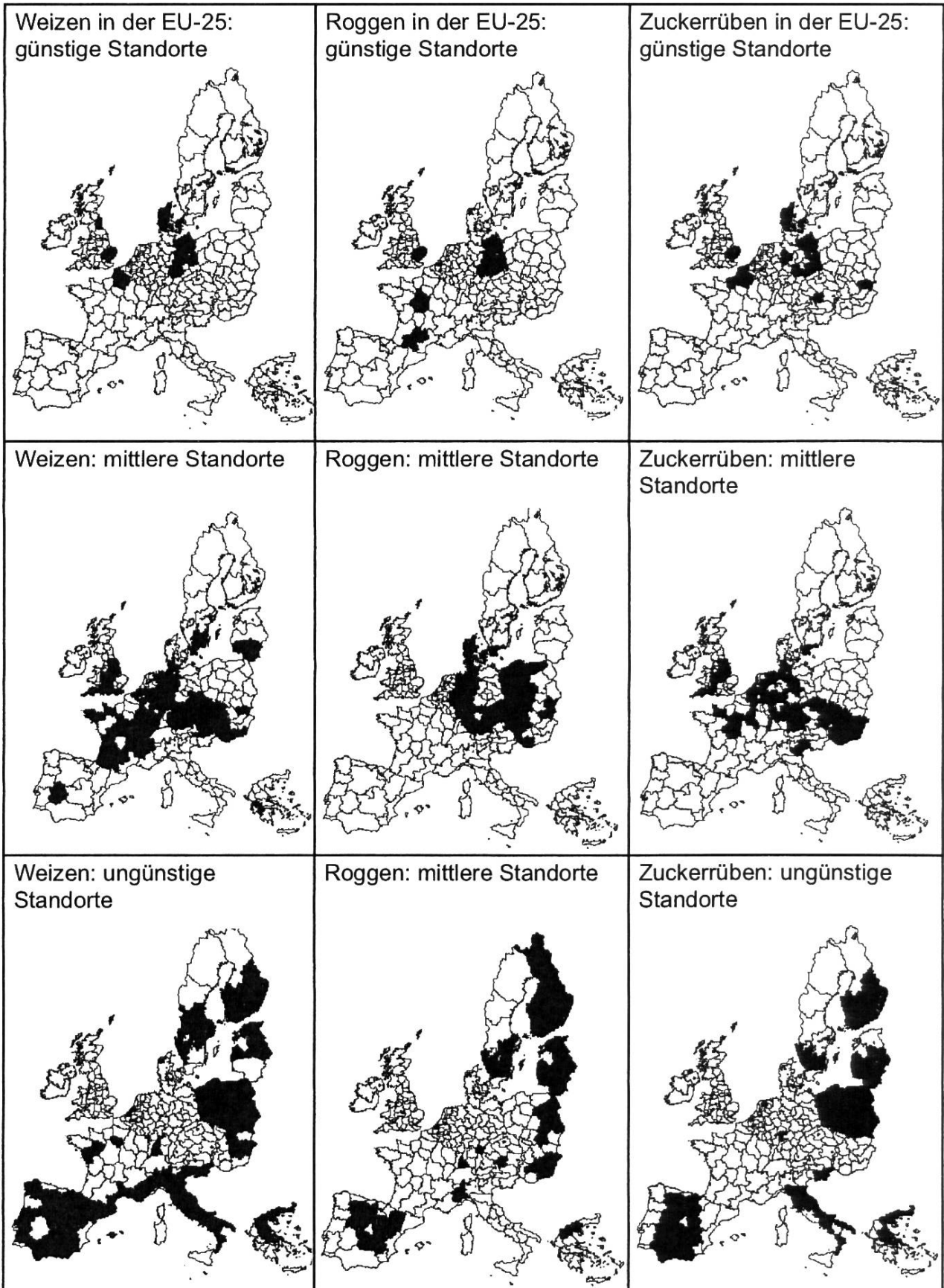


Abb. 2: Typische Ackerbaustandorte EU-25 nach ihrem Energiebedarfsniveau.

(Zur deutlicheren grafischen Darstellung der Resultate EU-25 sind nur solche Regionen einbezogen, die über einen Mindestumfang an Ackerbau sowie an Fläche der entsprechenden Kulturart verfügen).

Diese wenigen günstigen Standorte (Weizen: 9, Roggen: 10, Raps: 13) erzeugen jedoch 25 Prozent der Produktionsmenge. Deshalb muss es sich um spezialisierte Ackerbauregionen handeln, die jeweils in den Nordseeanrainerstaaten und in Ostdeutschland zu finden sind. Auf der anderen Seite werden die 25 Prozent der Produktionsmenge mit dem höchsten Energiebedarf in sehr vielen Regionen (Weizen: 51, Roggen: 22, Raps: 33) hergestellt. Diese aus energetischer Sicht unvorteilhaften Standorte besitzen meist ein geringes Ertragsniveau und wenig Ackerbau. Diese Grenzertragsstandorte sind zudem über die gesamte EU-25 verteilt.

3.2 Ursachen für Unterschiede im Energiebedarfsniveau von Pflanzenbauverfahren am Beispiel Weizen

Bei der Analyse der Gründe für einen hohen oder geringen Energiebedarf je Kilogramm Produkt sind zwei Seiten zu berücksichtigen: Einerseits das Ertragsniveau, andererseits der flächenbezogene Energiebedarf. Exemplarisch für Weizen werden nun Bestimmungsgründe aufgezeigt. In Abb. 3 sind die Kenngrößen, geordnet nach dem Energiebedarf je Kilogramm Produkt, für alle Standorte der EU-25 aufgeführt. Es ist erkennbar, dass die günstigen Standorte überdurchschnittliche Erträge aufweisen. Mit rund 7600 kg/ha im Mittel liegen diese deutlich über dem der mittleren und ungünstigen Standorte. Zudem ist der Energiebedarf je Hektar mit rund 16 800 MJ um 2000 MJ geringer als der der mittleren und gar um über 2400 MJ als derjenige der ungünstigen Regionen. Dafür gibt es mehrere Gründe. So zeichnen sich beispielsweise günstige Standorte dadurch aus, dass die errechnete Erntefeuchte meist unter oder nur geringfügig über 14 Prozent liegt (East Midlands: 14,44; Mecklenburg-Vorpommern 14,86 Prozent) und damit energieaufwendige Trocknung kaum notwendig ist. Die mittleren Trocknungsaufwendungen auf günstigen Standorten liegen bei rund 220 MJ/ha. In der Schweiz ist ebenso wie an anderen Standorten, mit mittlerem Energiebedarfsniveau eine Trocknung von maximal 16 auf 14 Prozent Feuchtegehalt notwendig. In den günstigen Regionen wird keine oder nur sehr wenig Energie für Bewässerung aufgewendet (im gewichteten Mittel nur rund 62 MJ/ha).

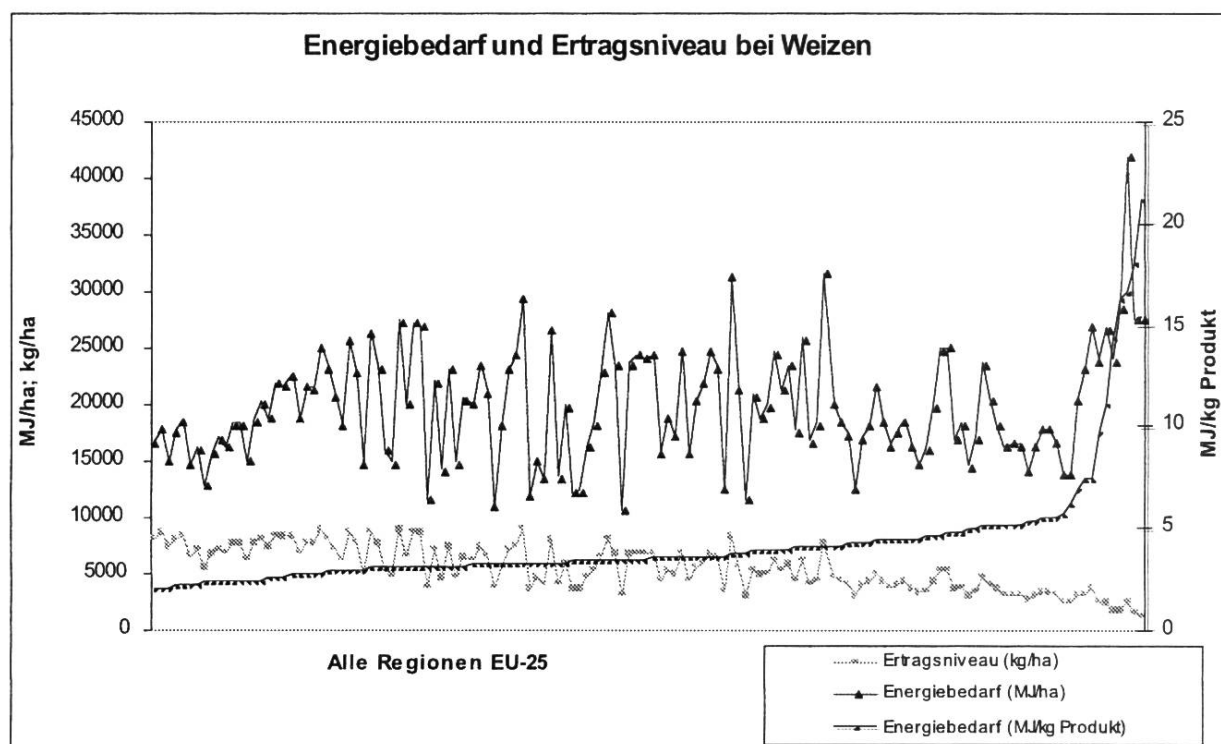


Abb. 3: Energiebedarf je Hektar sowie je Kilogramm Produkt und Ertragsniveau bei Weizen (alle Standorte EU-25).

Ein weiteres Kriterium für einen günstigen Energiebedarf ist der effiziente Maschineneinsatz. So benötigen die günstigen Standorte im Mittel 9,7 kg Traktorengewicht je ha (Standardabweichung 2,0 kg/ha). Mittlere Produktionsstandorte weisen dagegen 13,1 kg/ha auf. Die Standardabweichung von 11,0 kg/ha zeigt jedoch, wie heterogen diese Standorte sind. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Traktorengewicht und dem Gesamtenergiebedarf je ha weist auf die wichtige Rolle des Maschineneinsatzes hin. Die Schweiz befindet sich mit 15,8 kg/ha im mittleren Bereich. Ungünstige Regionen verfügen über eine Traktorengewichtsausstattung von 8,7 kg/ha. Die hohe Standardabweichung von 9,1 kg zeigt allerdings, dass in dieser Gruppe Standorte mit sehr hohem, aber auch solche mit äusserst geringem Maschinenbesatz zu finden sind. Neben dem Maschineneinsatz ist der Bedarf an Dieseldieselkraftstoff von Bedeutung. Dieser hängt sehr stark von der Bodenbeschaffenheit ab. In den energetisch günstigen Regionen wird Weizen zu rund 22 Prozent auf leichten und nur zu etwa 5 Prozent auf schweren Böden angebaut. Dabei zeigt der Korrelationskoeffizient zwischen dem Anteil an leichtem Boden und dem Gesamtenergiebedarf je ha auf die Bedeutung von leichtem Boden in dieser Gruppe hin. Bei den mittleren Standorten hingegen weisen 14 Prozent der Weizenstandorte schwere und nur knapp 10 Prozent leichte Böden auf. Allerdings zeigt auch hier die

Standardabweichung bei den mittleren Standorten die Variabilität innerhalb der Gruppe. Schliesslich stellt der Mineraleinsatz bei den Ackerkulturen den grössten Anteil am Gesamtenergiebedarf dar. Für die vorliegende Arbeit wurde dabei einerseits der Energiebedarf für Mineraleinsatz je ha Ackerfläche (in MJ/ha) und andererseits je Kilogramm Produkt (in MJ/kg) untersucht. Es ist erkennbar, dass der flächenbezogene Energiebedarf für Mineraleinsatz bei den mittleren Standorten am höchsten ist. Allerdings zeichnen sich diese, wie auch die ungünstigen Standorte durch eine relativ hohe Standardabweichung aus. Durch die für die günstigen und mittleren Regionen starke Korrelation zwischen dem Ertragsniveau und dem flächenbezogenen Gesamtenergiebedarf erscheint es aussagekräftiger, den produktbezogenen Energiebedarf für Mineraleinsatz zu untersuchen. Dabei zeigt sich deutlich, dass günstige Standorte weniger Mineraleinsatz einsetzen. Mittlere und vor allem ungünstige Regionen hingegen verfügen über ein höheres Düngerniveau, dessen Variabilität deutlich höher ist. Die Annahme, dass vor allem in ungünstigen Gegenden andere Einflussgrössen wie Trocknung, Bewässerung, Maschineneinsatz etc. eine stärkere Wirkung auf den Energiebedarf besitzen als Mineraleinsatz erhärtet sich durch den niedrigen Korrelationskoeffizienten (0,29) zwischen dem Energiebedarf für Mineraleinsatz und dem flächenbezogenen Gesamtenergiebedarf.

Tab. 5: Bestimmungsfaktoren für den Energieeinsatz bei Weizen

Parameter	Einheit	EU-25		
		günstige Standorte	mittlere Standorte	ungünstige Standorte
Ertragsniveau				
Ertragsniveau	(kg/ha)	7628	6260	4150
Standardabweichung	(kg/ha)	914	1653	1429
Korrelationskoeffizient				
Ertragsniveau (kg/ha) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.90	0.89	0.26
Mineraldüngereinsatz				
Energiebedarf Mineraldüngereinsatz	(MJ/ha)	8640	9663	7348
Standardabweichung	(MJ/ha)	1265	2724	3080
Energiebedarf Mineraldünger je kg Produkt	(MJ/kg)	1.13	1.55	1.77
Standardabweichung	(MJ/kg)	0.11	0.22	0.39
Korrelationskoeffizient				
Energie Mineraldünger (MJ/ha) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.93	0.87	0.29
Maschineneinsatz				
Traktorengewicht	(kg/ha)	9.65	13.06	8.71
Standardabweichung	(kg/ha)	2.04	11.05	9.14
Korrelationskoeffizient				
Traktorengewicht (kg/ha) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.19	0.63	0.27
Bodengüte				
Anteil leichter Boden	(%)	21.89	9.51	18.80
Standardabweichung	(%)	17.39	10.22	17.08
Korrelationskoeffizient				
Anteil leichter Boden (%) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	-0.60	0.25	-0.09
Anteil schwerer Boden	(%)	5.28	14.08	20.16
Standardabweichung	(%)	6.85	14.62	14.11
Korrelationskoeffizient				
Anteil schwerer Boden (%) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.45	-0.15	-0.11
Bewässerung				
Energiebedarf Bewässerung	(MJ/ha)	61.96	50.74	1632.78
Standardabweichung	(MJ/ha)	64.79	92.11	6225.09
Korrelationskoeffizient				
Bewässerungsenergie (MJ/ha) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.17	-0.20	0.65
Trocknung				
Energiebedarf Trocknung	(MJ/ha)	221.35	652.77	3007.69
Standardabweichung	(MJ/ha)	461.68	1473.64	2757.17
Korrelationskoeffizient				
Trocknungsenergie (MJ/ha) - Gesamtenergie (MJ/ha)	-	0.28	0.45	-0.08

Quelle: eigene Berechnungen

3.3 Unterschiede im Energiebedarf von Tierhaltungsverfahren

Tab. 6 gibt einen Überblick über die wichtigsten Kennzahlen der Milchvieh-, Bullenmast und Mastschweineverfahren. Wie im Pflanzenbau erfolgt auch für die Tierproduktion eine Einteilung in günstige, mittlere und ungünstige Produktionsregionen. Abb. 4 zeigt diese Aufteilung exemplarisch für die Milchvieh- und Mastschweinehaltung. Es ist erkennbar, dass bei beiden Verfahren eine grosse Spannweite im Energiebedarf vorliegt. So benötigen die günstigsten Standorte bei Milchvieh nur etwa ein Drittel der Energie der ungünstigsten Standorte, bei Mastschweinen ist diese Spannweite etwas geringer. Der Kurvenverlauf der Mastschweine unterscheidet sich zudem von demjenigen der Milchkühe durch deutliche Sprünge im Energiebedarfsniveau innerhalb der Gruppe der günstigsten Produktionsmenge. Dies ist darauf zurückzuführen, dass lediglich 17 Standorte 25 Prozent der Gesamtmenge der EU erzeugen, wobei nur die Bretagne, Dänemark und Pays de la Loire zusammen rund 18 Prozent der EU-Produktionsmenge abdecken. Demgegenüber stellen in der Milchviehhaltung 32 Regionen das günstigste Viertel der EU-Produktionsmenge bereit. Markant für den Kurvenverlauf der Milchviehhaltung ist, dass im ungünstigen Teil der Produktionsmenge, der 56 Regionen umfasst, eine deutliche Variabilität im Energiebedarf zu erkennen ist. Dies deutet auf eine geringere Spezialisierung der Milchviehhaltung gegenüber der Schweinemast in der EU hin.

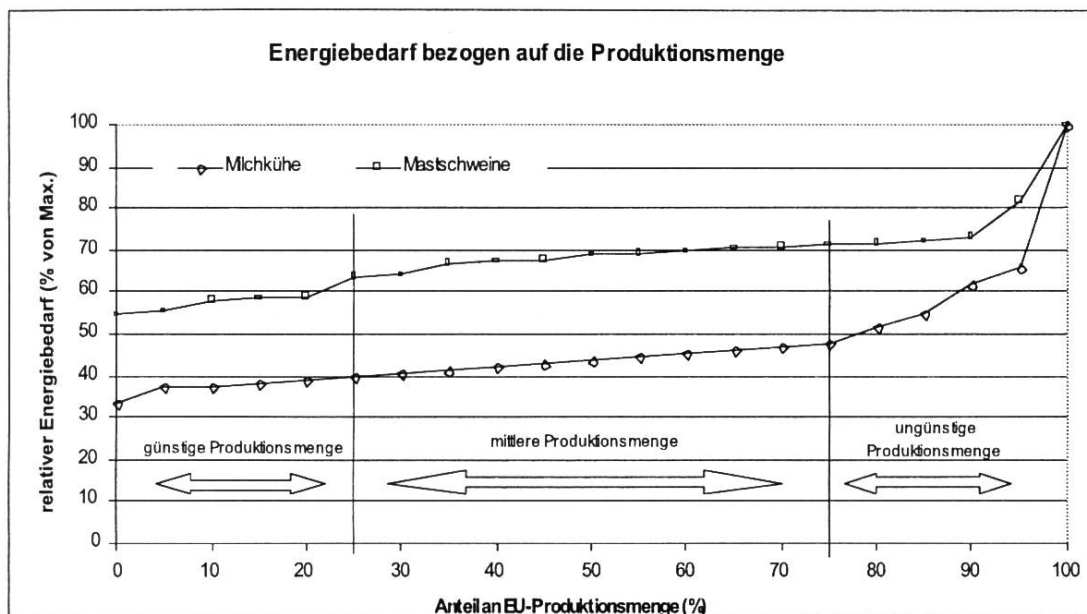


Abb. 4: EU-Produktionsmenge verschiedener Tierproduktionsverfahren nach dem relativen Energiebedarf.

Für die Ergebnisanalyse wird wie in der Pflanzenproduktion der Energiebedarf je Kilogramm Produkt betrachtet. Beim Ertragsniveau zeigt sich, dass sowohl in der Milchviehhaltung, als auch in der Bullenmast die günstigsten Standorte höher als die mittleren und ungünstigen liegen. Insbesondere bei Milchvieh ist dies auffällig, da ungünstige Standorte je Tier nur rund 72 Prozent der Milchmenge von günstigen Regionen erzeugen. Die Schweiz liegt beim Ertragsniveau in der Milchviehhaltung auf dem Niveau der mittleren Standorte, bei der Bullenmast sind die Tiere eher etwas leichter als in der EU. Bei Mastschweinen zeigt sich ein anderes Bild. Hier ist das Schlachtgewicht mit 81 kg bei den günstigsten Regionen der EU-25 am geringsten, während ungünstige Standorte etwa 96 kg Gewicht aufweisen. Von der gesamten Produktionsmenge der günstigen Standorte werden bereits über 37 Prozent alleine durch die dänische Produktion, wo traditionell mit geringem Endgewicht geschlachtet wird, abgedeckt. Dem gegenüber sind unter den ungünstigen Standorten auch süd- und osteuropäische Regionen mit Schlachtgewichten um 100 kg zu finden. Dabei ist anzumerken, dass mit höherem Schlachtgewicht der Futterbedarf je kg Zunahme ansteigt.

Tab. 6: Energiebedarf in der Tierproduktion der EU-25 und der Schweiz im Vergleich

Region	Messgrösse / Einheit	Milchvieh	Bullenmast	Mastschwein
	Energiebedarf Tier			
EU-25 (günstige Standorte)	MJ/Tier	36'026	16'766	2'737
EU-25 (mittlere Standorte)	MJ/Tier	37'697	19'424	3'517
EU-25 (ungünstige Standorte)	MJ/Tier	43'261	30'182	4'264
CH (Mittelwert)	MJ/Tier	31'769	14'071	2'969
	Standardabweichung			
EU-25 (günstige Standorte)	MJ/Tier	3'727	1'207	452
EU-25 (mittlere Standorte)	MJ/Tier	4'781	3'727	395
EU-25 (ungünstige Standorte)	MJ/Tier	8'248	8'463	913
	Energiebedarf Produkt			
EU-25 (günstige Standorte)	MJ/kg Produkt	4.70	47.00	33.91
EU-25 (mittlere Standorte)	MJ/kg Produkt	5.39	60.46	39.52
EU-25 (ungünstige Standorte)	MJ/kg Produkt	7.52	100.06	44.56
CH (Mittelwert)	MJ/kg Produkt	4.58	48.52	36.65
	Spannweite			
EU-25 (ungünstige/günstige Standorte)	%	160	213	131
	Ertragsniveau			
EU-25 (günstige Standorte)	kg/Tier	6'745	357	81
EU-25 (mittlere Standorte)	kg/Tier	6'150	321	89
EU-25 (ungünstige Standorte)	kg/Tier	5'062	302	96
CH (Mittelwert)*	kg/Tier	6'104	290	81

Quelle: eigene Berechnungen

* Durchschnittliche Milchleistung der Verkehrsmilchkuehe

Die Auswertungen zum Energiebedarf je Tier zeigen ein komplexeres Bild. So liegen bei Milchvieh die günstigen und mittleren Regionen mit rund 37 000 MJ/Tier auf einem nahezu identischen Energiebedarfsniveau. In ungünstigen Produktionsstandorten liegt die Standardabweichung (Gesamtenergiebedarf etwa 43 000 MJ/Tier) mit rund 8300 MJ/Tier (entspricht 19 Prozent) nahezu doppelt so hoch wie für die günstigen Regionen. Die Annahme, dass es sich hierbei um sehr heterogene Standorte handelt bestätigt sich beim Blick auf die Standardabweichung des Ertragsniveaus. Während die günstigen Regionen hier rund 708 kg/Tier (entspricht 10 Prozent des Mittelwertes) aufweisen zeigen die ungünstigen mit rund 1005 kg/Tier (entspricht rund 20 Prozent) ein weniger klares Bild auf. Für die Untersuchung des Energiebedarfs je kg Produkt sind in Abb. 5 die Regionen für Milchvieh und Schweinemast dargestellt. Dabei ist erkennbar, dass sich die günstigen Standorte in der Milchviehhaltung weitgehend in den Nordseeanrainern und in Ostdeutschland befinden. Markant sind zudem die Regionen Oevre Norrland in Schweden sowie Piemont und Basilicata in Italien. Oevre Norrland weist ein mit rund 7400 kg/Tier überdurchschnittliches Milchertragsniveau aus, das die mit rund 38 500 MJ/Tier überdurchschnittlichen Energieaufwendungen ausgleicht. Ein anderes Bild zeigt sich im Piemont, wo bei 5200 kg/Tier ein für die Gruppe geringes Ertragsniveau mit etwa 29 000 MJ/Tier unterdurchschnittlichen Energieaufwendungen benötigt werden. Die Basilicata ist mit etwa 0,08 Prozent der gesamten EU-Produktionsmenge und rund 21 000 Tieren ein unbedeutender Standort, der auf niedrigem Ertragsniveau mit geringem Energiebedarf Milch erzeugt. Ebenfalls auf einem niedrigen Energiebedarfsniveau wird in der Schweiz Milch produziert. Bei der Einordnung der Schweizer Milchproduktion lässt sich errechnen, dass nur knapp 15 Prozent der EU-Produktionsmenge aus energetischer Sicht günstiger erzeugt werden kann. Die mittleren Standorte sind in ganz Mitteleuropa zu finden, aber auch entlang der spanischen Atlantikküste, in Teilen Grossbritanniens, Italiens sowie in Irland und in Schweden. Ungünstige Produktionsstandorte sind im Süden Frankreichs, Galizien und Nordportugal, in Teilen Italiens und Griechenlands sowie in einem Gürtel von Slovenien über die neuen EU-Länder Osteuropas bis hin nach Finnland zu finden. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den ungünstigen Standorten der Schweinemast. Ein mittleres Energiebedarfsniveau ist hingegen in weiten Teilen Spaniens, den Benelux-Staaten und Westdeutschlands sowie Teilen Polens und Schwedens zu finden. Ein günstiges Niveau weisen Regionen in Nordwestfrankreich, Dänemark, dem

Südwesten Grossbritanniens, dem Süden Schwedens und Ostdeutschlands auf.

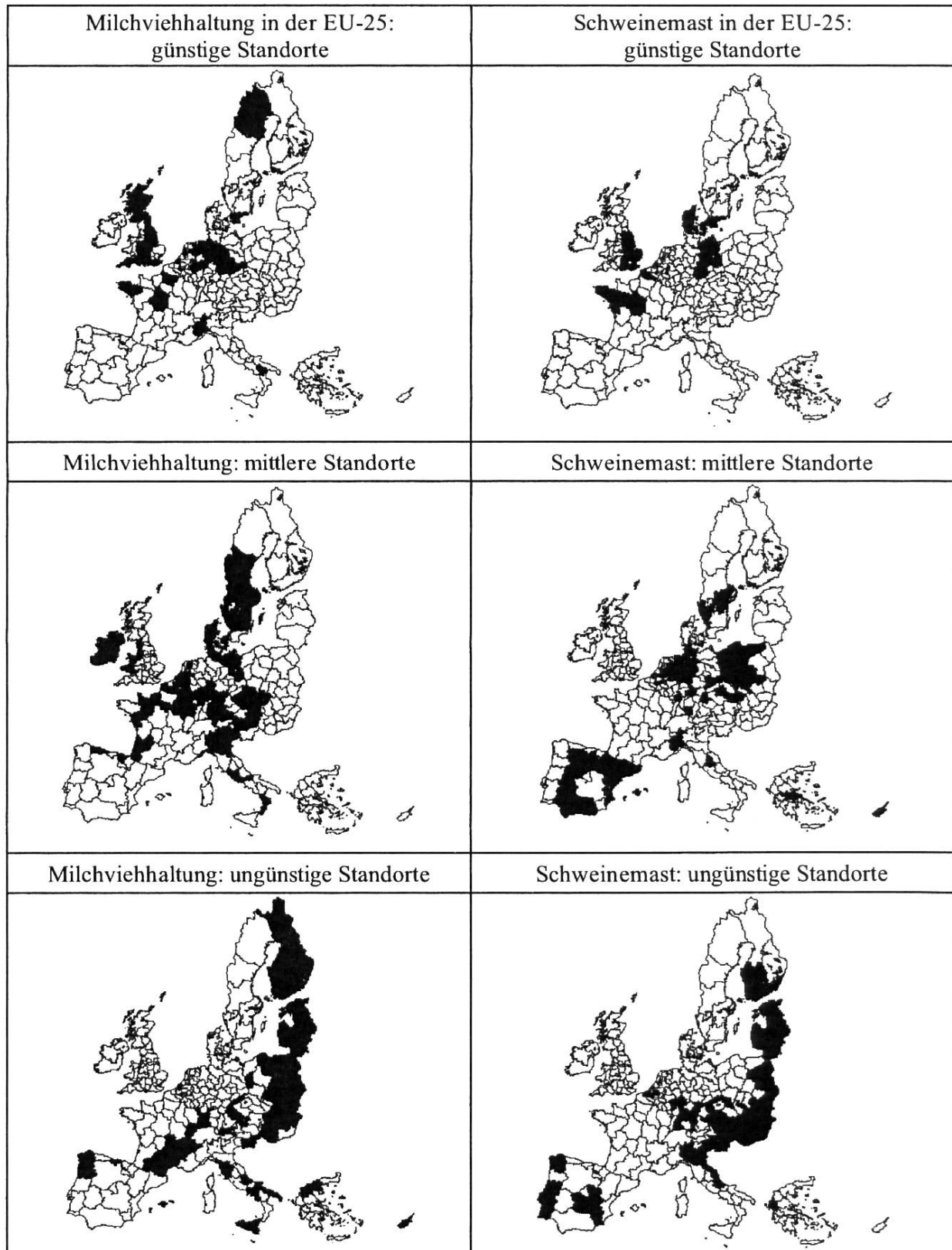


Abb. 5: Typische Tierhaltungsstandorte in der EU nach ihrem Energiebedarfsniveau.

3.4 Ursachen für Unterschiede im Energiebedarf am Beispiel von Milchkühen

Abb. 6 gibt einen Überblick über den Energiebedarf je Tier, je kg Milch und die Milchleistung in allen EU-Regionen (EU-25). Es zeigt sich, dass vor allem auf den mittleren und ungünstigen Standorten der Energiebedarf je Tier und das Ertragsniveau eine grössere Variabilität aufweist als auf den günstigen Standorten. Tendenziell haben Standorte mit hohem Energiebedarf eine geringere Milchleistung als andere.

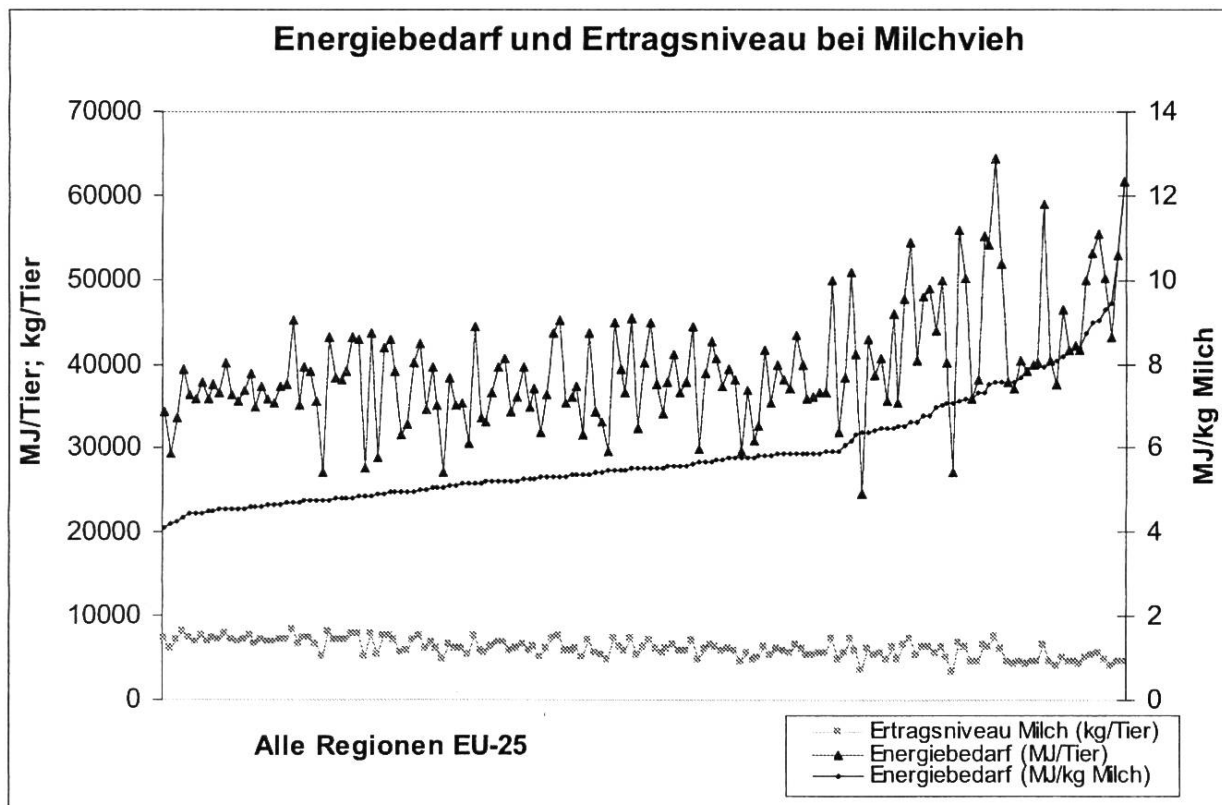


Abb. 6: Energiebedarf je Tier, je Kilogramm Milch und Ertragsniveau bei Milchviehhaltung (alle Standorte EU-25).

Die Variabilität im Energiebedarf in der Milchviehhaltung hat verschiedene Ursachen. Ein wesentlicher Bestimmungsfaktor ist die Zusammensetzung und der Energiebedarf der Futtermittel. Der Kraffuttereinsatz spielt eine grosse Rolle. Tab. 7 zeigt neben der Milchleistung auch Kennzahlen zum Kraffuttereinsatz. Für die günstigen und mittleren Standorte ergibt sich ein enger Zusammenhang zwischen der Milchleistung und dem Gesamtenergiebedarf je Tier (Korrelationskoeffizienten: 0,83 bzw. 0,88). Selbst ungünstige Standorte weisen einen gesicherten Zusammenhang auf (Korrelationskoeffizient: 0,68).

Tab. 7: Bestimmungsfaktoren für den Energiebedarf in der Milchviehhaltung

Parameter	Einheit	EU-25		
		günstige Standorte	mittlere Standorte	ungünstige Standorte
Ertragsniveau				
Milchertragsniveau	(kg/Tier)	6745	6150	5062
Standardabweichung	(kg/Tier)	708	889	999
Korrelationskoeffizient				
Ertragsniveau (kg/Tier) - Gesamtenergie (MJ/Tier)	-	0.83	0.88	0.68
Krafftutereinsatz				
Krafftutereinsatz	(kg/kg Milch)	0.24	0.31	0.51
Standardabweichung	(kg/kg Milch)	0.11	0.14	0.18
Korrelationskoeffizient				
Krafftutermenge (kg/kg Milch) - Gesamtenergie (MJ/Tier)	-	0.53	0.52	0.41
Krafftuterenergieeinsatz	(MJ/kg Milch)	1.45	1.70	3.58
Standardabweichung	(MJ/kg Milch)	0.49	0.68	1.29
Korrelationskoeffizient				
Krafftuterenergie (MJ/kg Milch) - Gesamtenergie (MJ/Tier)	-	0.59	0.60	0.53
Gebäude				
Gebäudeenergie	MJ/Tier	5347	5524	5247
Standardabweichung	MJ/Tier	1010	1251	1578
Korrelationskoeffizient				
Energie Gebäude (MJ/Tier) - Gesamtenergie (MJ/Tier)	-	0.33	0.17	0.04

Quelle: eigene Berechnungen

Der Krafftutereinsatz setzt sich zusammen aus Getreide, proteinreichem und energiereichem Futter. Der Koeffizient kg Krafftutter/ kg Milch zeigt, dass günstige Regionen lediglich 0,24 kg Krafftutter/kg Milch benötigen, während mittlere Standorte mit 0,31 kg/kg Milch und ungünstige mit 0,51 kg/kg Milch deutlich darüber liegen. Die Standardabweichung beträgt für die günstigen und mittleren Regionen rund 45 Prozent des Mittelwertes und für die ungünstigen rund 35 Prozent. Dies weist darauf hin, dass es in allen Gruppen eine relativ grosse Variabilität im Krafftutereinsatz gibt. Der positive Korrelationskoeffizient zwischen dem Krafftutereinsatz je kg Milch (kg/kg) und dem Energiebedarf je Tier (MJ/Tier) verdeutlicht den Einfluss von Krafftutter auf den Gesamtenergiebedarf. Der Koeffizient Energiebedarf für Krafftutter je kg Milch (in MJ/kg Milch) umfasst den Bedarf für die Erzeugung, den Transport (in die EU importiertes sowie nicht in der Region erzeugtes Futter), die

Aufbereitung und die Trocknung von Kraftfutter. Es ist erkennbar, dass die günstigen Standorte nur 1,45 MJ/kg Milch für Kraftfutter einsetzen und damit deutlich weniger als mittlere und ungünstige Regionen. Dies zeigt deutlich, dass günstige Standorte zum einen deutlich weniger Kraftfutter je kg Milch, zum anderen Kraftfutter mit einem niedrigeren Energiebedarf einsetzen als mittlere und ungünstige Standorte. So benötigen günstige Standorte im Mittel 3,79 MJ/kg für die Erzeugung von Kraftfutter, während mittlere Regionen 4,41 MJ/kg und ungünstige 4,67 MJ/kg aufwenden. Die Schweiz ist mit den günstigsten Standorten der EU-25 vergleichbar. Dies liegt am niedrigen Kraftfuttereinsatz von nur durchschnittlich 0.096 kg je kg Milch.

Der mittlere Energiebedarf und die Standardabweichung für Gebäude ist bedingt durch die Berechnungsmethode in allen Regionen ähnlich. Der niedrige Korrelationskoeffizient in Bezug auf die Gesamtenergieaufwendungen zeigt, dass die Gebäude von nachrangiger Bedeutung für die Erklärung von Unterschieden im tierbezogenen Energiebedarf sind. Die Standardabweichung lässt sich durch unterschiedliche Gebäudetypen in den Regionen Nord-, Mittel- und Südeuropa sowie durch die Herdengrösse erklären.

4. Schlussfolgerungen

Für den Pflanzenbau zeigen die Ergebnisse, dass bei Getreide- und Ölsaaten die Standorte mit dem geringsten Energiebedarf in Ostdeutschland, Grossbritannien und Frankreich liegen. Bei Kartoffeln sind die günstigen Standorte in den Benelux-Staaten, Frankreich und Ostdeutschland zu finden. Zuckerrüben werden aus energetischer Sicht in Frankreich und Ostdeutschland vorteilhaft erzeugt. Die Regionen mit dem höchsten Energiebedarf für ein Kilogramm Produkt sind jeweils dort zu finden, wo viel bewässert oder getrocknet und oder sehr wenig Ertrag erwirtschaftet wird. Vor allem in Südeuropa (Griechenland, Süditalien, Malta, Zypern, Südspanien und Portugal), aber auch im Baltikum und Teilen Skandinaviens ist dies der Fall. Für die aus energetischer Sicht ungünstigen Standorte in Südeuropa ist zu erwarten, dass steigende Energiepreise in Kombination mit knapper werdenden Wasserressourcen einen Ausstieg aus der Produktion bewirken. Steigende Energiepreise könnten in anderen Regionen, in denen Getreidetrocknung notwendig ist, Änderungen im Anbauverhalten bewirken. Eine

Aufgabe des Ackerbaus in den energetisch ungünstigsten Regionen hat auf die EU-Produktionsmenge einen geringen Einfluss.

Hinsichtlich der Verwendung von Agrarprodukten für die Erzeugung von erneuerbaren Energien ergibt sich, dass diese energieressourcenschonend nur in den günstigen Regionen erfolgen wird. Energetische Grenzertragsstandorte mit einer schlechten Energiebilanz kommen für die Nutzung der klassischen Ackerkulturen für erneuerbare Energien nicht in Betracht. Es ist erkennbar, dass gute Böden, ausreichende Niederschläge, klimatisch günstige Bedingungen zum Erntezeitpunkt und Betriebsstrukturen, die durch einen geringen Maschinenbesatz sowie grosse Parzellen charakterisiert sind, den Energiebedarf je Kilogramm Produkt deutlich reduzieren, wie es sich für Regionen Ostdeutschlands zeigt.

Für die Milch zeigt die Studie, dass es innerhalb Europas sehr grosse Unterschiede im Energiebedarf gibt. Bei Milch benötigen die 25 Prozent ungünstigsten Standorte in Europa um rund 170 Prozent mehr Energie als die günstigsten. Die Ergebnisse für die Schweiz zeigen, dass Milch nur in wenigen europäischen Regionen energetisch vorteilhafter erzeugt werden kann als in der Schweiz. Dies liegt in erster Linie daran, dass den Schweizer Milchkühen relativ wenig energetisch aufwändig erzeugtes Kraftfutter verfüttert wird. In der EU produzieren lediglich grossstrukturierte Standorte im Osten Deutschlands und in Holland, die 15 Prozent der EU-Milchmenge abdecken, mit einem geringeren Energiebedarf als die Schweiz.

5. Literaturverzeichnis

Amman H., 2004. Maschinenkosten 2005; FAT-Bericht 621/2004, Tübingen.

Antón A. et al., 2005. LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses; *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology* 4 (2), 102-112.

BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft), 2001. Abschlussbericht über die Besondere Ernteterminierung bei Getreide und Kartoffeln in Deutschland; BMVEL, Bonn.

BMVEL, 2002. Besondere Ernteterminierung bei Getreide und Kartoffeln 2002: Erträge und Qualität; BMVEL, Bonn.

BMVEL, 2003. Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) 2003; Reihe: Daten-Analysen, BMVEL, Bonn.

Boxberger J. et al., 1997. Strombedarf in der Landwirtschaft; Verband der Elektrizitätswerke Österreichs (VEÖ), Wien.

Britz W. et al., 2006. Effects of decoupling on land use: an EU-wide, regionally differentiated analysis; *Agrarwirtschaft* (55) 5/6.

Britz W. et al., 2007. Final Report - Description of the CAPRI Modeling System, 6th Framework Programme, Project Number 501981, University Bonn.

Carlsson-Kanyama A., Faist M., 2000. Energy Use in the Food Sector - A data survey; AFR-Report 291; AFN, Naturvårdsverket, Swedish Environmental Protection Agency; Stockholm.

Conforti P., Giampietro M., 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison; *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65 (1997) 231-243.

Cortijo P., 2000. Conclusions: data on energy use and fuel emissions in agriculture - In: Weidma, B.P., Meeusen, M.J.G. (Hrsg.): *Agricultural Data for Life Cycle Assessments*; LEI-DLO report 2.00.01, Vol. 1, Den Haag.

CSO (Czech Statistical Office), 2005. Czech Farm Structure Survey electronic data Table V12/5; persönliche Mitteilung, Prague.

Dalgaard T. et al., 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming; *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87, pp.51-65.

Derbala A.A.A., 2003. Development and evaluation of mobile drip irrigation with center pivot irrigation machines; *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 250, Braunschweig.

DFT (Departement for Transport, London), 2007. Agricultural Machinery Stock; persönliche Mitteilung.

DIN, 1998. Umweltmanagement - Produkt-Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz; Deutsche Fassung EN ISO 14041: 1998-11. Berlin.

DST (Danmarks Statistik), 2006. Statistikbanken - Emnegrupper Landbrug, København.

Dux D., 2004. Dokumentation der Datenbank PBK+: Baumaterialien-, Energie- und Hilfsstoffverbrauch bei Bau und Betrieb von Gebäuden; Interner Arbeitsbericht (nicht publiziert), Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen.

ECAF (European Conservation Agriculture Federation), 2006. Conservation Agriculture in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives; Brussels.

Europäische Gemeinschaften, 2000. Handbuch zur Landwirtschaftlichen und Forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung LGR/FGR 97 (Rev. 1.1.); Europäische Kommission, Luxembourg.

Europäische Gemeinschaften, 2004. Regionen - Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik; Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg.

European Communities, 2000. Commission Decision 2000/115/EC; Official Journal of the European Communities, European Communities 2000 L38/1 to L38/57.

EUROSTAT, 1995. 'REGIO, Regional data bank, Description of content'; Brussels.

FAO, 2005. FAOSTAT Statistical Data on Pesticides; Internet-Quelle, Download-Datum: 17.2.2005, www.faostat.fao.org, Rome.

FAO, 2006. FAOSTAT Statistical Data on Irrigation; Internet-Quelle, Download-Datum: 30.10.2006, www.faostat.fao.org, Rome.

Fluck R., 1992. Energy in Farm Production, Energy in World Agriculture; Vol 6, 1992, Amsterdam.

GNIS, 2004. Les semences aus sein de l'UE: Utilisation moyenne (1999/2003); Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants, Paris.

Handler F., Blumauer E., 2002. Abschlussbericht: Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft; Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein and Bundesanstalt für Landtechnik. Irdning, Wieselburg.

Heckelei T. et al., 2005. A Bayesian Alternative to Generalized Cross Entropy Solutions to Underdetermined Models; Contributed paper presented at the 89th EAAE Symposium „Modelling Agricultural Policies: State of the Art and New Challenges“, Parma.

Hilty R. et al., 2005. Preisbaukasten - Baukostensammlung für landwirtschaftliche Betriebsgebäude. Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen.

Hiederer R. et al., 2003. European Soil Raster Maps (1km by 1km) for Topsoil Organic Carbon Content, Texture, Depth to Rock, Soil Structure, Packing Density, Base Saturation, Cation exchange; Series Developed under the EC-JRC Action 2132: Monitoring the state of European soils (MOSES), Ispra.

INE (Instituto Nacional de Estatística), 2006. Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2005, Lisboa.

Koeble R. et al., 2006. Spatial Disaggregation of Land Cover and Cropping Information for EU-15, Contributed paper to CAPRI DynaSpat Annual Meeting 2006, Ispra.

KIS (Agricultural Institute of Slovenia), 2006. Internet-Quelle; Download-Datum: 10.9.2006, (<http://www.kis.si/pls/kis/!kis.web?m=7&j=EN>); Ljubljana.

Lal R., 2004. Carbon emission from farm operations; Environment International 30 (2004) 981-990.

Istat (Istituto nazionale di statistica), 2005. Statistiche dell'agricoltura - Anno 2000; Roma.

Ivanova N., 2004. Data compilation of BG Irrigation pattern; BG Ministry of Agriculture, Sofia.

Jacobsen B., 2006. Untersuchungen zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Gartenbauwirtschaft im europäischen Vergleich; Shaker Verlag, Hannover.

JRC, 2006. Joint Research Centre of the EU Commission, CAPRI-Dynaspat Land-Use Disaggregation; Agricultural Use Crop Data, Ispra. (Aggregated at 0,5 degree for EU27).

KBA (Kraftfahrtbundesamt), 2002. Statistische Mitteilungen, Reihe 2: Kraftfahrzeuge Jahresband 2002, Flensburg.

Kempen M. et al., 2005. A Statistical Approach for Spatial Disaggregation of Crop Production in the EU in Modelling Agricultural Policies: State of the Art and New Challenges; MUP, Parma.

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.), 2004. Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005: Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft; KTBL, Darmstadt.

LEI, (1999). Energie in de glastuinbouw von Nederland, Table B2.3, p.52, Den Haag.

Mack G., Flury C., 2006. Auswirkungen der AP2011. Modellrechnungen für den Agrarsektor mit Hilfe des Prognosesystems SILAS; Studie im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft, Bern.

Mauch W., 1993. Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen - Basis für Ökobilanzen; IfE-Schriftenreihe Heft 26, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, München.

Moerschner J., 2000. Stoff- und Energiebilanzen von Ackerbausystemen unterschiedlicher Intensität; Dissertation, dissertation.de-Verlag, Göttingen.

Munzert M., Frahm J., (2005). Die Landwirtschaft - Band 1: Pflanzliche Erzeugung; BLV-Verlagsgesellschaft, München.

Nemecek T. et al., 2003. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final Report ecoinvent 2000 No. 15., Zürich und Tänikon.

Nemecek T. et al., 2005. Ökobilanzen von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau; Agroscope FAL Reckenholz, Zürich.

Nemecek T., Baumgartner D., 2006. Environmental Impacts of Introducing Grain Legumes into European Crop Rotations and Pig Feed Formulas; GL-Pro Report, Zürich.

New M. et al., 1999. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology; *Journal of Climate* 12, 829-856.

Nix J., 2004. *Farm Management Pocketbook*; The Anderson Centre, London.

Outlaw J.L. et al., 2005. *Agriculture as a Producer and Consumer of Energy*; USDA, CABI Publishing. Washington D.C.

Pervanchon F. et al., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator; *Agricultural Systems* 72 ,pp. 149-172.

Pimentel D., 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*; CRC Press, Inc., Boca Raton (Florida).

Pitlik L., (2005). Structural data and analysis of HU agriculture (not published); Gödöllő.

Pluimers J. et al., 2000. Energy efficiency in Dutch tomato cultivation; *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 1-10.

Ramharter R., 1999. *Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum*; Dissertation, Wien.

Resch R., Buchgraber K., 2003. *Futterbilanzierung für Grünland und Futterbau in Österreich 2002*; Expertise für Statistik Austria, Gumpenstein.

SALCA061, 2006. Regularly update and enlargement of ecoinvent (2003) agricultural inventories including the impact assessment factors (not published); Agroscope ART Reckenholz, Zürich.

SCEES (Service central des enquêtes et études statistiques), 2004. *Agreste Chiffres et Données Agriculture - Enquête structure 2003 et recensement agricole 2000*; Paris.

SI-STAT (Statistical Office of the Republic of Slovenia), 2002. *Agricultural Census 2000*; Ljubljana.

SLOVSTAT (Slovak Statistical Office), 2005. *Farm Structure Census electronic data*; persönliche Mitteilung, Bratislava.

SPF (Direction générale Statistique et Information économique), 2004. *Recensement agricole de mai 2003*, Bruxelles.

Stanhill G., 1984. Energy and Agriculture; Springer-Verlag. Berlin.

Tzilivakis J. et al., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK; Agricultural Systems 85, 101-119.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2000. Review of the implementation of commitments and of other provisions of the convention - UNFCCC guidelines on reporting an review; FCCC/CP/1999/7, Bonn.

VDI, 1997. Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden; VDI-Richtlinie 4600, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf.

VÚZE (Výzkumném ústavu zemědělské ekonomiky), 2006. Technické zajištění operace, Data compilation, Praha.

Anschrift der Verfasser:

T. Kränzlein und G. Mack
Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
Tänikon
CH-8356 Ettenhausen

tim.kraenzlein@art.admin.ch

gabriele.mack@art.admin.ch