

# **Energieeffizienz durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland**

Darstellung der Ergebnisse zum Modul „Energieeffekte“  
des Projektes zum gesamtgesellschaftlichen Nutzen  
des Pflanzenschutzes in Deutschland

von

**Steffen Noleppa**

agripol – network for policy advice GbR

unter Mitwirkung von

**Harald von Witzke**

Humboldt-Universität zu Berlin

## **Inhalt**

1	Problemstellung und Zielsetzung.....	1
2	Energie als Input und Output der Landwirtschaft .....	4
	2.1 Energie als Inputfaktor landwirtschaftlicher Produktionsprozesse .....	6
	2.2 Energie als Output landwirtschaftlicher Produktionsprozesse.....	9
3	Erstellung von Energiebilanzen: Methode und Daten .....	11
	3.1 Methodisches Vorgehen und Zielindikatoren der Analyse .....	12
	3.2 Datenverfügbarkeit und Datenqualität für die Analyse.....	15
4	Energieeffizienz und Pflanzenschutz für den Ackerbau in Deutschland.....	19
	4.1 Energieeffizienz und der Einsatz von Fungiziden in der deutschen Landwirtschaft .....	21
	4.2 Energieeffizienz und die Wahl zwischen konventionellen und ökologischen Anbauverfahren in Deutschland .....	26
5	Weiterführende Bemerkungen: Einordnung der Ergebnisse .....	33
6	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	36
	Literaturverzeichnis .....	39

## **Danksagung**

Diese Studie wurde im Rahmen des Projekts „Gesamtgesellschaftlicher Nutzen des Pflanzenschutzes in Deutschland“ erbracht. Das Projekt wurde durch den Industrieverband Agrar e.V. (IVA) initiiert. Wir bedanken uns für die Unterstützung durch den IVA während der gesamten Projektlaufzeit und bei der Erstellung dieser vierten Studie. Unser besonderer Dank gilt den Mitgliedern der Steuerungsgruppe „Nutzen Pflanzenschutz“ beim IVA für die zielführenden und offenen Diskussionen sowie die zahlreichen wertvollen Hinweise während der Bearbeitung des Projekts im Allgemeinen und dieser Studie im Besonderen. Darüber hinaus danken wir Frau Kerstin Oertel für die gewohnt zuverlässige Unterstützung bei der technischen Erstellung der Studie. Die Ergebnisse dieser Studie obliegen allein der Verantwortung der Autoren.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Direkte und indirekte Energieinputs in die Landwirtschaft und die Bedeutung des Pflanzenschutzes beim Energieeinsatz.....	9
Abbildung 2.2: Energiebindung im Ernteertrag ausgewählter Ackerkulturen (in MJ/kg) .....	11
Abbildung 3.1: Energieinputs und Energieoutputs im Pflanzenbau.....	13
Abbildung 3.2: Ergebnisse einer Meta-Analyse zu Energieäquivalenten für ausgewählte Inputfaktoren des Pflanzenbaus .....	16
Abbildung 4.1: Energieinputs und Energieoutputs im Ackerbau Deutschlands (in GJ/ha) .....	20
Abbildung 4.2: Niveaus der Zielindikatoren für die Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands (alle Angaben auf ha-Basis) .....	20
Abbildung 4.3: Änderung des Energieinputs und Energieoutputs je ha im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in %) .....	22
Abbildung 4.4: Änderungen des Niveaus der Zielindikatoren der Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in %) .....	22
Abbildung 4.5: Zusätzlicher Energieinput zur Kompensation von Rückgängen in der Produktion im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in Mio. GJ).....	23
Abbildung 4.6: Zusätzliche Bereitstellung von Energie durch Fungizide und Energiebereitstellung deutscher Atomkraftwerke (in Mio. MWh) .....	25
Abbildung 4.7: Änderung des Energieinputs und Energieoutputs je ha im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ (in %).....	28
Abbildung 4.8: Änderungen des Niveaus der Zielindikatoren der Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ (in %) .....	29
Abbildung 4.9: Bereitstellung von zusätzlicher Energie durch konventionellen Landbau und Energiebereitstellung deutscher Atomkraftwerke (in Mio. MWh) .....	32

## Abkürzungsverzeichnis

BMELV	– Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
DERA	– Deutsche Rohstoffagentur
EU	– Europäische Union
FNL	– Fördergemeinschaft Nachhaltige Landwirtschaft
GE	– Getreideeinheit
GJ	– Gigajoule
IVA	– Industrieverband Agrar e.V.
KTBL	– Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kWh	– Kilowattstunde
LKV	– Landeskontrollverband für Leistungs- und Qualitätsprüfung
MJ	– Megajoule
MW	– Megawatt
MWh	– Megawattstunden
SKE	– Steinkohleeinheiten
THG	– Treibhausgas(e)
VDKI	– Verein der Kohlenimporteure

# 1 Problemstellung und Zielsetzung

Dieser Forschungsbericht dokumentiert den vierten und abschließenden Teil eines mehrstufig angelegten wissenschaftlichen Projekts zu den gesamtgesellschaftlichen Effekten des Pflanzenschutzes in Deutschland, das vom Industrieverband Agrar e.V. (IVA) angeregt wurde. Mit diesem Bericht werden konkret die Ergebnisse einer umfassenden Analyse zu den Wirkungen des Einsatzes von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln auf die Energiebilanz und Energieeffizienz in der deutschen Landwirtschaft vorgestellt. Im Rahmen des benannten Gesamtprojekts wurden zuvor ökonomische Effekte auf den agrarischen Rohstoffmärkten (Teil 1) und in landwirtschaftlichen Betrieben (Teil 3) sowie Implikationen für das globale Klima (Teil 2), wie sie aus einem sachgemäßen Einsatz der angesprochenen Pflanzenschutzmittel in der deutschen Landwirtschaft resultieren, untersucht.

Insgesamt soll mit dem Projekt ein substanzieller Beitrag zu einer auf nachvollziehbaren Erkenntnissen und wissenschaftlichen Fakten beruhenden Diskussion gesellschaftlicher Leistungsbeiträge des Pflanzenschutzes erbracht werden. Insbesondere sollen die Ergebnisse wichtige Informationen liefern, die die öffentliche Debatte um den Nutzen und die Kosten des Pflanzenschutzes versachlichen helfen und die Bedeutung des Pflanzenschutzes für konkrete gesellschaftlich relevante Ziele hervorheben. Die begründete These, der im Gesamtprojekt nachgegangen wird, ist, dass gesamtwirtschaftliche Weiterentwicklung und ökonomischer Wohlstand, zweckmäßige Bekämpfung des Klimawandels und zugleich Ernährungssicherung, umfassende Ressourcennutzung und gleichzeitig sinnvoller Umweltschutz keine Zielkonflikte darstellen müssen, wenn Pflanzenschutzmanagement zielgerichtet durchgeführt wird und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sachgerecht im landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt werden.

Die drei ersten Teilstudien im Rahmen des Projekts – im Folgenden: von Witzke und Noleppa (2011) zu den ökonomischen Effekten auf der Marktebene, Noleppa et al. (2012) zu den Einkommenseffekten auf der Betriebsebene bzw. von Witzke und Noleppa (2012) zu ausgewählten Klima- und Ressourceneffekten – haben diese Debatte bereits begleitet, belebt und ganz wesentlich im Detail akzentuiert. Die aufgeworfene These konnte dabei bislang grundsätzlich und umfänglich bejaht werden:

- In von Witzke und Noleppa (2011) konnte zunächst gezeigt werden, dass chemisch-synthetischer Pflanzenschutz in Deutschland eine zentrale Rolle für die Höhe und die Stabilität des Flächenertrags in der Landwirtschaft sowie für die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger agrarischer Rohstoffe spielt. Damit leistet moderner und sicherer Pflanzenschutz wichtige Beiträge zu gesamtwirtschaftlichen Zielen und bei der Meisterung gesellschaftlicher Herausforderungen.

rungen. Insbesondere wird infolge dessen eine höhere inländische Produktion durch eine beachtliche Steigerung der Flächenproduktivität in der Landwirtschaft generiert; diese höhere Produktionsmenge sichert die Preiswürdigkeit von Nahrungsmitteln und mehrt den gesamtwirtschaftlichen Wohlstand. Dieser Mehrwert kann für Deutschland beziffert werden: Der durch Pflanzenschutz erbrachte Wohlstandszuwachs liegt zwischen 1 und 4 Mrd. EUR, je nachdem, welches Pflanzenschutzmanagement ins Kalkül gezogen wird. Die monetären Wirkungen resultieren dabei unmittelbar aus den durch die höheren Flächenerträge ausgelösten Mengen- und Preiswirkungen: Es kann mit sachgemäßem chemisch-synthetischen Pflanzenschutz auf den Weltagrarmärkten mehr Menge zu geringeren Preisen angeboten werden als ohne diese wichtige Komponente innovativer Landbewirtschaftung. Davon profitieren Produzenten und Konsumenten, und das leistet einen ganz entscheidenden Beitrag zur Sicherung von Wohlstand und der Welternährung.

- Für landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland haben dann Noleppa et al. (2012) gezeigt, dass Landwirtschaftsunternehmen in Deutschland durch sachgemäßen chemisch-synthetischen Pflanzenschutz eine gute Entlohnung des Faktors Arbeit erwirtschaften. Änderungen im Pflanzenschutz würden folglich zu einer Verschlechterung der Einkommenssituation führen. Würde z.B. auf den Einsatz von Fungiziden in der deutschen Landwirtschaft verzichtet, verlören viele Betriebe, insbesondere Ackerbaubetriebe, an Einkommenspotenzialen, die in etwa einem „Monatslohn“ entsprechen. Beachtliche Rückgänge des Markteinkommens wären auch bei einer Umstellung vom konventionellen zum ökologischen Landbau zu beobachten. Sachgemäßer chemisch-synthetischer Pflanzenschutz ist darüber hinaus ein ganz wesentlicher Bestimmungsfaktor für unsere vielfältigen Agrarstrukturen, die unsere Kulturlandschaft erst prägen und demzufolge einen eigenständigen gesellschaftlichen Mehrwert ausmachen.
- Neben den Markt- und Einkommenseffekten zeigen sich schließlich bemerkenswerte Klimawirkungen des Pflanzenschutzes (vgl. von Witzke und Noleppa, 2012). Insgesamt werden auch hierzu positive Beiträge erbracht. Konkret kommt dem chemisch-synthetischen Pflanzenschutz in seiner Eigenschaft als ertragssichernder und mehr noch -steigernder Produktionsfaktor eine immense Bedeutung für Einsparungen von Emissionen an Treibhausgasen (THG) zu. Einerseits liegt der Anteil der auf Pflanzenschutz entfallenden THG-Emissionen an den klimarelevanten Gesamtemissionen der Landwirtschaft in Deutschland bei höchstens 1 %, im Ackerbau bei etwa 3 %; andererseits sichern allein Fungizide im Durchschnitt aber bereits 10 % des Flächenertrages. Alternativ zu dem Einsatz von Fungiziden müsste mittels anderer Produktionsfaktoren eine deutlich größere Menge an direkten THG-

Emissionen aufgewendet werden, um die gleiche Produktionsmenge zu realisieren, immer vorausgesetzt, die entsprechenden zusätzlichen Ackerflächen stehen überhaupt zur Verfügung. Dem ist aber nicht so; vielmehr müsste naturbelassenes Land oder Grünland zusätzlich in Ackerland konvertiert werden. Über solche Flächenkonversionen würde zusätzlich Kohlenstoff bzw. CO<sub>2</sub> freigesetzt werden. Im Endeffekt spart z.B. der Einsatz von Fungiziden im deutschen Ackerbau fast 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente an direkten THG-Emissionen ein, und das jährlich; hinzu kommen verhinderte einmalige THG-Emissionen in Höhe von 262 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente, weil auf eine Neukultivierung von Ackerflächen in einer Größenordnung von ca. 1,2 Mio. ha verzichtet werden kann. Noch (viel) größer sind die Effekte freilich, wenn nicht nur Fungizide, sondern das ganze Pflanzenschutzspektrum, etwa im Vergleich zum ökologischen Landbau, betrachtet wird. Sachgemäßer Pflanzenschutz im konventionellen Landbau ist vor diesem Hintergrund eine wichtige Komponente ökologischer Nachhaltigkeit. Er hilft, die knappe Ressource Boden effizient für die Sicherung der Ernährung und zum Schutz von Habitaten und des Klimas zu nutzen.

Die Gesellschaft als Ganzes profitiert also bisherigen Erkenntnissen des Gesamtprojekts zufolge von einer sachgemäßen Anwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln in Deutschland, und das sowohl in wirtschaftlicher als auch in ökologischer Hinsicht. Trifft das aber auch auf den Energiehaushalt bzw. die Energiebilanz und Energieeffizienz in der Landwirtschaft zu, oder müssen hier ggf. Abstriche gegenüber dem bislang aufgezeigten insgesamt positiven Spektrum von Beiträgen modernen Pflanzenschutzes zur Meisterung wichtiger gesellschaftlicher Herausforderungen in Deutschland und andernorts gemacht werden? Die Beantwortung dieser grundsätzlichen Frage ist die eigentliche Zielstellung der mit diesem Bericht dokumentierten wissenschaftlichen Analyse. Anhand ausgewählter energetischer Effekte sollen im Folgenden konkrete Wirkungen aufgezeigt werden. Der Bericht ist wie folgt strukturiert:

- Zunächst werden mit dem Kapitel 2 einige grundsätzliche Aspekte des Zusammenhangs zwischen Landwirtschaft auf der einen Seite und Energie auf der anderen Seite angesprochen. Dabei geht es vordergründig – anhand bislang vorhandener wissenschaftlicher Erkenntnisse – um die Quantifizierung energetischer Inputs und Outputs und damit von wesentlichen Bestimmungsfaktoren von Energieflüssen in der Landwirtschaft.
- Diese Synopse bildet die Basis für spätere Analysen und Kalkulationen speziell für den Pflanzenschutz in Deutschland. Bevor solche Berechnungen vorgenommen werden, wird in dem Kapitel 3 beschrieben, welche methodischen Besonderheiten und Zielindikatoren der vorzunehmenden Energieeffizienzanalyse es zu berücksichtigen gilt und wie die konkrete Datenlage ist.

- Das Kapitel 4 zeigt dann die eigenen Analyseergebnisse auf. Wie schon in den drei vorhergehenden Studien des Gesamtprojekts wird auf zwei Vergleiche abgezielt: Zunächst wird die besondere Bedeutung des Einsatzes von Fungiziden in der deutschen Landwirtschaft aus energetischer Sicht herausgearbeitet, bevor Kontraste zwischen dem ökologischen Landbau auf der einen Seite und dem konventionellen Landbau auf der anderen Seite in den Fokus der Analyse rücken.
- Mit dem Kapitel 5 erfolgt eine Reflexion und Einordnung der eigenen, auf Deutschland bezogenen Ergebnisse; anhand verschiedener Determinanten einer umfassenderen globalen Energiebilanzierung wird aufgezeigt, inwieweit sich die ermittelten Effekte verstärken.
- Schließlich werden in Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Studie gegeben und Schlussfolgerungen in Bezug auf das Gesamtprojekt gezogen.

Alle Ergebnisse der vier Teilstudien zu dem Gesamtprojekt „Gesamtgesellschaftlicher Nutzen des Pflanzenschutzes in Deutschland“ werden in Kürze in einem Endbericht veröffentlicht. Bis dahin sind alle hier aufgezeigten Resultate jedoch als vorläufig zu interpretieren; ggf. neu gewinnbare Erkenntnisse werden bis zum Erscheinen des Endberichts noch adaptiert.

## **2 Energie als Input und Output der Landwirtschaft**

Die Landwirtschaft in Deutschland steht vor enormen Herausforderungen. Immer mehr Menschen müssen mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln und anderen Produkten, die aus agrarischen Rohstoffen hergestellt werden, versorgt werden. Für deren Erzeugung sind Betriebsmittel effizient einzusetzen. Ein wichtiges Betriebsmittel ist Energie. In der Tat bestimmen die Kosten für verschiedene Energieträger die landwirtschaftlichen Produktionsabläufe global und in Deutschland in einem erheblichen Umfang und rücken zudem immer mehr in den Vordergrund der öffentlichen und auch wissenschaftlichen Diskussion (vgl. u.a. Boxberger und Moitzi, 2008; Klepper, 2011; Schwarz et al., 2011; von Witzke et al., 2009).

Energie wird in der Landwirtschaft entweder in direkter Form, z.B. als Diesel und Strom, eingesetzt, oder indirekt über verschiedene Vorleistungen, die für den



Einsatz durch Landwirte mehr oder weniger energieaufwändig produziert und bereitgestellt werden, zur Verfügung gestellt. Landwirtschaftliche Produkte enthalten aber auch immer Energie. Diese wird verschiedenen Verwendungen zugeführt, so z.B. als Biomasse der Energie- und/oder Mineralölwirtschaft. Zumeist aber wird diese Energie als Kohlenhydrate, Proteine und/oder Fette in Nahrungs- bzw. Futtermitteln gespeichert und für die Ernährung von Mensch bzw. Tier benötigt.

Landwirtschaft kann demnach auch als ein energetisches System angesehen werden, in das Energie aus anderen Systemen hineinfließt, dort umgewandelt wird, und das schließlich wieder anderen Systemen Energie in transformierter Form zur Verfügung stellt. Die entsprechenden input- und outputspezifischen Energieströme sind dabei hoch komplex. Das erschwert die Analyse (vgl. u.a. Klepper, 2011). Dennoch ist nachzufragen: Wie können diese Energieflüsse in das System Landwirtschaft hinein und wieder aus dem System heraus umrissen werden und welche Besonderheiten gibt es dabei zu beachten?

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden Energie zunächst als Inputfaktor im landwirtschaftlichen Produktionsprozess charakterisiert; dem schließt sich eine Erörterung von Energie als Output der Erzeugung agrarischer Rohstoffe an. Die entsprechende Bestandsaufnahme nimmt dabei für sich in Anspruch, Energieflüsse der Landwirtschaft vordergründig als Mengenflüsse zu diskutieren: Es geht darum, auf der Basis vorhandener wissenschaftlicher Erkenntnisse einerseits Einsatzmengen an (vor allem fossiler) Energie in der Landwirtschaft zu diskutieren und dieser Menge andererseits in landwirtschaftlich erzeugter Biomasse gebundene Energie entgegenzuhalten. Folgende Konventionen sind für die bevorstehende Analyse vor diesem Hintergrund, so nicht explizit anders im Folgenden erwähnt, zu treffen:

- Es wird auf eine Energiebilanzierung nach dem loco-Hof Ansatz abgestellt; eine solche Systemgrenze wird von den meisten Autoren wissenschaftlicher Arbeiten gewählt. Erfasst werden dabei die Energie, die am Hoftor dem Landwirt bereitgestellt wird, und die Energie, die landwirtschaftliche Primärproduktionsprozesse im Betrieb wieder verlässt.
- Fragen nach dem Ursprung der Energie, gebunden in verschiedenen direkten und indirekten Inputs des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses, werden hier nicht gestellt. Für die loco-Hof Bilanzierung ist es unerheblich, ob der Energieinput aus fossilen, atomaren und/oder erneuerbaren Ressourcen stammt, sofern deren uneingeschränkte Verwendbarkeit im Rahmen landwirtschaftlicher Produktionsprozesse vorausgesetzt werden kann.

- Ebenfalls nicht untersucht wird im Rahmen dieser Studie, was dann mit der zur Verfügung gestellten Energie in Form von Biomasse als Output geschieht, ob sie z.B. gegessen, verfüttert, verstromt, chemisch umgewandelt oder einfach nur dem Naturkreislauf zurückgeführt wird oder sogar ungenutzt bleibt. Wichtig ist hier nur die zugrunde gelegte grundsätzliche Möglichkeit einer freien Verwendung der über landwirtschaftliche Produktionsprozesse erzeugten Energieoutputs.

## 2.1 Energie als Inputfaktor landwirtschaftlicher Produktionsprozesse

Energie fließt in verschiedenen Formen in landwirtschaftliche Produktionsprozesse ein. Der bedeutendste Energielieferant der Landwirtschaft ist dabei die Sonne. Allerdings ist es Konvention, und das seit langem, dass bei der wissenschaftlichen Bilanzierung von Energieflüssen in der Landwirtschaft dieser Inputfaktor, ebenso wie übrigens die menschliche Arbeitskraft, unberücksichtigt bleibt (vgl. u.a. Fischer, 1999; FNL, 2010; Hülsbergen, 2008; Jones, 1989; Quirin et al., 2004; Rathke und Diepenbrock, 2003). Eine andere Vorgehensweise wäre auch nicht zielführend, denn der Energieinput der Sonne in das System Landwirtschaft ist um mindestens den Faktor 1 000 größer als der Energieinput aller anderen Energieträger (Hülsbergen, 2008). Vor diesem Hintergrund würden Bilanzunterschiede, z.B. unterschiedlicher Pflanzenschutzmanagements, marginal werden (Rathke und Diepenbrock, 2003). Gleichfalls ist die Ausbeute dieser direkten Sonnenenergie sehr schlecht, denn nur 0,5 bis maximal 5,0 % der bereitgestellten und durch Photosynthese nutzbaren Sonnenenergie werden überhaupt verwertet (vgl. wieder Hülsbergen, 2008). Die Energieeffizienz eines Pflanzenbausystems wäre von daher immer unzureichend und die Energiebilanz negativ, egal ob nun mehr oder weniger andere betriebliche Inputs gleich welcher Energieform genutzt werden würden. Wenn also im Folgenden von Energieeinsätzen in der Landwirtschaft gesprochen wird, sind lediglich solche konsumierten Energiemengen gemeint, die auf einen anderen als direkten solaren und humanen Ursprung zurückzuführen sind, d.h. die fossilen, atomaren und/oder erneuerbaren Quellen entstammen.

In diesem Kontext ist festzustellen, dass lediglich ein kleiner Anteil des weltweiten Energiekonsums direkt auf die weltweite Landwirtschaft entfällt: Woods et al. (2010) zufolge beträgt dieser Anteil in etwa 2 bis 3 %; und für Deutschland und die Europäische Union (EU) werden diese Werte noch etwas geringer angesetzt (vgl. Klepper, 2011). Offensichtlich liegt der Anteil der Landwirtschaft am Energieverbrauch i.d.R. unter dem Anteil der Landwirtschaft an der Wertschöpfung; von daher ist der Agrarsektor zunächst einmal ein eher energieextensiver Volkswirtschaftssektor.

Die Bedeutung des Sektors Landwirtschaft innerhalb der Wertschöpfungskette von Lebensmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs zu bestimmen ist nicht leicht, denn es finden sich sehr unterschiedliche Angaben: Demnach bindet die Landwirtschaft zwischen 14 % (Pelletier et al., 2011; Pimentel et al., 2008) und 38 % (Wood et al., 2006) aller bei der Herstellung und Bereitstellung von Nahrungsmitteln in Industrieländern verbrauchten Energiemengen. Die Variationen zwischen einzelnen Ländern bzw. Regionen sowie einzelnen Nahrungsmitteln sind dabei mitunter beachtlich (vgl. hierzu Klepper, 2011): Bestimmungsfaktoren sind vor allem der Grad von Verarbeitung und Veredlung sowie die Regionalität und damit die Intensität von Transport- und Lagerungsprozessen auf dem Weg der Lebensmittel zum finalen Konsumenten.

Hier interessiert im Besonderen der Energieeinsatz in der Pflanzenproduktion und mehr noch im Ackerbau in Deutschland. Auch hierzu liegen einige Zahlen aus der wissenschaftlichen Literatur vor. So ist z.B. laut Heißenhuber (2008) mit einem Energieeinsatz zwischen 10 und 15 Gigajoule (GJ)/ha im Ackerbau zu rechnen. Ausreißer nach oben wie unten sind möglich, wie z.B. Dalgaard et al. (2001) zeigen: Unterschiede resultieren dabei aus den Kulturpflanzen, den Anbauverfahren und der Charakteristik der bewirtschafteten Böden.

Hinter den entsprechenden Energiemengen stehen im Ackerbau aber auch immer Kosten. Klepper (2011) beziffert den Anteil der energiebedingten Kosten im Ackerbau auf bis zu 30 % aller Kosten (vgl. auch von Witzke et al., 2009). Der relativ hohe Anteil macht deutlich: Energie ist immer ein Kalkül unternehmerischer Entscheidungen, und landwirtschaftliche Unternehmen werden von vornherein auf Energieeffizienz Wert legen müssen, wollen sie am Markt bestehen.

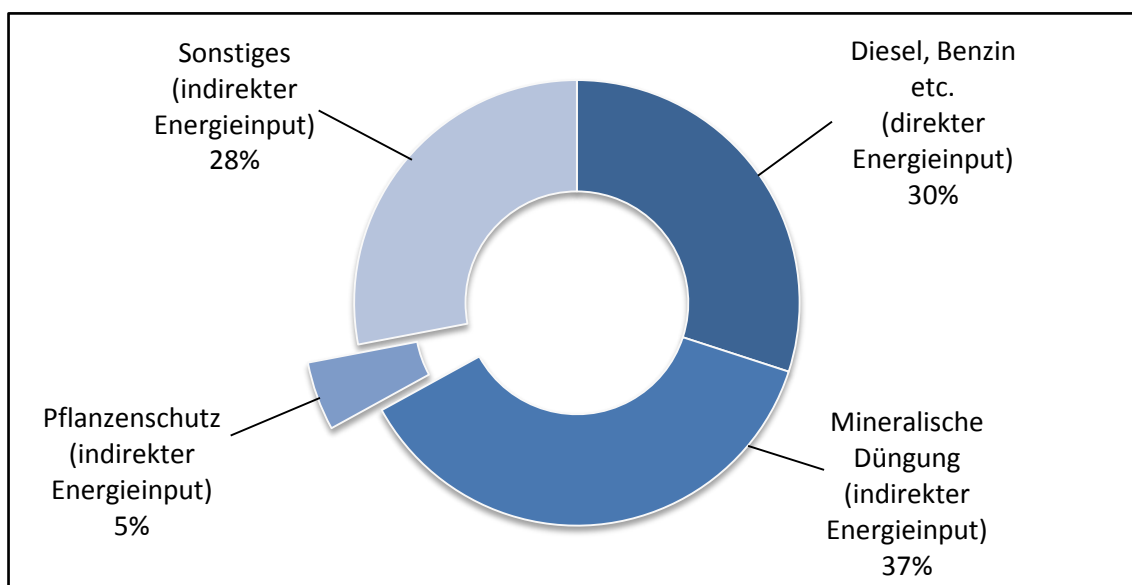
Wie fließt diese Energie nun konkret in den Pflanzenbau ein? Hierzu lassen sich – bezogen auf die schon weiter oben angebrachte Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Inputs der Landwirtschaft – folgende generelle Aussagen treffen:

- Der Einsatz der direkten Energie macht Woods et al. (2010) zufolge lediglich ca. ein Viertel des Gesamtenergieeinsatzes aus. Etwas höher setzen ihn Mack et al. (2007) an; die Autoren beziffern den direkten Energieinput auf etwa ein Drittel des Gesamtenergieeinsatzes. Auch für Deutschland bzw. den mitteleuropäischen Raum finden sich innerhalb dieses Intervalls Schätzungen bzw. Berechnungen durch Fischer (1999), FNL (2010), Deike (2008) und Rahmann (2012), die alle um einen durchschnittlichen Anteil von etwa 30 % streuen. Der wichtigste, im Pflanzenbau nahezu alleinige Treiber dieses spezifischen Energieverbrauchs ist Kraftstoff (vgl. Klepper, 2011); in der Bedeutung stark abfallen demgegenüber Energieverbräuche durch Beregnung.

- Kongruent zur Bedeutung der direkten Energie stellen Pelletier et al. (2011) fest, dass typischerweise die Menge eingesetzter indirekter Energie in der Pflanzenproduktion die der direkten Energie bei Weitem übersteigt; eine Aussage, die durch Klepper (2011) sowie Woods et al. (2010) gestützt wird. Bei den indirekten Energieeinsätzen auf dem Feld dominiert der Energieverbrauch in Form von synthetisch erzeugtem Mineraldünger (Pelletier et al., 2011). Mack et al. (2007) zufolge entfällt auf Mineraldünger etwa ein Drittel des Gesamtenergieaufwands der Pflanzenproduktion; nach Küsters und Brentrup (2008; 2009) ist dieser Anteil sogar noch größer und könnte bis zur Hälfte des Gesamtenergieeinsatzes ausmachen; deutlich geringer ist der Anteil jedoch, wenn man Fischer (1999) folgt: Maximal ein Viertel aller direkten und indirekten Energieaufwendungen würden demnach auf Mineraldünger entfallen. Angesichts der offensichtlichen Unsicherheit erscheint es angeraten, dem Ergebnis einer Meta-Analyse für die europäische Landwirtschaft zu folgen, die durch Tuomisto et al. (2012b) durchgeführt wurde. Demnach entfallen durchschnittlich 37 % aller Energieeinsätze in der Pflanzenproduktion auf Mineraldünger. Diesem bedeutenden Anteil des Mineraldüngers geschuldet, fallen alle weiteren Betriebsmittel hinsichtlich ihres indirekten Energieeinsatzes im Pflanzenbau stark ab.
- Dennoch soll an dieser Stelle – der besonderen Themenstellung dieser Studie gerecht werdend – die Bedeutung des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes für den Energieeinsatz in der Landwirtschaft noch explizit herausgearbeitet werden. Zahlreiche Angaben hierzu lassen sich finden. Grundsätzlich gilt, dass dem Pflanzenschutz in diesem Zusammenhang nur eine sehr untergeordnete Bedeutung zukommt. Auf die gesamte Landwirtschaft bezogen, dürfte der Anteil des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln am Gesamtenergieeinsatz bei nur 1 bis 2 % liegen (vgl. Fischer, 1999; Mack et al., 2007), und das erinnert stark an die geringe Bedeutung des Produktionsfaktors in Bezug auf die Emissionen von THG (vgl. von Witzke und Noleppa, 2012). Für den Pflanzenbau bzw. für den Ackerbau finden sich freilich größere Anteile: Diese liegen im Durchschnitt aber in fast allen Fällen mit 4 bis unter 10 % im tendenziell eher mittleren einstelligen Bereich (vgl. u.a. Audsley et al., 2009; Claus et al., 2011; Fischer, 1999; Goense, 2008; Heißenhuber et al., 2006; Klepper, 2011; Mack et al., 2007; Pelletier et al., 2011; Tuomisto et al., 2012a; Woods et al., 2010). Lediglich bei Audsley et al. (2009) und Goense (2008) wurden bei ganz wenigen Kulturarten, insbesondere bei Sonderkulturen, Werte zwischen 10 und 12 % benannt. Eventuell lässt sich von daher im Sinne einer Proxy die Bedeutung des Pflanzenschutzes am landwirtschaftlichen Energieeinsatz hierzulande, wie schon bei der Bedeutung der mineralischen Düngemittel, am ehesten mit Tuomisto et al. (2012b) zusammenfassen, wonach im europäischen Pflanzenbau mit ca. 5 % zu rechnen ist.

Es wird deutlich, dass der Energieeinsatz für ein System „Landwirtschaft“ im Allgemeinen gut umrissen werden kann; jedoch sind viele Unsicherheiten bei der Interpretation abzuwägen. In etwa kann der Sachstand aus der Analyse der wissenschaftlichen Literatur wie mit Abbildung 2.1 visualisiert charakterisiert werden.

**Abbildung 2.1: Direkte und indirekte Energieinputs in die Landwirtschaft und die Bedeutung des Pflanzenschutzes beim Energieeinsatz**



Quelle: Eigene Analyse und Darstellung.

## 2.2 Energie als Output landwirtschaftlicher Produktionsprozesse

Wie die Inputs, so sind auch die Outputs, konkret: Pflanzen, Träger von Energie, die in deren Biomasse als Kohlenhydrate, Proteine und Öle gespeichert wird. Die soeben beschriebenen energetischen Inputs in die Pflanzenproduktion bewirken, dass mehr Sonnenenergie in dieser Biomasse gebunden werden kann, als ohne diese Inputs; Pflanzenproduktion geht somit immer einher mit einem Netto-Energiegewinn (FNL, 2010), wenn man von der durch direkte Sonneneinstrahlung bereitgestellten Energie absieht. In der Tat steht Sonnenenergie quasi kostenlos und unendlich zur Verfügung, und nicht verwunderlich ist es deshalb, dass im Zuge der Photosynthese mehr Energie in der Ressource „Pflanze“ gebunden als ihr in Form von direkter und indirekter Energie im landwirtschaftlichen Produktionsprozess zugeführt wird.

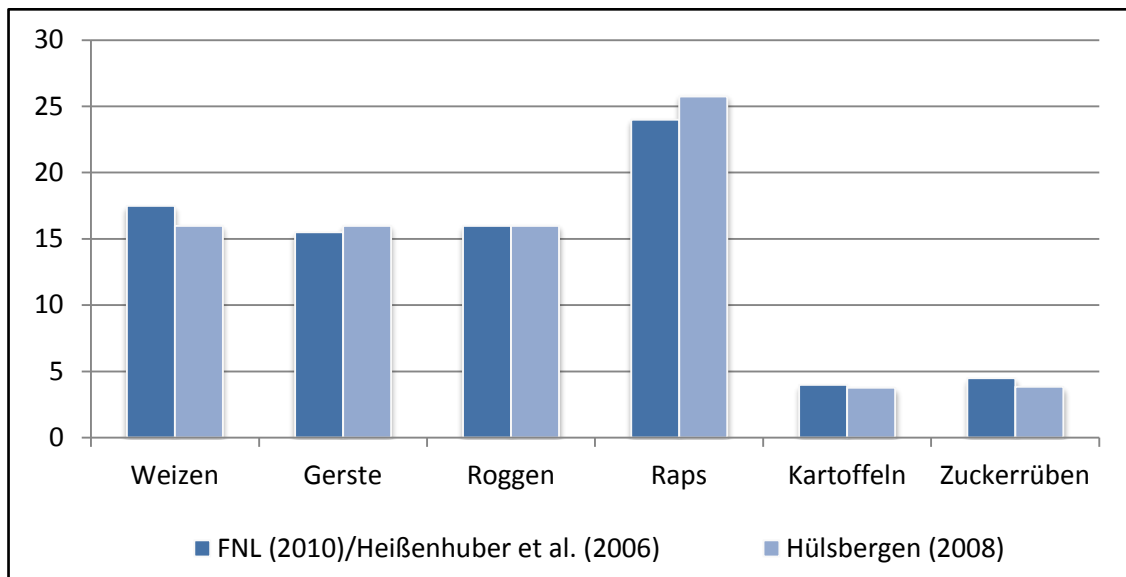
Die konkreten Beobachtungen und Berechnungen zu den Energieoutputs schwanken je nach betrachteter Studie und deren regionalem und kulturartenbezogenem Fokus; sie geben aber immer deutliche Energieüberschüsse landwirtschaftlicher Produktionsverfahren an (vgl. auch Woods et al., 2010). So ist Bertilsson et al. (2008) zufolge der akkumulierte Energiegewinn im Pflanzenbau mindestens sieben bis acht Mal so hoch, wie der entsprechende Energieeinsatz. Andere Autoren setzen den Energiegewinn etwas höher an: Gutsche (2011) z.B. berechnet ein Verhältnis von Energieoutput zu Energieinput in der deutschen Landwirtschaft, das kulturartenspezifisch mindestens bei 8,0 und teilweise deutlich darüber liegt; und FNL (2010) benennt einen Faktor von ca. 11,5.

Der in der pflanzlichen Produktion offensichtlich erzielbare Energieüberschuss gründet auf einer hohen Energiedichte in pflanzlicher Biomasse. Diese wird i.d.R. in Megajoule (MJ)/kg pflanzliches Produkt angegeben und entspricht in etwa folgenden Niveaus:

- Am besten dokumentiert ist das in Getreide, zumal in Weizen, gespeicherte Energieäquivalent. Es beträgt Gutsche (2011) zufolge 18,6 MJ/kg, wobei der Bezugspunkt ungenannt Trockenmasse sein dürfte, denn Hülsbergen (2008) zielt explizit auf diesen Wert ab. Bezogen auf geerntete Frischmasse sind die Niveaus freilich etwas geringer: Heißenhuber et al. (2006) gehen von 15,0 MJ/kg aus; Moreno et al. (2011), Mushtaq et al. (2009) bzw. Küsters und Brentrup (2008) liegen mit 14,6 MJ/kg, 14,7 MJ/kg bzw. 14,9 MJ/kg nur unwesentlich darunter; hingegen weisen Haas (1996) mit 15,7 MJ/kg sowie Rathke und Diepenbrock (2003) mit 16,6 bis 17,6 MJ/kg höhere Werte aus.
- In Bezug auf Raps ergibt sich ein ähnlich leicht differenziertes Bild: Demnach speichert diese Kulturpflanze 24,0 MJ/kg Frischmasse (Heißenhuber et al., 2006) bzw. 28,3 MJ/kg Trockenmasse (Hülsbergen, 2008).

Wieder fällt es schwer, ein uneingeschränkt einheitliches, d.h. standardisiertes Bild zu zeichnen. In etwa dürfte sich der Erkenntnisstand zum erzielbaren Energieoutput aus Ernteprodukten landwirtschaftlicher Produktionsprozesse für ausgewählte Ackerkulturen nach FNL (2010) bzw. Heißenhuber et al. (2006) und Hülsbergen (2008) jedoch wie in Abbildung 2.2 aufgezeigt verallgemeinern lassen. Die beiden zum Vergleich herangezogenen, auf Deutschland bezogenen Datensätze unterscheiden sich nur in Nuancen voneinander.

**Abbildung 2.2: Energiebindung im Ernteertrag ausgewählter Ackerkulturen (in MJ/kg)**



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an FNL (2010) bzw. Heißenhuber et al. (2006) sowie Hülsbergen (2008).

### 3 Erstellung von Energiebilanzen: Methode und Daten

Insgesamt geht es in dieser Studie um die Bedeutung des Pflanzenschutzes für die Energieeffizienz in der deutschen Landwirtschaft. Grundlage für eine solche Bewertung ist in einem ersten Schritt das Erstellen von Energiebilanzen. Eine positive Energiebilanz würde verdeutlichen, dass ein bestimmtes System, hier die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland, grundsätzlich einen Nutzenbeitrag leistet. Für die Bewertung der Effizienz ist es dann in einem zweiten Schritt notwendig, das Energiebindungsvermögen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in Abhängigkeit von der entsprechenden Bewirtschaftungsintensität zu bewerten (vgl. hierzu Rathke und Diepenbrock, 2003). Insgesamt ist das eine umfassende Analyse, die auf verschiedenen Maßzahlen bzw. Indikatoren fußt. Diese sollen im Folgenden klar benannt werden. Es schließt sich eine Charakterisierung der dazu unerlässlichen Daten und ihrer Verfügbarkeit an.

### 3.1 Methodisches Vorgehen und Zielindikatoren der Analyse

Methodisch fußt die folgende Analyse auf einem im Grunde genommen einfachen Kalkulationsansatz, mit dem unterschiedliche Energieinputs und -outputs erfasst und zu Zielindikatoren der Bewertung verrechnet werden. Die Methode lässt sich am besten anhand der einzelnen Indikatoren, ihrer Erfassung bzw. Berechnung und Charakteristik beschreiben. Einen sehr guten allgemeinen Überblick darüber geben u.a. Rathke und Diepenbrock (2003) sowie Pelletier et al. (2011). Die entsprechenden Argumente sollen hier nicht ausführlich und wiederholt dargelegt werden; vielmehr werden die einzelnen genutzten Zielindikatoren nur kurz aber im Wesentlichen umrissen, wobei auf weitere Quellen zur Betonung des Standards der hier gewählten Methode verwiesen wird.

Zunächst gilt es, den *Energieinput (E)* in landwirtschaftliche Produktionsprozesse zu bestimmen. Dieser Input wird – wie schon weiter oben angedeutet – in den allermeisten Fällen als die Summe aus direktem und indirektem Energieinput verstanden (vgl. u.a. Fischer, 1999; Mack et al., 2007). Zum *direkten Energieinput (E<sub>D</sub>)* des Pflanzenbaus werden im Allgemeinen Diesel und Benzin, Schmierstoffe und ggf. Heizöl sowie Strom gezählt (vgl. auch Fischer, 1999; Klepper, 2011; Mack et al., 2007; Moitzi und Boxberger, 2011). Im Ackerbau fallen diese direkten Energieinputs insbesondere bei der Bodenbearbeitung, beim Transport und der Ausbringung von verschiedenen Inputfaktoren auf die Ackerfläche sowie bei der Ernte und dem Abtransport des geernteten Gutes von der Bewirtschaftungsfläche an (vgl. u.a. Dalgaard et al., 2001). Hinzu kommen die *indirekten Energieinputs (E<sub>I</sub>)*: Im Pflanzenbau sind das vor allem Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmittel, inklusive Kalk, und Maschinen, z.T. aber auch Gebäude (vgl. wiederum Dalgaard et al., 2001; Mack et al., 2007; Moitzi und Boxberger, 2011).

Dem Energieinput gegenüber gestellt wird der *Energieoutput (EO)*. Dieser wird in den allermeisten Fällen auf marktfähige Produkte bezogen, also im Wesentlichen auf das Erntegut (vgl. u.a. Moitzi und Boxberger, 2011; Moreno et al., 2011). Bewertet wird der Energieoutput i.d.R. zum Brennwert (siehe Moitzi und Boxberger, 2011; Quirin et al., 2004). In einigen Analysen wird neben den Haupternteprodukten zusätzlich aber auch auf Nebenprodukte, wie z.B. Stroh, abgezielt (vgl. u.a. Küsters und Brentrup, 2008; 2009; Gutsche, 2011).

Diese unterschiedlichen Energieinputs und Energieoutputs sind in der folgenden Abbildung 3.1 noch einmal zusammengefasst benannt. Die Komplexität der Erfassung von Energieströmen vor der eigentlichen Bewertung der Energieeffizienz wird deutlich. Alle Werte für diese Basisindikatoren der eigentlichen Analyse werden dabei zumeist in MJ oder GJ je ha Ackerfläche bzw. Grünlandfläche ermittelt.



**Abbildung 3.1: Energieinputs und Energieoutputs im Pflanzenbau**

<b>Energieinputs (E)</b>	
<i>Direkte Energieinputs (E<sub>D</sub>)</i>	<i>Indirekte Energieinputs (E<sub>I</sub>)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel/Benzin</li> <li>• Schmierstoffe</li> <li>• Elektrizität/Strom</li> <li>• (Heizöl/Gas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saat- und Pflanzgut</li> <li>• Düngemittel (mineralische und organische)</li> <li>• Pflanzenschutzmittel</li> <li>• landwirtschaftliche Maschinen (und Gebäude)</li> </ul>
<b>Energieoutputs (EO)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• in marktfähigen bzw. Hauptprodukten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ggf. in Neben- bzw. Koppelprodukten</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fischer (1999), Klepper (2011), Moitzi und Boxberger (2011), Quirin et al. (2004) sowie Rathke und Diepenbrock (2003).

Bereits mit diesen Kennzahlen werden oft Vor- und Nachteile einzelner Anbaumethoden diskutiert. Im Vordergrund steht dabei insbesondere der Energieeinsatz je Flächeneinheit: Wenn weniger Energie je ha benötigt werden würde, wäre ein Verfahren dieser Logik zufolge vorteilhafter gegenüber einem, das mehr Energie je Flächeneinheit verbraucht. Vor dem Hintergrund einer auf absolute Energieverbräuche bzw. -einsparungen fokussierten gesellschaftlichen Diskussion ist eine solche Bewertung auch nicht verwunderlich; allein ist zu fragen, ob diese primäre und oberflächliche Parametrisierung für eine überlegte Bilanzierung und gründliche Effizienzbetrachtung sinnvoll ist.

Energie im landwirtschaftlichen Produktionsprozess sinnvoll zu nutzen, kann ökonomisch, technisch und wissenschaftlich als ein Maximierungsproblem angesehen werden: Im Pflanzenbau geht es aus energetischer Perspektive darum, die Transformation von Sonnenenergie in nutzbare pflanzliche energiespeichernde Produkte zu maximieren (vgl. auch Pelletier et al, 2011). Vor diesem Hintergrund sind nicht die einzelnen Energieflüsse in das System und aus dem System Landwirtschaft relevant, sondern andere, sich daraus ableitende Kennzahlen der Effizienz. Die zentralen Größen im wissenschaftlichen Diskurs sind die drei folgenden Zielindikatoren:

- Den Bilanzierungsgedanken aufgreifend ist für Deike et al. (2010) der *Energiegewinn (EG)* ein erster zentraler Zielindikator. Diese Kennzahl wird auch als Netto-Energieertrag bezeichnet (Heißenhuber et al., 2006; Rathke und Diepenbrock, 2003) und als Differenz von Energieoutput und Energieinput ( $EG = EO - E_D - E_I$ ) ermittelt. Je größer der Energiegewinn ist, also je höher der Überschuss gespeicherter Energie gegenüber dem Energieeinsatz ausfällt,

desto vorteilhafter ist ein Verfahren. Wie Energieinput und Energieoutput wird diese Kennzahl i.d.R. in MJ oder GJ je ha ausgewiesen, kann aber auch grundsätzlich je Produkteinheit definiert werden. Letztendlich bestimmt dieser Indikator die Netto-Bereitstellung von Energie des Systems „Pflanzen- bzw. Ackerbau“ für andere landwirtschaftliche (z.B. Tierhaltung) und nicht-landwirtschaftliche (z.B. Lebensmittelwirtschaft, Energiewirtschaft) Systeme.

- Moitzi und Boxberger (2011) sowie Moreno et al. (2011) bezeichnen das Verhältnis von Energieoutput zu Energieinput als den zentralen Indikator der Effizienzanalyse. Das Output-/Input-Verhältnis entspricht dem Quotienten beider Ausgangsparameter und wird als *Energieproduktivität (EP)* (Moitzi und Boxberger, 2011) bzw. auch als „energy return on investment“ (Pelletier et al., 2011) bezeichnet. Gerade die letztgenannte Begrifflichkeit zeigt Ähnlichkeiten zu dem zentralen Bewertungsparameter der in der Ökonomie gebräuchlichen Kosten-Nutzen-Analyse auf, was aus Sicht der Wirtschaftswissenschaften die herausgehobene Stellung dieses Zielindikators nur unterstreicht. Grundsätzlich ergibt sich für die Bemessung der Energieproduktivität aus der zugrunde liegenden Verhältnisbetrachtung ( $EP = EO / (E_D + E_I)$ ) ein dimensionsloser Faktor, der im Falle von  $EP > 1,0$  Effizienz symbolisiert. Ein Verfahren ist demnach umso effizienter, je höher die Energieproduktivität ausfällt. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die Energieproduktivität eher selten aber mitunter – analog zur Flächen- bzw. Arbeitsproduktivität – auch als das Verhältnis von Produktmenge zu der bei deren Erzeugung eingesetzter Energie verstanden wird, und dann in kg/MJ oder t/GJ gemessen werden kann (vgl. Moreno et al., 2011; Scholz, 1993). Dieser Ansatz wird hier jedoch nicht weiter verfolgt.
- Schließlich ist die *Energieintensität (EI)* als wichtiger Parameter zu benennen (vgl. u.a. Deike et al., 2010; Schneider und Smith, 2009). Die Energieintensität entspricht nach Rathke und Diepenbrock (2003) dem Einsatz von Energie je Produkteinheit und wird i.d.R. in MJ/kg oder GJ/t angegeben. Zu Vergleichs- und Aggregationszwecken finden sich auch Angaben in MJ oder GJ je Getreideeinheit (GE). Im eigentlichen Sinn ist die Definition als Energieintensität ( $EI = (E_D + E_I) / GE$ ) damit eine Fehlinterpretation in begrifflicher Hinsicht, da eine Intensität immer das Verhältnis zweier Inputfaktoren zueinander ausdrückt (vgl. Kirschke et al., 2011) und nicht das Verhältnis eines Inputfaktors zu einem Outputfaktor, was eigentlich streng definiert einer reziproken Produktivität entspricht. Von einer solchen veränderten, eigentlich richtigen Begrifflichkeit soll hier jedoch abgesehen werden, um eine bessere Vergleichbarkeit und Einordnung eigener Ergebnisse mit dem bekannten Wissenschaftskanon zur Analyse der Energieeffizienz nicht zu erschweren. Es gilt im Folgenden: Je kleiner die Energieintensität, gemessen in MJ/kg, desto

besser ist ein Verfahren der Erzeugung einer bestimmten Kulturpflanze im Zuge der Bewertung der Energieeffizienz einzuschätzen.

Festgehalten werden soll an dieser Stelle: Energiegewinn, Energieproduktivität und Energieintensität stellen die drei zentralen Zielindikatoren der nun folgenden Analyse dar, wie es u.a. auch Deike et al. (2010) sowie Schmid et al. (2012) fordern. Dabei muss aber immer klar benannt werden, welchen Indikator man zu welchem Zeitpunkt genau betrachtet, denn die Aussagekraft der einzelnen Indikatoren ist unterschiedlich. Die Betrachtung des Energiegewinns ermöglicht eher zielgerichtete Aussagen, inwieweit man mit einem bestimmten Anbausystem der Maximierung der Netto-Umwandlung von Sonnenenergie oder damit einer eher ökonomischen Nachhaltigkeit und Effizienz nahe kommt (vgl. FNL, 2010); die Zielindikatoren der Energieproduktivität und Energieintensität zielen dann vielmehr auf die ökologische Nachhaltigkeit und Effizienz ab (vgl. Rathke und Diepenbrock, 2003).

### **3.2 Datenverfügbarkeit und Datenqualität für die Analyse**

Der methodische Rahmen und die Basisindikatoren Energieinput und Energieoutput sind mit Daten zu füllen. Solche Daten können für ganz spezifische Fragestellungen umfangreich durch entsprechende ressourcenaufwändige Versuchsanordnungen erhoben werden (vgl. Hülsbergen und Schmid, 2013; Rahmann, 2012). Hier geht es aber um relativ komplexe und deutschlandweite Systemvergleiche, die mit begrenztem Ressourcenaufwand möglich sein müssen. Dazu werden Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur herangezogen, bewertet und im Sinne der eigenen Analyse verdichtet.

Das bereits im Kapitel 2 dieser Studie aufgezeigte Spektrum zu den verschiedenen, i.d.R. recht hoch aggregierten Energieinputs und den einzelnen Energieoutputs je Kulturart verdeutlicht bereits teilweise enorme Schwankungsbreiten der Energiegehalte und damit Unsicherheiten in der Bewertung. Bestehende Unterschiede in der Bewertung von Energieinhalten wird man also nicht negieren können, gleichwohl sollten die aus dieser Unsicherheit resultierenden Auswirkungen auf die Verlässlichkeit der zu erzielenden Ergebnisse, d.h. deren Nachprüfbarkeit und Vergleichbarkeit, minimiert werden. Dies zu gewährleisten, erfordert eine Bestandsaufnahme und Transparenz im Detail.

Zunächst sollen nun die in der wissenschaftlichen Literatur gefundenen Energieäquivalente für ausgewählte spezifische Inputfaktoren aufgezeigt und für die eigene Analyse nutzbar gemacht werden. Die folgende Abbildung 3.2 zeigt diese aus ca. 25 Literaturquellen stammenden Daten zu Energieäquivalenten auf und

verdeutlicht noch einmal die mit der konkreten Analyse offensichtlich verbundene Unsicherheit.

**Abbildung 3.2: Ergebnisse einer Meta-Analyse zu Energieäquivalenten für ausgewählte Inputfaktoren des Pflanzenbaus**

Inputfaktor	Einheit	Minimum	Maximum
<b>Direkte Energie</b>			
Diesel	MJ/l	35,9	56,4
Schmierstoffe	MJ/l	43,2	54,0
Elektroenergie	MJ/kWh	11,0	11,4
<b>Indirekte Energie</b>			
Pflanzenschutzmittel			
• Herbizide	MJ/kg	70,0	550,0
• Fungizide	MJ/kg	61,0	423,0
• Insektizide	MJ/kg	58,0	580,0
Düngemittel			
• N	MJ/kg	35,0	80,0
• P	MJ/kg	4,8	41,0
• K	MJ/kg	3,1	12,7
• Ca	MJ/kg	1,7	3,8
Weitere Betriebsmittel			
• Saatgut (Weizen)	MJ/kg	3,0	4,5
• Maschinen	MJ/kg	9,0	108,0

Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis von Daten und Informationen nach Barber (2004), Bertilsson et al. (2008), Boxberger und Moitzi (2008), Küsters und Brentrup (2008; 2009), Claus et al. (2011), Dalgaard et al. (2001), Deike et al. (2010), Fischer (1999), FNL (2010), Flachowski und Meyer (2008), Gutsche (2011), Guzman und Alonso (2008), Hülsbergen (2008), Lillywhite et al. (2007), LKV (2011), Mack et al. (2007), Moitzi und Boxberger (2011), Moreno et al. (2011), Mushtaq et al. (2009), Quirin et al. (2004), Saling und Kölsch (2008), Schneider und Smith (2009) sowie Woods et al. (2010).

Das grundlegende Dilemma wird deutlich: Selbst bei weitgehend standardisierten Erzeugnissen wie Diesel oder Elektroenergie gibt es z.T. recht unterschiedliche Einschätzungen zum Energiegehalt der einzelnen Betriebsmittel. Über die Ursachen soll und kann hier nicht spekuliert werden: Offensichtlich ist aber, dass in einigen Fällen spezifische Energiegehalte (z.B. einzelner Düngemittel) auf die Gesamtgruppe übertragen wurden, und es wurden augenscheinlich, aber nicht

explizit genannt, in Einzelfällen auch Energiegehalte je kg Wirkstoff (z.B. von Phosphaten) auf einzelne chemische Elemente (z.B. Phosphor) bezogen.

Für die eigene Analyse ist es nun wichtig, den Einsatz von Energie in den Betriebsmitteln der Landwirtschaft zu benennen. Dabei ist auf möglichst akkurate, nachprüfbare Daten Wert zu legen (vgl. Dalgaard et al., 2001; Hülsbergen, 2008; Moitzi und Boxberger, 2011). Nur so kann in Bezug auf die resultierenden Wirkungen eine richtige Einordnung der Ergebnisse erfolgen und eine Fehlinterpretation vermieden werden. Im Folgenden beruht die Erfassung auf in der wissenschaftlichen Literatur, zumal für Deutschland, hinterlegten Richtwerten, die für folgende wichtige Betriebsmittel explizit genannt seien:

- Diesel wird mit einem Energieäquivalent von 39,6 MJ/l bewertet. Deike et al. (2010) nutzen diesen Wert ebenso wie Hülsbergen (2008) und auch Moitzi und Boxberger (2011); ähnlich argumentiert zudem FNL (2010). Energiebedarfe für Schmieröle werden mit 5 % des Energiebedarfs für Diesel angesetzt: Fischer (1999) hält einen Prozentsatz von 2 % für ausreichend; Dalgaard et al. (2001) gehen von unter 10 % aus. Der eigene Wert kann als gemittelte Proxy dieser beiden Angaben verstanden werden.
- Mineralische Düngemittel werden mit Energieäquivalenten bewertet, die eher am unteren Rand des in Abbildung 3.2 aufgezeigten Spektrums liegen. Die Bemessung eines sinnvollen Äquivalents für Stickstoffdünger sowie mineralische Düngemittel auf Phosphor- und Kali-Basis, und auch für Kalk, ist in der Tat nicht einfach; viel hängt von dem tatsächlich verwendeten Produkt ab. So lassen sich in „durchschnittlichen“ europäischen Anlagen einerseits Stickstoffdünger auf Ammoniumnitrat-Harnstoff-Basis produzieren, die ca. 50 MJ/kg Stickstoff benötigen; ein ganz wesentlicher Baustein der Stickstoffdüngerproduktion – Salpetersäure – wird andererseits hierzulande durchschnittlich schon mit einem Energiegewinn(!) in Höhe von 7 MJ/kg Stickstoff produziert (Brentrup und Küsters, 2008). Die konkrete Wahl eines Wertes von 35,3 MJ/kg Stickstoff für die eigene Analyse kann von daher vielleicht sogar als konservativ angesehen werden, orientiert sich aber an den Bemessungsgrundlagen, wie sie durch Deike et al. (2010) und Hülsbergen (2008) benannt und mit den Untersuchungen bzw. Angaben von Claus et al. (2011), FNL (2010) und LKV (2011) gestützt werden. Die Bemessungsgrundlagen in LKV (2011) wurden zudem für Phosphate, Kali und Kalk genutzt. Insgesamt werden mit den getroffenen Konventionen wichtige technologische, auf Energieeffizienz abzielende Weiterentwicklungen in der Herstellung moderner mineralischer Düngemittel realistisch abgebildet (vgl. hierzu auch Kapitel 5).
- Wie bei den Düngemitteln hängt auch bei den Pflanzenschutzmitteln hinsichtlich der hier anzusetzenden Energieäquivalente sehr viel von dem tatsächlich

ausgebrachten Wirkstoff ab (eine ausführliche Darstellung zu einzelnen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen findet sich u.a. in Audsley et al., 2009). Die hier genutzten und auf Deutschland insgesamt bezogenen durchschnittlichen Werte für Herbizide, Fungizide und Insektizide wurden zuvorderst Saling und Kölsch (2008) entnommen und stellen sich wie folgt dar: Herbizide werden mit durchschnittlich 259 MJ/kg Wirkstoff bewertet; bei Fungiziden sind es 177 MJ/kg und bei Insektiziden werden 237 MJ/kg genutzt. Die meisten anderen Autoren nutzen für Herbizide (288 MJ/kg) und Fungizide (196 MJ/kg) etwas höhere Werte, die allesamt auf eine Arbeit von Green (1987) zurückgehen. Die Ergebnisse der aktuelleren Meta-Analyse in Saling und Kölsch (2008) erscheinen realistischer, zumal Audsley et al. (2009) ebenfalls für eine Abkehr von den veralteten, aber noch häufig gebrauchten Werten nach Green (1987) plädieren.

- Hinzuweisen ist ferner auf die angesetzten Energieäquivalente für Saatgut. Hierzu konnten keine allumfassenden Angaben gefunden werden. Genutzt wurden 3,8 MJ/kg für Weizen, 3,4 MJ/kg für anderes Getreide, 1,3 MJ/kg für Kartoffeln und 7,7 MJ/kg für Raps (vgl. Claus et al., 2011; FNL, 2010; Moerschner und Gerowitt, 1998; Quirin et al., 2004). Für Zuckerrüben wurden Angaben nach Reineke und Stockfisch (2011) verwendet und auf die im Zuckerrübenanbau relevante Saatgutmenge nach KTBL (2012), ausgewiesen in der Einheit „u“, bezogen. Alle Werte liegen innerhalb der von Hülsbergen (2008) sowie Moitzi und Boxberger (2011) genannten Spannweite.
- Schließlich ist auf die Bewertung des Maschineneinsatzes einzugehen. Hier sind die aufgezeigten Unterschiede der Literaturangaben besonders groß (vgl. Abbildung 3.2). Einige Autoren, z.B. Moitzi und Boxberger (2011), meinen, die energetische Bewertung des Maschineneinsatzes könne ob der langen Nutzungsdauer von vielen landwirtschaftlichen Maschinen in der Energiebilanzierung vernachlässigt werden. Hier wird in Ermangelung nach FNL (2010) jedoch mit einem durchschnittlichen Energiebedarf je ha Weizen von 1,2 GJ gerechnet; dieser Einsatz wird für die anderen berücksichtigten Ackerkulturen im Verhältnis zum Maschinenbedarf, wie er sich kulturartenspezifisch aus KTBL (2012) ergibt, angepasst.

Eine Festlegung auf die zu nutzenden Energieäquivalente der Outputs fällt hingegen leichter, denn die Abbildung 2.2 zeigt weiter vorn ein recht einheitliches Bild auf. Genutzt werden im Folgenden die Mittelwerte der jeweils beiden dort ausgewiesenen Datenausprägungen für die einzelnen Ackerkulturen.

Grundsätzlich werden, da es sich im Folgenden um eine Durchschnittsbetrachtung für Deutschland handelt, alle Verfahren des Pflanzenbaus genormt: Es werden Berechnungen entsprechend den aktuellen und auf breitem Expertenwissen

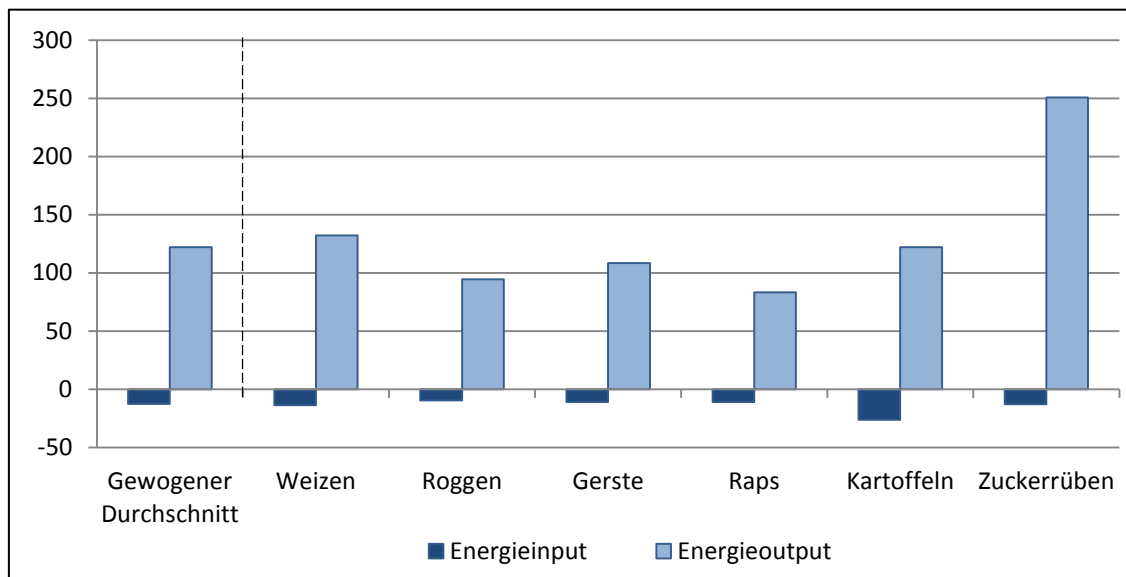
beruhenden Planungsvorgaben aus KTBL (2012) vorgenommen. Die Kalkulationen beruhen in den Szenarien immer auf gleichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Flächengröße, von Bodeneigenschaften, der genutzten Motorisierung und in Bezug auf die Hof-Feld-Entfernung. Dieses Vorgehen garantiert ein besonders hohes Maß der Vergleichbarkeit und Einordnung der erzielten Ergebnisse. Alle getroffenen Annahmen und Konventionen wurden zudem einem Stresstest unterzogen; verglichen wurde mit weiteren standardisierten Datenbanken und umfassenden Studien (z.B. Ecoinvent, 2013; Kern et al.; 2012)

## **4 Energieeffizienz und Pflanzenschutz für den Ackerbau in Deutschland**

Im Rahmen des Projekts zu der gesamtgesellschaftlichen Bedeutung des chemischen Pflanzenschutzes in Deutschland wurden in den ersten drei Teilstudien jeweils zwei unterschiedliche Szenarien für verschiedene Pflanzenschutzmanagements betrachtet und analysiert. Zum einen wurde in einem Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ der Frage nachgegangen, welche Konsequenzen aus einem Nicht-Einsatz Pilze bekämpfender Pflanzenschutzmittel resultieren würden; zum anderen wurden mit einem Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ verschiedene Wirkungen des Gesamtkonzepts chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes in Deutschland hinterfragt. Beide Szenarien sollen auch hier wieder zur Anwendung kommen, d.h. mit dem Status quo verglichen werden.

Dieser Status quo ist zunächst zu beschreiben. Abbildung 4.1 zeigt auf, welche Energieinputs und Energieoutputs für verschiedene konventionelle Verfahren des Ackerbaus in Deutschland den in Kapitel 3 diskutierten Methoden, Daten und Planungsgrundlagen zufolge realisiert werden. Es zeigt sich im (gewogenen) Durchschnitt über alle hier analysierbaren Kulturpflanzen (zur Auswahl der Kulturpflanzen für die Analyse vgl. noch einmal von Witzke und Noleppa, 2011), die etwa zwei Drittel der Ackerfläche in Deutschland belegen, dass einem Energieinput von etwas mehr als 12 GJ/ha ein Energieoutput von nahezu 122 GJ/ha gegenüber steht. Mithin ergibt sich netto ein Energiegewinn von fast 110 GJ/ha, und der Faktor für die Energieproduktivität beträgt durchschnittlich 9,8. Grundsätzlich bewegen sich diese Werte damit innerhalb der oben skizzierten Spannen nach Heißenhuber (2008), der von einem durchschnittlichen Energieeinsatz zwischen 10 und 15 GJ/ha im Ackerbau Deutschlands ausgeht, bzw. nach Gutsche (2011) und FNL (2010), die für die Energieproduktivität in etwa ein Intervall zwischen 8,0 und 11,5 als realistisch einschätzen.

**Abbildung 4.1: Energieinputs und Energieoutputs im Ackerbau Deutschlands (in GJ/ha)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Die eigenen auf den Durchschnitt bezogenen Berechnungsergebnisse unterstreichen damit zunächst einmal die Robustheit des gewählten methodischen Ansatzes und die Zuverlässigkeit der konkreten genutzten Daten. Die ermittelten Niveaus der drei Zielindikatoren der Analyse zur Bemessung der Energieeffizienz können zusätzlich der Abbildung 4.2 entnommen werden.

**Abbildung 4.2: Niveaus der Zielindikatoren für die Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands (alle Angaben auf ha-Basis)**

Ackerkultur	Energiegewinn (in GJ/ha)	Energieproduktivität (Ratio)	Energieintensität (in MJ/kg)
<i>Gewogener Durchschnitt</i>	<i>109,5</i>	<i>9,8</i>	<i>k.A.</i>
Weizen	118,6	9,7	1,72
Roggen	85,0	9,9	1,62
Gerste	97,7	10,0	1,57
Raps	72,5	7,7	3,23
Kartoffeln	149,0	6,7	0,58
Zuckerrüben	237,9	19,5	0,21

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.



Im Kontext der Studie interessant zu erwähnen ist schließlich, dass sich der Anteil der Pflanzenschutzmittel am gesamten Energieinput zwischen etwas mehr als 4 % (Gerste) und 10 % (Zuckerrüben) bewegt und im Durchschnitt 5,3 % beträgt; auch das stimmt mit den Erwartungen entsprechend der vorangestellten Literaturanalyse grundsätzlich überein.

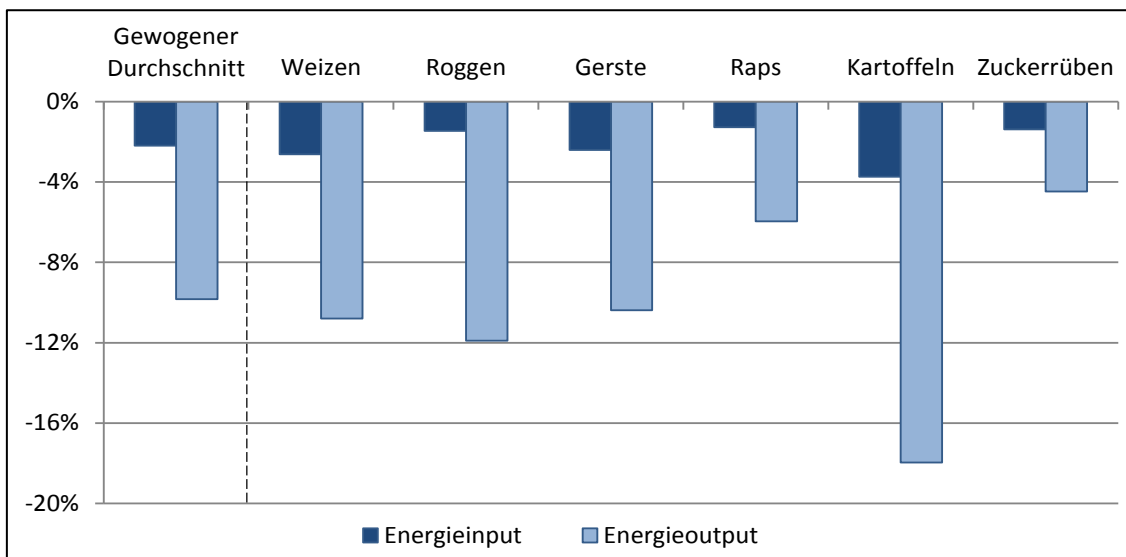
#### **4.1 Energieeffizienz und der Einsatz von Fungiziden in der deutschen Landwirtschaft**

Mit dem Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ wird – ausgehend von dem soeben aufgezeigten Status quo – untersucht, welche Wirkungen der Wegfall des Einsatzes von Fungiziden in der deutschen Landwirtschaft haben würde. In Bezug auf den Energieeinsatz werden die konkreten Aufwandmengen für den Einsatz der entsprechenden Pflanzenschutzmittel (Energieäquivalente der Fungizide sowie der für deren Ausbringung erforderlichen Betriebsmittel: Diesel und Maschinen) aus dem Bewertungskalkül gestrichen; und hinsichtlich des Energieoutputs werden relative Ertragsunterschiede, wie sie bereits in von Witzke und Noleppa (2011) auf der Basis einer Vielzahl von Sortenversuchen abgeleitet wurden, berücksichtigt. Alle anderen Kalkulationsparameter bleiben in diesem Szenario unverändert.

Bei der Analyse fällt zunächst auf, dass sich der Energieeinsatz je Flächeneinheit nur unwesentlich verändert, wie Abbildung 4.3 deutlich macht. Der Energieeinsatz geht im gewogenen Durchschnitt lediglich um 2,2 % zurück; kulturartenspezifisch variiert dieser Rückgang zwischen 1,3 % (Raps) und 3,7 % (Kartoffeln). Das unterstreicht die in der Tat eher marginale Bedeutung des Pflanzenschutzes (hier konkret der Fungizide) für den Energieverbrauch im Pflanzenbau.

Die Abbildung 4.3 macht aber gleichzeitig deutlich, dass ein Wegfall der Fungizide den Energieoutput des Ackerbaus in Deutschland massiv verschlechtern würde, nämlich um durchschnittlich 9,8 % bei Einzelwerten von 4,5 % (Zuckerrüben) bis 18,0 % (Kartoffeln), was natürlich zuvorderst in der kulturartenspezifischen Anwendungshäufigkeit und den potenziellen Ertragsausfällen bei Wegfall der Fungizide begründet liegt.

**Abbildung 4.3: Änderung des Energieinputs und Energieoutputs je ha im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in %)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Insgesamt ist also im Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ der relative und damit der absolute Verlust an Energiespeicherung und -bereitstellung durch die konkreten ackerbaulichen Produktionsverfahren größer als der Gewinn an relativ und absolut eingesparter Energie durch Wegfall von Fungiziden. Die Energiebilanz und damit auch die Energieeffizienz verschlechtern sich. Abbildung 4.4 zeigt die prozentualen Veränderungen der drei Zielindikatoren der Analyse, gemessen an den Werten, wie sie Abbildung 4.2 entnommen werden können an.

**Abbildung 4.4: Änderungen des Niveaus der Zielindikatoren der Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in %)**

Ackerkultur	$\Delta$ Energiegewinn	$\Delta$ Energieproduktivität	$\Delta$ Energieintensität
<i>Gewogener Durchschnitt</i>	-10,8	-7,8	<i>k.A.</i>
Weizen	-11,7	-8,4	9,2
Roggen	-13,1	-10,6	11,9
Gerste	-11,3	-8,2	8,9
Raps	-6,7	-4,8	5,0
Kartoffeln	-20,4	-14,8	17,3
Zuckerrüben	-4,6	-3,1	3,2

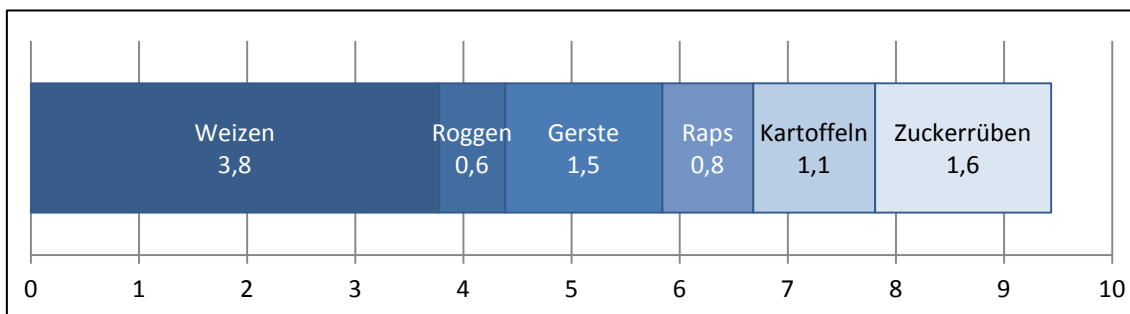
Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Der Energiegewinn aus ackerbaulichen Produktionsverfahren würde in Deutschland um mehr als 10 % zurückgehen, wenn auf den Einsatz von Fungiziden verzichtet werden würde. Das entspricht einem Rückgang der Energieproduktivität, also dem Ertrag an Energie je eingesetzter Einheit Energie, von fast 8 %. Die Energieintensität, also der Einsatz an Energie je produzierter Einheit pflanzlichen Marktprodukts, würde demzufolge zunehmen, mit relativ großen Unterschieden je Kulturart.

Hinter den abstrakten Werten in Abbildung 4.4 stehen konkrete Energiemengen, die angesichts der aktuellen energiepolitischen Debatte eingeordnet und verglichen werden können. Diese politische und öffentliche Debatte fokussiert vor allem auf zwei Aspekte (vgl. Bleser, 2013): Einsparung von Energie und Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Energiemix, insbesondere auch auf der Basis von Biomasse als einzig verfügbarem Träger, der flexibel einsetzbar, weil relativ kostengünstig speicherbar ist. Ein Wegfall von Fungiziden würde den zu beschreibenden Weg einer „Energiewende“ erschweren, und das aus zweierlei Sicht.

Zunächst einmal kann gefragt werden, wie viel Energie man alternativ in Form anderer Produktionsfaktoren einsetzen müsste, um den Verlust an landwirtschaftlicher Produktion bei Wegfall von Fungiziden auszugleichen. Die Maßzahl der Energieintensität in MJ/kg weist hierfür den Weg. Statt 1,72 MJ/kg müssten bspw. in der Weizenproduktion 1,88 MJ/kg, also 0,16 MJ/kg Weizen mehr aufgewendet werden. Die entsprechenden Energiemengen für Weizen und die anderen hier betrachteten Produkte können aufsummiert werden und ergeben bei Berücksichtigung der Ernteergebnisse der letzten drei Jahre (vgl. BMELV, 2012; 2013) einen potenziellen zusätzlichen Energieeinsatz im Ackerbau von fast 10 Mio. GJ, wie Abbildung 4.5 verdeutlicht.

**Abbildung 4.5: Zusätzlicher Energieinput zur Kompensation von Rückgängen in der Produktion im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ (in Mio. GJ)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

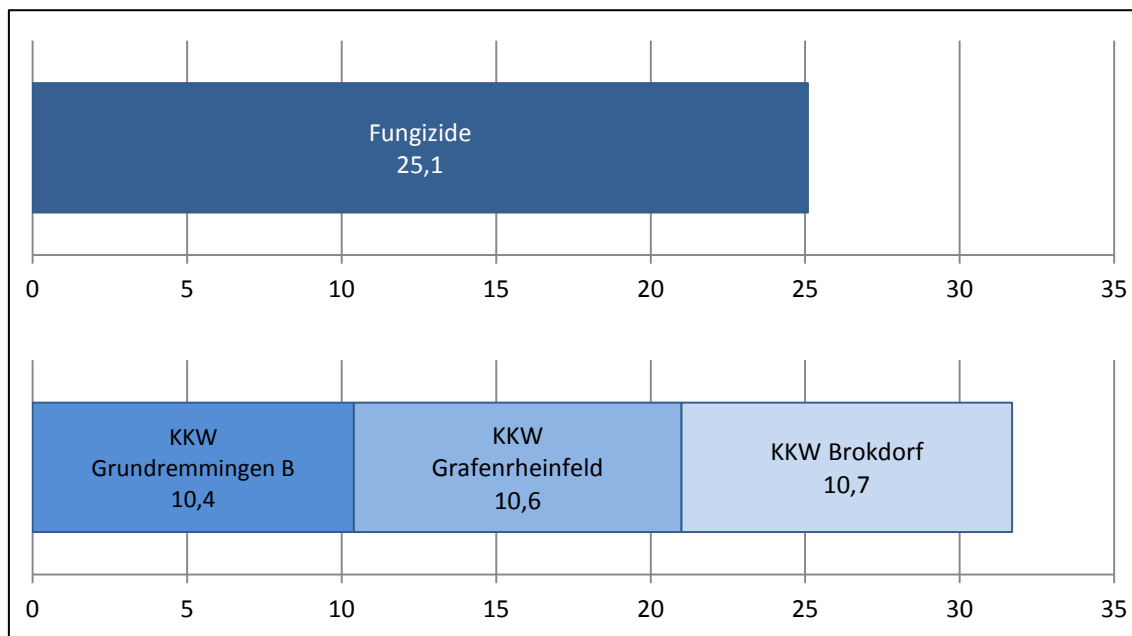
Die ausgewiesene Energiemenge entspricht in etwa 2,6 Mrd. Kilowattstunden (kWh) oder anders gesagt: Ein Atomkraftwerk mit einer Nennleistung von 1 400 Megawatt (MW) müsste 78 Tage Volllast(!) fahren, um diese zusätzlich benötigte Menge zur Verfügung zu stellen.

Das entworfene Szenario ist freilich in der Praxis unrealistisch; die verloren gegangene Produktionsmenge in Deutschland zu produzieren, hätte nämlich auch zur Folge, mehr Land für ackerbauliche Zwecke zur Verfügung zu stellen, das Deutschland nicht hat (vgl. von Witzke und Noleppa, 2012). Als Optionen verbleiben, mehr Land außerhalb der eigenen Grenzen in Anspruch zu nehmen (vgl. hierzu Kapitel 5) oder auf die Produktion und damit auf die Bereitstellung von Energie aus Biomasse zu verzichten.

Letztgenannter Aspekt soll vor dem Hintergrund der geführten gesellschaftlichen „Energiewende“-Diskussion akzentuiert werden, indem der Energiegehalt der durch Fungizide insgesamt zusätzlich bereitgestellten Biomasse mit der numerisch bereitgestellten Energie verschiedener anderer Energieträger verglichen wird. Hinzuweisen ist dabei auf den allein illustrativen Zweck, der insbesondere von der konkreten Verwendung und damit dem Wirkungsgrad der angesprochenen Energieformen abstrahiert: In der Tat hängt die tatsächliche Nutzung von per se zur Verfügung stehender Energie von vielen Faktoren innerhalb hoch-komplexer technischer Prozesse der Energiewirtschaft und nicht minder komplexer natürlicher Prozesse ab:

- Durch den Einsatz von Fungiziden im Ackerbau Deutschlands wird enorm viel Energie in Form von Biomasse zur Verwendung als Nahrungs- und Futtermittel und/oder für die Bioenergiewirtschaft zur Verfügung gestellt: Allein bei Weizen werden durch die Anwendung von Fungiziden 45 Mio. GJ zusätzlich bereitgestellt; insgesamt sind es über 90 Mio. GJ.
- Diese mehr als 90 Mio. GJ in Form zusätzlich nutzbarer Biomasse entsprechen über 25 Mio. Megawattstunden (MWh). Die noch verbliebenen deutschen Atomkraftwerke haben im Jahr 2012 knapp 100 Mio. MWh Energie, insbesondere in Form von Strom, bereitgestellt (VGB Powertech, 2013). Damit entspricht die numerische Energiebereitstellung der Fungizide in Form von Biomasse in etwa 25 % der Jahresleistung deutscher Atomkraftwerke bzw. der abgerufenen Leistung von mindestens zweieinhalb Atomkraftwerken, wie sie heute noch in Betrieb sind. Abbildung 4.6 visualisiert diesen potenziellen Beitrag der Fungizide zur „Energieversorgung“, unabhängig von Form und tatsächlicher Verwendung der bereitgestellten Energie.

**Abbildung 4.6: Zusätzliche Bereitstellung von Energie durch Fungizide und Energiebereitstellung deutscher Atomkraftwerke (in Mio. MWh)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung sowie VGB Powertech (2013).

- Noch offensichtlicher wird der potenzielle Beitrag der Fungizide zur Meisterung der mit der „Energiebereitstellung“ in Deutschland verbundenen Herausforderungen, wenn die durch diese chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel zusätzlich erzeugte Energiemenge nicht auf ein Endprodukt der Energiewirtschaft, wie z.B. Strom aus Kernkraft, sondern auf Rohstoffe der Energiewirtschaft bezogen wird. Eine Tonne Steinkohle hat bspw. einen Energiegehalt von 29,3 GJ, bei einer Tonne Erdöl sind es sogar 41,9 GJ. Die eingangs erwähnten 90 Mio. GJ aus jährlich zur Verfügung gestellter Biomasse zusätzlich erzeugter Ackerkulturen für Nahrungs- und Fütterungszwecke etc. entsprechen dann 3,08 Mio. t Steinkohleeinheiten (SKE) bzw. 2,16 Mio. t Öleinheiten endlicher Ressourcen für die Energiewirtschaft. Zum Vergleich: Deutschland fördert noch immer ca. 12 Mio. t Steinkohle bzw. 2,7 Mio. t Öleinheiten aus heimischen Ressourcen, und der Importbedarf unseres Landes liegt derzeit bei über 40 Mio. t SKE bzw. über 90 Mio. t Öleinheiten (DERA, 2012; VDKI, 2012).

## 4.2 Energieeffizienz und die Wahl zwischen konventionellen und ökologischen Anbauverfahren in Deutschland

Die wissenschaftliche Literatur hat sich schon recht umfangreich mit der Frage beschäftigt, inwieweit der ökologische bzw. konventionelle Landbau dem jeweils anderen Anbausystem über- bzw. unterlegen ist, wenn es um Energiebilanzen und Effizienz des Energieeinsatzes in der Landwirtschaft geht. Die geführte wissenschaftliche Diskussion kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Der anfängliche Grundtenor mehrerer Studien ist, dass ökologischer Landbau in dieser Hinsicht „nachhaltiger“ bzw. „effizienter“ sein muss (vgl. u.a. Bertilsson et al., 2008; Hill, 2009; Woods et al., 2010). Zitiert werden in diesem Zusammenhang immer wieder gerne die gleichen grundlegenden Arbeiten, konkret Pimentel (2006) und/oder Zeisemer (2007). Tatsächlich finden sich auch andere Arbeiten, die diese These selten in Gänze, jedoch oft auch nur teilweise unterstützen.
- Eine Extremposition vertreten Moreno et al. (2011), denen zufolge die Energieeffizienz im ökologischen Landbau so groß ist, dass selbst der Energiegewinn, also die Differenz aus Energieoutput und Energieinput, im ökologischen Landbau netto höher als im konventionellen Landbau ist. Dies wird von der weit überwiegenden Anzahl anderer Studien negiert.
- Eigentlich alle Studien weisen aber darauf hin, dass der Energieeinsatz, wie oben als Energieinput je Flächeneinheit definiert, im ökologischen Landbau besser ist (vgl. u.a. Dalgaard et al., 2001; Deike et al., 2010; Klepper, 2011; Schmid et al., 2012).
- Bei der Energieintensität, per Definition also beim Energieeinsatz je Produktmenge, sieht das Bild jedoch uneinheitlicher aus. Tuomisto et al. (2012a) verweisen darauf, dass neben dem Vorteil des ökologischen Landbaus in Bezug auf die Fläche auch ein Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem konventionellen Anbau in Bezug auf das Produkt vorliegt, der im Durchschnitt bei 20 % (niedrigerer Energieintensität) anzusiedeln ist; diese Auffassung wird ebenfalls durch Rahmann et al. (2008) geäußert.
- Rahmann (2012) selbst jedoch korrigierte vor kurzem diese eigene Argumentation, indem er ausführt, dass die bestehenden Vorteile des ökologischen Landbaus in Bezug auf den Energieeinsatz je Flächeneinheit je Produkteinheit (also de facto bezüglich der Energieintensität) marginalisiert werden, eine Erkenntnis, die aktuell durch Hülsbergen und Schmid (2013) bestätigt wurde.

- In der Tat ist interessant, dass gerade in den letzten Jahren vermehrt wissenschaftliche Studien erschienen sind, die den noch vor kurzem in der wissenschaftlichen Literatur breit ausgelegten Energieeffizienzvorteil des ökologischen Landbaus gegenüber dem konventionellen Landbau einschränken oder sogar in sein Gegenteil verkehren. Zu nennen wären z.B. die folgenden Studien: Hülsbergen (2008) sagt aus, dass sich der produktbezogene Energieinput beider Systeme auf nahezu gleichem Niveau abspielt; Moitzi und Boxberger (2011) weisen in ihrer Analyse nach, dass die Energieeinsparungen durch Verzicht auf synthetische mineralische Dünge- und chemische Pflanzenschutzmittel im ökologischen Landbau ausgeglichen werden durch einen erhöhten Energieeinsatz über Kraftstoffe, Maschinen etc.; ähnlich ist die finale Aussage von Schmid et al. (2012), wonach hinsichtlich der Energieeffizienz in toto keine Unterschiede zwischen beiden Anbausystemen auszumachen sind; und auch nach Klepper (2011) verringert sich der Vorsprung des ökologischen Landbaus in Bezug auf den Energieeinsatz je Flächeneinheit und kehrt sich bei einigen Kulturarten sogar in einen Rückstand um.

Die Ursachen für solche unterschiedlichen Interpretationen liegen auf der Hand: Letzten Endes geht es vor allem darum, wie hoch durch die jeweiligen Autoren der Energieeinsatz von mineralischen Düngemitteln und auch chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln einerseits sowie der durch deren Einsatz zusätzlich erbrachte Ertrag andererseits eingeschätzt wird. Vor diesem Hintergrund sollen, analog zum Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“, eigene Berechnungen zum Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ die soeben erbrachte Zusammenfassung wissenschaftlicher Meinungen akzentuieren.

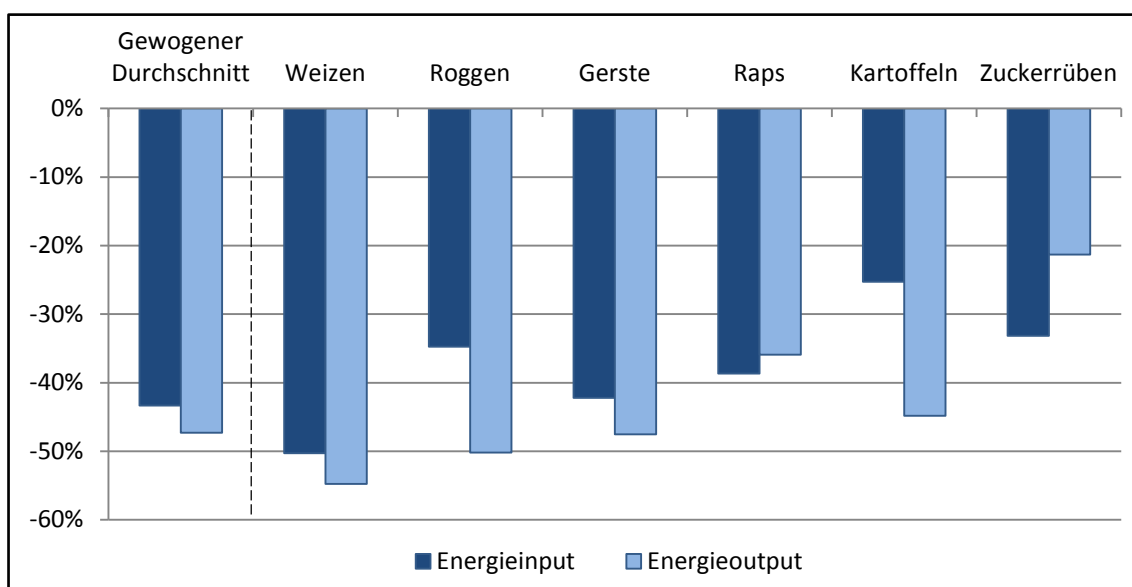
Ausgehend von dem weiter oben aufgezeigten Status quo wird konkret untersucht, welche Wirkungen der Ersatz chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes durch ökologischen Pflanzenschutz infolge einer Konversion vom einen zum anderen Anbausystem in der deutschen Landwirtschaft haben würde. Das konventionelle System wurde bereits weiter oben beschrieben. Für den ökologischen Landbau werden nun die Energieeinsätze auf die konkreten Aufwandmengen, wie sie für vergleichbare Anbauverfahren bei den einzelnen Ackerkulturen wiederum in KTBL (2012) bzw. auch in KTBL (2010) ausgewiesen sind, bezogen. Hinsichtlich des Energieoutputs werden wieder die relativen Ertragsunterschiede, wie sie bereits in von Witzke und Noleppa (2011) auf der Basis von Testbetriebsnetzdaten für vergleichbare Betriebe abgeleitet wurden, berücksichtigt; für Zuckerrüben wurde allerdings nach Noleppa und Hahn (2013) ein Korrekturfaktor von  $-5\%$  implementiert.

An dieser Stelle ist auf eine Besonderheit hinzuweisen. Die KTBL-Daten weisen in Bezug auf die Verfügbarmachung von Stickstoff zwar Applikationen von Wirt-

schaftsdünger (Gülle und/oder Festmist) aus, sie negieren aber die notwendige Realisierung weiterer Stickstoffgaben in Form von Leguminosen bzw. Zwischenfrüchten. Für die eigenen Berechnungen wurden Energieeinsätze für Wirtschaftsdünger (analog zu Claus et al., 2011 sowie Döhler, 2008) sowie – unter Annahme gängiger Fruchtfolgen (vgl. Drangmeister, 2003; 2006) – für Leguminosen- und Gründüngung (laut KTBL, 2010) als so genannte Substitutionswerte (vgl. Hülsbergen, 2008) ermittelt und angesetzt.

Zunächst sollen auf dieser Basis wieder die Veränderungen der Energieflüsse in das System „Landwirtschaft“ hinein und aus diesem System heraus diskutiert werden. Bei der Analyse fällt auf, dass sich der Energieeinsatz je Flächeneinheit gegenüber dem Status quo deutlich verändert, wie Abbildung 4.7 visualisiert. Der Energieinput je Flächeneinheit geht im gewogenen Durchschnitt um über 43 % zurück; kulturartenspezifisch variiert dieser Rückgang zwischen 25 % (Kartoffeln) und 50 % (Weizen). Das eigene Ergebnis bestätigt also die grundlegende Erkenntnis der Auswertung der wissenschaftlichen Literatur, wonach der ökologische Landbau eindeutige Vorteile hat, wenn der Energieeinsatz je Flächeneinheit bewertet wird: Dalgaard et al. (2001) beziffern diesen Vorteil des ökologischen Landbaus im Durchschnitt mit unter 50 %; ähnlich hoch sind die ermittelten Unterschiede für Deutschland bei Deike et al. (2010), Schmid et al. (2012) sowie bei Klepper (2011).

**Abbildung 4.7: Änderung des Energieinputs und Energieoutputs je ha im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ (in %)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.



Die Abbildung 4.7 macht aber auch deutlich, dass eine Umstellung von konventionellem zu ökologischem Landbau mit massiven Verlusten an Energieoutput je Flächeneinheit verbunden ist: Dieser Verlust an per se bereitgestellter Energie beträgt demnach im Mittel über 47 % bei Einzelwerten des Rückgangs von 21 % (Zuckerrüben) bis 55 % (Weizen).

Würden die Landwirte in Deutschland vollständig zum ökologischen Landbau konvertieren, dann wäre gegenüber einer vollständigen konventionellen Nutzung der Ackerflächen für die betrachteten Kulturpflanzen mit den soeben aufgezeigten prozentualen Rückgängen im Energieinput und Energieoutput deutschlandweit zu rechnen; würde es „lediglich“ zu einer 20 %igen Umstellung kommen, wie politisch bisweilen argumentiert und priorisiert (Bundesregierung, 2012), dann wäre – bezogen auf die gesamte deutsche Landwirtschaft – immer noch mit einem Rückgang des Energieinputs von 8,7 % und des Energieoutputs von 9,5 % zu rechnen. Zur Erinnerung: Der Rückgang des Energieoutputs im Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ konnte mit 9,8 % ähnlich hoch angegeben werden.

Für Energieeffizienzbetrachtungen sind die puren Energieflüsse nur wenig aussagekräftig; stattdessen gilt es wieder, die Veränderungen der definierten drei Zielindikatoren der Effizienzanalyse aufzuzeigen. Abbildung 4.8 zeigt die relativen Änderungen dieser Indikatoren, gemessen am Status quo, für eine flächendeckende und zusätzlich für eine 20 %ige Umstellung des konventionellen Landbaus auf ökologische Wirtschaftsweisen auf.

**Abbildung 4.8: Änderungen des Niveaus der Zielindikatoren der Energieeffizienzanalyse im Ackerbau Deutschlands für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ (in %)**

Ackerkultur	Δ Energiegewinn		Δ Energieproduktivität		Δ Energieintensität	
	(100 %)	(20 %)	(100 %)	(20 %)	(100 %)	(20 %)
<i>Gewogener Durchschnitt</i>	-47,8	-9,6	-7,1	-1,4	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>
Weizen	-55,3	-11,1	-9,0	-1,8	9,8	2,0
Roggen	-51,9	-10,4	-23,6	-4,7	31,0	6,2
Gerste	-48,1	-9,6	-9,2	-1,8	10,2	2,0
Raps	-35,5	-7,1	4,5	0,9	-4,3	-0,9
Kartoffeln	-48,2	-9,6	-26,2	-5,2	35,5	7,1
Zuckerrüben	-20,7	-4,1	17,8	3,6	-15,1	-3,0

Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung.

Die Effizienzveränderungen sind in Teilen uneinheitlich, und die Diskussion der Zielindikatoren bedarf einer differenzierten Betrachtung:

- Allen analysierten Kulturarten eigen ist, dass der Energiegewinn bei einer Umstellung auf den ökologischen Landbau stark zurückgeht. Im Durchschnitt sind es bei einer vollständigen Flächenkonversion nahezu 50 % und bei einer teilweisen Flächenumwidmung immerhin noch ca. 10 %. Am größten ist der Energieverlust dabei bei Weizen und am geringsten bei Zuckerrüben.
- Da der Energieinput bei einer Umstellung vom konventionellen zum ökologischen Landbau etwas weniger stark zurückgeht als der Energieoutput (vgl. Abbildung 4.7), ist die Energieproduktivität bei einer Umstellung im gewogenen Durchschnitt über alle Ackerkulturen abnehmend, wenn auch nicht allzu massiv. Kulturartenspezifisch unterschiedlich kann die Energieproduktivität dabei fallen (z.B. Getreide und Kartoffeln), sie kann aber auch steigen (z.B. Raps und Zuckerrüben).
- Auf diese Kulturartenspezifität hinzuweisen ist auch bei der Diskussion der Energieintensität notwendig: Bei den Kulturen, bei denen die Energieproduktivität abfällt, steigt natürlich die Energieintensität bei einer Flächenkonversion an und umgekehrt.

Im Mindesten kann schlussfolgernd gesagt werden, dass der ökologische Landbau bei der Energieeffizienz per se keine Vorteile bietet, was die Argumentation jüngerer wissenschaftlicher Untersuchungen (vgl. weiter vorn) nur bestätigt. Im Gegenteil: Bei zahlreichen Ausprägungen der drei Zielindikatoren sind konkrete Nachteile auszumachen. Pauschalierungen sind aber nicht zweckmäßig (vgl. auch Hülsbergen, 2008).

In diesem Zusammenhang soll explizit auf die hier ausgewiesene relativ gute Bilanz für Zuckerrüben bei einer Umstellung von konventionellen auf ökologische Anbauverfahren hingewiesen werden; diese bedarf einer Akzentuierung. Im Allgemeinen ist in Deutschland der Krankheits- und Schädlingsdruck bei Zuckerrüben einerseits hoch, andererseits bewirkt der sachgemäße chemisch-synthetische Pflanzenschutz eine deutliche Reduzierung dieses Drucks. Aufgrund des in der Praxis sehr eingeschränkten ökologischen Zuckerrübenanbaus partizipiert dieser regional massiv an den Erfolgen des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes im konventionellen Rübenanbau, der den Allgemeindruck drastisch verringert, auch für Flächen, die nicht mit solchen Pflanzenschutzmitteln behandelt werden (vgl. Noleppa und Hahn, 2013). Bei einer Umstellung dürften also zusätzliche negative Ertragseffekte durch zunehmenden Krankheits- und Schädlingsdruck hinzukommen, die in das Berechnungskalkül nicht über den geschätzten Korrekturfaktor von -5 % aufgenommen wurden. In der Tat beziffern Noleppa und Hahn

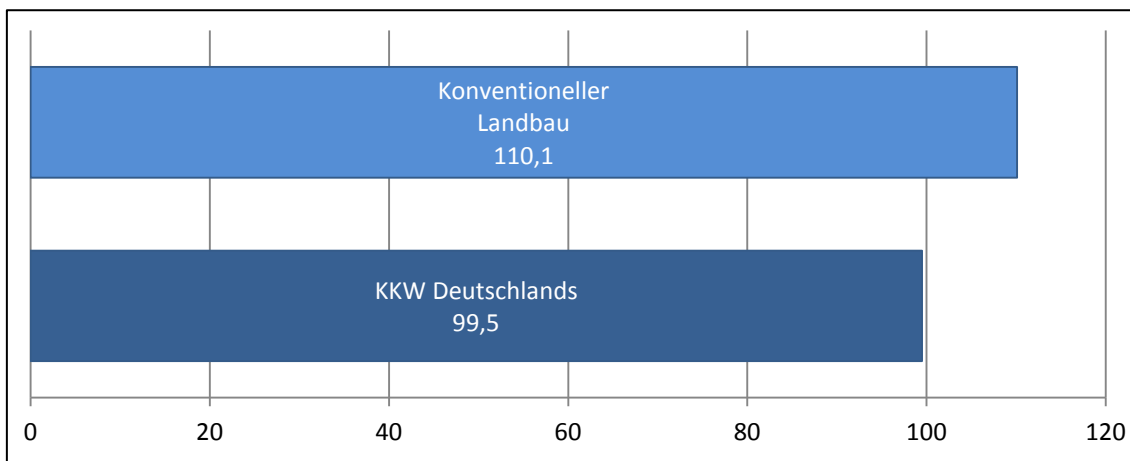
(2013) die möglichen zusätzlichen Ertragsverluste bei Zuckerrüben im ökologischen Landbau mit bis zu 20 %. Dies berücksichtigend, würde das z.Z. positive Ergebnis für Zuckerrüben tendenziell (deutlich) schlechter ausfallen. Die folgende Argumentation kann auch aus diesem Grund als eher konservativ angesehen werden.

Zu fragen ist vor dem Hintergrund der „Energiewende“-Diskussion in Deutschland – analog zum Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ – auch für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ wieder nach den Energieeinsparungen einerseits und nach der Energiebereitstellung andererseits. Das differenzierte, ambivalente Bild zur Energieeffizienz lässt keine eindeutigen Schlüsse zu, ob nun die eine oder andere Anbaumethode zunächst real zu Energieeinsparungen beitragen kann. Werden jedoch die zusätzlich benötigten Energiemengen (die höhere Energieintensität) zur Produktion einer Einheit Weizen, Gerste, Roggen und Kartoffeln und die weniger benötigte Energie (die geringere Energieintensität) zur Erzeugung eines kg Raps und Zuckerrüben bei einer Umstellung zum ökologischen Landbau aufsummiert, so dass auch im ökologischen Landbau eine Produktionskompensation (durch zusätzliche hypothetische Landausweitung) erfolgt, dann muss festgestellt werden, dass eine vollständige Konversion zu einem Mehraufwand von ca. 1,3 Mio. GJ führen würde. Diese Energiemenge entspricht in etwa der Volllastmenge eines deutschen Atomkraftwerks von 10 Tagen. Insgesamt ist das eine relativ kleine Menge.

Ganz anders sieht das natürlich bei dem Verzicht auf Energiegewinn und damit Energiebereitstellung aus, der resultieren würde, wenn man auf ökologischen Landbau umstellt. Auch hier soll zwecks Illustration ein Potenzialvergleich geführt werden. Zu verweisen ist wieder auf die Abstraktion von konkreter Verwendung und damit von Wirkungsgraden der jeweiligen Energieform (siehe oben):

- Der Energiegehalt der zusätzlich zur Verfügung gestellten Biomasse durch konventionellen statt ökologischen Landbau in Deutschland lässt sich beziffern; er beträgt allein für Weizen, Roggen, Gerste, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben fast 400 Mio. GJ und wird der energetischen Weiterverwertung als Nahrungs- und Futtermittel oder für die Bioenergiegewinnung zugeführt.
- Das entspricht weit über 100 Mio. MWh und übertrifft damit die Energiemenge, bereitgestellt in Form von Strom, die durch alle noch aktiven Atomkraftwerke Deutschlands in 2012 produziert wurde, wie Abbildung 4.9 verdeutlicht.

**Abbildung 4.9: Bereitstellung von zusätzlicher Energie durch konventionellen Landbau und Energiebereitstellung deutscher Atomkraftwerke (in Mio. MWh)**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung sowie VGB Powertech (2013).

- Besonders deutlich aber wird der energetische Wertzuwachs, generiert durch konventionellen Landbau gegenüber ökologischem Landbau, wenn wieder mit SKE bzw. Öleinheiten, also primären Energieträgern, wie sie landwirtschaftliche Produkte bekanntlich auch für die Bioenergiewirtschaft sein können, verglichen wird. Die ermittelten Mengen an zusätzlich bereitgestellter Energie aus dem deutschen konventionellen Ackerbau entsprechen dann dem Energiegehalt von 13,5 Mio. t SKE, also mehr als der gesamten aktuellen Steinkohleförderung unseres Landes oder etwa einem Drittel unseres Importbedarfs an Steinkohle; bzw. sie sind äquivalent zum Energiegehalt von 9,5 Mio. t Öleinheiten, das entspricht in etwa 10 % unseres aktuellen Rohölbedarfs (vgl. wieder DERA, 2012; VDKI, 2012).

Wenngleich solche numerischen Vergleiche nicht überinterpretiert werden sollten, eines wird klar: Ökologischer Landbau im großflächigen Stil und zeitgleich „Energiewende“, wie im Moment öffentlich diskutiert, schließen sich aus bzw. stellen einen gesellschaftlichen Zielkonflikt dar, der in der öffentlichen Diskussion bislang nur unzureichend geführt wird.

## 5 Weiterführende Bemerkungen: Einordnung der Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, dass chemisch-synthetischer Pflanzenschutz in Deutschland auch aus energetischer Sicht viele Vorteile mit sich bringt: Energieeinsparungen in nicht unbeträchtlichem Maße sind möglich; vor allem ist es aber die enorme zusätzliche Energiebereitstellung, die chemisch-synthetischen Pflanzenschutz aus Sicht der Energieeffizienz gegenüber anderen Konzepten des Pflanzenschutzmanagements offensichtlich unschlagbar macht.

Grundsätzlich kann ausgeführt werden, dass die ermittelten Ergebnisse eher den unteren Bereich der tatsächlichen Möglichkeiten beschreiben als den oberen Rand. Die konkreten Zahlen können in der Tat als tendenziell konservative Einschätzung angesehen werden, weil einige Perspektiven landwirtschaftlicher Produktion und des Einsatzes von Produktionsfaktoren in diesem Prozess hier gar nicht berücksichtigt wurden bzw. werden konnten. Zu nennen wären zunächst die folgenden Aspekte, die sich auf die Bemessung von spezifischen Energieinputs und Energieoutputs beziehen und insbesondere die Ergebnisse zum Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ akzentuieren und zugunsten des konventionellen Anbaus verschieben:

- Das Argument des unterschiedlichen Krankheits- und Schädlingsdrucks wurde gerade explizit für den Zuckerrübenanbau herausgearbeitet. Grundsätzlich gilt dieses Argument natürlich auch für alle anderen Ackerkulturen. Solange konventionelle Anbaumethoden deutlich mehr Flächen in Anspruch nehmen als der ökologische Landbau, geht vom Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel auch immer eine Schutzfunktion auf den angrenzenden ökologischen Landbau aus, weil der allgemeine Schädlings- und Krankheitsdruck reduziert wird. Anders gesagt: Ohne chemisch-synthetischen Pflanzenschutz wären die erzielbaren Erträge im ökologischen Landbau sicher (etwas) geringer als hier angesetzt, was die Energieeffizienz des ökologischen Landbaus reduzieren würde.
- Beim ökologischen Landbau wurden vorn die Energieverbräuche für die Verladung, Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdünger angesetzt, z.T. auch für dessen Lagerung; nicht angesetzt wurden hingegen die Energieverbräuche zur Herstellung von Wirtschaftsdünger. Dieser Verbrauch wird i.d.R. den entsprechenden Produktionsverfahren der Tierhaltung zugerechnet und nicht dem Pflanzenbau (vgl. u.a. FNL, 2010). Mit der gleichen Logik müsste man den Energieverbrauch der Mineraldüngerproduktion eigentlich der Industrie zurechnen. Betrachtet man Wirtschaftsdünger aber als Koppel-

produkt der Tierproduktion, dann erscheint eine Integration zumindest eines Teils der energetischen Bilanz in Prozesse des Pflanzenbaus folgerichtig. Da der ökologische Landbau deutlich intensiver den Wirtschaftsdünger nutzt als der konventionelle Landbau, wäre auch hierdurch mit einer Verschlechterung der Energieeffizienz nicht-konventioneller Anbauverfahren zu rechnen.

- Schließlich ist noch auf einen kleineren Aspekt zu den Energieinputs hinzuweisen: So wurde für die Kalkulationen aus Vergleichsgründen (insbesondere zum ökologischen Landbau) tendenziell auf eher kleine Schlaggrößen abgezielt; je länger aber die Felder und damit je größer die Schläge werden, desto weniger Diesel und Maschineneinsatz wird je ha benötigt (vgl. FNL, 2010; KTBL, 2012), und solche längeren und größeren Flächeneinheiten, die also energieeffizienter sind, bewirtschaften eher konventionelle Unternehmen der Landwirtschaft.
- Aber auch auf der Outputseite wurde weiter oben kein vollständiges Bild der Energieflüsse aufgezeigt. Nicht nur in den Ernteprodukten ist Energie gespeichert, sondern zusätzlich in Neben- und Koppelprodukten, wie z.B. Stroh. Einige Autoren argumentieren, dass solche Nebenprodukte in eine vollständige energetische Systemanalyse einfließen müssen (vgl. FNL, 2010; Küsters und Brentrup, 2008; 2009; Quirin et al., 2004), und zuvorderst trifft das natürlich für die Energiepflanzen zu. Selbst wenn solche (Neben-)Produkte etwas geringere Energieäquivalente haben als Hauptprodukte (vgl. u.a. Gutsche, 2011; Heißenhuber et al., 2006; Mushtaq et al., 2009) trifft zu, was auch für herkömmliche Ernten gilt: Konventionelle Verfahren produzieren mehr Biomasse, nun in Nebenprodukten, als ökologische Verfahren. Der Energiegewinn und damit die Energieeffizienz des konventionellen Landbaus gegenüber dem ökologischen Landbau würden bei einer solchen Inklusion weiter steigen.

Die Energiebilanzierung, wie in Kapitel 4 ausgewiesen, würde aber noch aus einer ganz anderen Perspektive zu bewerten sein. Die aufgezeigten Analysen basieren auf dem loco-Hof Prinzip und berücksichtigen alle verfahrenstypischen Energieeinsätze sowie die entsprechende Energiespeicherung auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe. Die entsprechenden Ergebnisse sind dann für Deutschland hochgerechnet. Eine solche Analyse hat mithin enge Systemgrenzen. Die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte vollzieht sich aber nicht nur in Deutschland, sondern global, und sie ist deshalb interdependent. In einem solchen Umfeld sorgen Märkte dafür, dass Produktionsausfälle in Deutschland, wie in den aufgezeigten beiden Szenarien zugrunde gelegt, stets in irgendeiner Weise durch andere Regionen aufgefangen werden.

Das dazu gehörende Argument der so genannten Überwälzungseffekte wurde bereits in von Witzke und Noleppa (2012) ausführlich herausgearbeitet, soll hier

aber noch einmal aufgrund zweier essentieller Wirkungen für die Frage nach der Energieeffizienz akzentuiert werden, denn auch Wood et al. (2006) betonen die Beachtung solcher „off-site effects“ für eine umfassende energetische Wirkungsanalyse, und auch Hill (2009) plädiert für eine solche eher holistische Gesamtsicht:

1. Produktionsrückgänge in Deutschland können einerseits unter Nutzung zusätzlicher Energieinputs in anderen Weltregionen aufgefangen werden. Es stellt sich dann die Frage, ob dies aus energetischer Sicht sinnvoll ist; und sinnvoll wäre es in der Tat, wenn in den anderen Weltregionen weniger Energie je Produkteinheit oder erzeugter Einheit Energieoutput benötigt werden würde als hierzulande. In mehreren Analysen wurde diesbezüglich herausgearbeitet, dass die Energieproduktivität in entwickelten Ländern grundsätzlich höher ist als in Schwellenländern und vor allem in weniger entwickelten Ländern (vgl. u.a. Mushtaq et al., 2009; Pelletier et al., 2011): Zugang zu modernen Technologien und ein besseres Betriebsmanagement sowie eine allgemein vordergründige Berücksichtigung von Umweltbelangen in Industrieländern führen dazu.

Dass dieses Argument zutrifft, zeigt sich auch in konkreten Zahlen: Gerade der Energieverbrauch bei der Herstellung mineralischer Düngemittel, um nur ein Beispiel zu nennen, ist in Europa und zumal in Deutschland – verglichen mit dem globalen Durchschnitt – sehr gering (vgl. weiter oben). Allein in den letzten 30 Jahren ist dieser Energieeinsatz hierzulande um 50 % zurückgegangen (FNL, 2010) und liegt mittlerweile nahe dem theoretischen Minimum (vgl. Brentrup und Küsters, 2008; Jensen und Kongshaug, 2003). Das hat dazu geführt, dass seit 1980 die Energieintensität der Landwirtschaft in den entwickelten Industrieländern beachtlich gesunken ist, und zwar um ca. 40 %, wohingegen sie in sich entwickelnden Ländern zeitgleich um etwa 20 % angestiegen ist (Schneider und Smith, 2009). Energieeinsparungen im Pflanzenbau werden also vor allem in Industrieländern realisiert, und gerade auch Deutschland wird hier als Vorreiter genannt (vgl. wieder Schneider und Smith, 2009). In der Tat ist in Deutschland wie auch in der EU der Energieverbrauch in der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen (Klepper, 2011).

Die angerissene besondere Bedeutung des Stickstoffdüngereinsatzes für Überwältigungseffekte kann sogar noch vertieft werden, denn im Rahmen des hier diskutierten Gesamtprojekts wurde bereits in von Witzke und Noleppa (2012) darauf hingewiesen, dass die Nutzungseffizienz des eingebrachten Stickstoffs in anderen Ländern der Welt deutlich schlechter ist als in Deutschland. Anders gesagt: In anderen Weltregionen wird mehr Stickstoff gedüngt und damit mehr Energie auf das Feld gebracht, um eine Einheit landwirtschaftlichen Primärprodukts zu erzeugen.

2. Vielleicht noch schwerer für die holistische Energiebilanz wiegt, dass Produktionsausfälle in der deutschen Agrarproduktion zu massiven globalen Landnutzungsänderungen führen würden. Diese könnten von Witzke und Noleppa (2012) zufolge für das Szenario „Mit vs. ohne Fungizide“ bei 1,2 Mio. ha und für das Szenario „Konventioneller vs. ökologischer Landbau“ bei einer flächendeckenden Umstellung sogar bei über 6,5 Mio. ha liegen. Dabei handelt es sich nicht um Flächen, die z.B. für die Kultivierung von Weizen statt Mais oder ähnlich genutzt werden würden, sondern um Flächen, die erst urbar gemacht werden müssten. Diese Urbarmachung wäre offensichtlich mit einem hohen, nicht einfach messbaren Energieaufwand verbunden: Wälder müssten gerodet und das Holz müsste abtransportiert werden; Savannen wären umzubrechen und anzupflanzen. Diese Energie müsste als Input der eigenen Energiebilanzierung noch zugeführt werden.

Deutlich wird: Die Energieeffizienz chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes in Deutschland ist grundsätzlich gegeben, und sie ist im Vergleich zu möglichen Alternativen konkurrenzlos. Sie ist es umso mehr, je holistischer die Perspektive der Analyse gewählt wird. Eine Abkehr oder gar nur Einschränkung des modernen, sachgerechten Pflanzenschutzmanagements in der konventionellen Landwirtschaft Deutschlands würde zu einem energiebilanziellen Desaster führen, das vermieden werden kann. Sie muss sogar vermieden werden, soll die gerade hierzu lande propagierte „Energiewende“ zu verhältnismäßig geringen gesamtwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kosten gelingen.

## **6 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Im Rahmen dieser Studie konnten einige bereits bekannte Einsichten zum Zusammenhang von Energieeffizienz und chemisch-synthetischem Pflanzenschutz in der Landwirtschaft geschärft werden; vielmehr aber noch konnten einige wesentliche neue Erkenntnisse gewonnen werden. Diese Einsichten und Erkenntnisse können wie folgt in zehn Thesen zusammengefasst werden:

1. Im Vergleich zu anderen Volkswirtschaftssektoren ist die Landwirtschaft in Deutschland, wie überhaupt in entwickelten Industrieländern, eine eher energieextensive Branche. Wesentliche Bestimmungsfaktoren des Energiekonsums im Pflanzenbau sind mineralische Düngemittel, Kraft- und Schmierstoffe und



der Maschineneinsatz. Die Bedeutung des Pflanzenschutzes für den Energiebedarf der Landwirtschaft, zumal in Deutschland, ist hingegen sehr gering.

2. Im Pflanzenbau, und hier vor allem auch im Ackerbau, wird bedeutend mehr Energie in Biomasse gebunden als verbraucht wird. Die Energieproduktivität ist deshalb im Allgemeinen sehr hoch; das gilt für konventionelle und ökologische Bewirtschaftungsformen gleichermaßen. Energieintensiv hergestellte Inputs landwirtschaftlicher Produktionsprozesse wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel helfen, die Transformation von Sonnenenergie in nutzbare Biomasse zu maximieren.
3. Die Analyse von Energiebilanzen und der Energieeffizienz ist ein sehr komplexer Vorgang. Wichtig für die Einordnung von Erkenntnissen entsprechender Analysen ist die Wahl der richtigen Indikatoren. Zentrale Kennzahlen der Bewertung sind der Energiegewinn, die Energieproduktivität und die Energieintensität. Der Einsatz von Energie je Flächeneinheit hingegen ist kein geeigneter Indikator für die Bewertung von Energieeffizienz im Agrarbereich.
4. Die Datenlage zur Analyse von Energiebilanzen und der Energieeffizienz im Pflanzenbau ist gekennzeichnet durch relativ große Schwankungen bei der konkreten Zuordnung von Energiegehalten einzelner landwirtschaftlicher Inputs und z.T. auch von Outputs. Das grundlegende Dilemma ist die damit einhergehende Unsicherheit und die Konsequenz, relativ viele Annahmen treffen zu müssen. Umso wichtiger sind einerseits klare Systemdefinitionen und Transparenz der getroffenen Konventionen. Für den Pflanzenbau in Deutschland lässt sich andererseits die angesprochene Unsicherheit bei der Zuweisung von Energiegehalten einschränken, wenn man sich an neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen und Technologieentwicklungen in der Praxis orientiert.
5. Die Energieeffizienz im konventionellen Ackerbau Deutschlands ist grundsätzlich als hoch einzuschätzen. Es wird in etwa die 10-fache Menge an Energie gewonnen als in Form von Betriebsmitteln eingesetzt wird, und der durchschnittliche Netto-Energiegewinn liegt bei deutlich über 100 GJ/ha Ackerfläche. Zwar gibt es Unterschiede in den einzelnen Ackerkulturen, aber diese Unterschiede lassen im Einzelfall den Grundsatz hoher Energieeffizienz des Ackerbaus in Deutschland unangetastet.
6. Bei einem Wegfall von Fungiziden aus dem Portfolio des Pflanzenschutzes würde sich der Energieinput in den Pflanzenbau nur wenig verringern, und zwar um etwa 2 %; deutlich höher wäre aber der dadurch erst ausgelöste Energieverlust auf der Outputseite. Dieser würde im Durchschnitt fast 10 % betragen. Insgesamt würden dadurch der Energiegewinn und die Energie-

produktivität deutlich sinken, und die Energieintensität im Ackerbau würde z.T. massiv ansteigen.

7. Ohne Fungizide müssten in Deutschland fast 10 Mio. GJ an Energieinput der Landwirtschaft mehr aufgewendet werden, würde man den Produktionsverlust durch Ertragsrückgänge kompensieren wollen. Ein solches Szenario setzt aber voraus, dass entsprechend mehr Land zur Verfügung stünde. Das ist unrealistisch. Vielmehr gilt es, sich zu vergegenwärtigen, dass Biomasse und darin gebundene Energie in Deutschland infolge eines ersatzlosen Wegfalls von Fungiziden einfach verloren gehen würde. Der potenzielle Verlust kann beziffert werden: Über 90 Mio. GJ würden letztendlich fehlen. Das entspricht in etwa 25 % der in 2012 erbrachten Stromproduktion der noch am Netz befindlichen Atomkraftwerke Deutschlands bzw. dem Energiegehalt von über 3 Mio. t Steinkohle oder mehr als 2 Mio. t Erdöl als primären Energierohstoffen.
8. Gravierende Konsequenzen hätte ebenfalls eine komplette oder auch nur teilweise Umstellung auf den ökologischen Landbau. Wie schon mehrere neuere Forschungsarbeiten zuvor zeigten, konnte auch hier nachgewiesen werden, dass der ökologische Landbau keinerlei Vorteile in Bezug auf die Energieeffizienz gegenüber dem konventionellen Landbau vorzuweisen hat. Zwar ändern sich die Energieproduktivität und die Energieintensität bei einer Umstellung nur gering, jedoch ist der Verlust an Energiegewinn bei einer Konversion zum ökologischen Landbau enorm und größer als die Jahresleistung aller noch aktiven deutschen Kernkraftwerke bzw. in etwa so hoch, wie der Energiegehalt aus mehr als 13 Mio. t Steinkohle bzw. fast 10 Mio. t Erdöl.
9. Die ermittelten Werte zu Veränderungen der Energieeffizienz bei Abweichungen vom modernen chemisch-synthetischen Pflanzenschutz in Deutschland können als eher konservative Kalkulationsgrundlage angesehen werden. Die getroffenen Konventionen der Analyse fußen angesichts der impliziten Unsicherheit i.d.R. auf Annahmen, die eine Unterschätzung positiver Effekte des Pflanzenschutzes nahe legen. Der Krankheits- und Schädlingsdruck wäre z.B. mit großer Wahrscheinlichkeit höher ohne angemessenen chemisch-synthetischen Pflanzenschutz als er sich heute in der Realität darstellt, und das würde die Erträge über das hier genutzte Maß hinaus sinken lassen.
10. Schließlich gilt es auf Überwälzungseffekte hinzuweisen: Ohne chemisch-synthetischen Pflanzenschutz in Deutschland würde Produktion in Weltregionen abwandern, in denen die Energieeffizienz der Landwirtschaft i.d.R. geringer ist als hierzulande; in diesen Regionen müssten zudem riesige Areale naturbelassener Flächen für landwirtschaftliche Zwecke urbar gemacht werden. Das kostet nicht nur Biodiversität und emittiert zusätzliche Treibhausgase, es verursacht auch und vor allem enorme Energieverbräuche.

Die begründete These, der im Gesamtprojekt nachgegangen wurde, ist, dass gesamtwirtschaftliche Weiterentwicklung und ökonomischer Wohlstand, zweckmäßige Bekämpfung des Klimawandels und zugleich Ernährungssicherung, umfassende Ressourcennutzung und gleichzeitig sinnvoller Umweltschutz keine Zielkonflikte darstellen müssen, wenn Pflanzenschutzmanagement zielgerichtet durchgeführt wird und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sachgerecht im landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt werden. Für Markt-, Einkommens- und Klimaeffekte konnte diese These bereits in drei vorhergehenden Studien bestätigt werden. Nun zeigt sich zusätzlich dazu, dass chemisch-synthetischer Pflanzenschutz auch wichtige positive Energieeffekte mit sich bringt. Es kann geschlossen werden: Chemisch-synthetischer Pflanzenschutz in Deutschland ist sowohl aus ökonomischer und sozialer Sicht als auch aus der Umweltperspektive nachhaltig.

## Literaturverzeichnis

- Audsley, E.; Stacey, K.F.; Parsons, D.J.; Williams, A.G. (2009): Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. Cranfield: Cranfield University.
- Barber, A. (2004): Seven case study farms: Total energy and carbon indicators for New Zealand arable and outdoor vegetable production. Kumeo: AgriLINK New Zealand Ltd.
- Bertilsson, G.; Kirchmann, H.; Bergström, L. (2008): Energy analysis of organic and conventional agricultural systems. In: Kirchmann, H.; Bergström, L. (eds.): Organic crop production – ambitions and limitations. pp. 173-188, Dordrecht: Springer.
- Bleser, P. (2013): Jedes Kilowatt, das wir einsparen, muss nicht bezahlt werden. Berlin: BMELV.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2013): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2012): Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) 2011. Berlin: BMELV.
- Brentrup, F.; Küsters, J. (2008): Energiebilanz der Erzeugung und Verwendung von mineralischen Düngemitteln: Stand und Perspektiven. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 56-64, Darmstadt: KTBL.

- Boxberger, J.; Moitzi, G. (2008): Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Wandel. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 7-16, Darmstadt: KTBL.
- Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Fortschrittsbericht 2012. Berlin: Bundesregierung.
- Claus, S.; Wienforth, B.; Sieling, K.; Kage, H.; Taube, F.; Herrmann, A. (2011): Energiebilanz im Lebenszyklus der Biogasproduktion aus Energiepflanzen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins. Kiel: CAU.
- Dalgaard, T.; Halberg, N.; Porter, J.R. (2001): A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 87. pp. 51-65.
- Deike, S.; Pallutt, B.; Christen, O. (2010) : Untersuchungen zur Energieeffizienz im integrierten und ökologischen Landbau am Beispiel eines Langzeitversuches auf einem lehmigen Sandboden. In: Journal für Kulturpflanzen 62, S. 259-263.
- Deike, S. (2008): Investigations on the resource efficiency of different farming systems with specific emphasis on pesticide use intensity. Halle/S.: Universität Halle-Wittenberg.
- DERA (Deutsche Rohstoffagentur) (2012): DERA Rohstoffinformationen: Deutschland – Rohstoffsituation 2011. Berlin: DERA.
- Döhler, H. (2008): Energiebilanzen und Energieeffizienz von organischer und mineralischer Düngung im Ackerbau. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 72-86, Darmstadt: KTBL.
- Drangmeister, H. (2003): Fruchtfolge im Ökolandbau: Grundsätzliche Organisationsmerkmale und Wirkungen. Bonn: BLE.
- Drangmeister, H. (2006): Fruchtfolgegestaltung im ökologischen Landbau. Bonn: BLE.
- Ecoinvent (2013): International life cycle assessment (LCA) and life cycle management (LCM) data and services. St. Gallen: Ecoinvent.
- Fischer, J. (1999): Energy inputs in Swiss agriculture. Working Paper 99-01. Tänikon: FAT.
- Flachowsky, G.; Meyer, U. (2008): Energetische, nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 17-30, Darmstadt: KTBL.
- FNL (Fördergemeinschaft Nachhaltige Landwirtschaft) (2010): Energieeffizienter Pflanzenbau: Fragen und Antworten. Berlin: FNL.
- Goense, D. (2008): Energieeffizienter wirtschaften durch precision farming. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 107-114, Darmstadt: KTBL.

- Green, M.B. (1987): Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Hensel, Z.R. (ed.): Energy in plant nutrition and pest control. pp. 165-177, Amsterdam: Elsevier.
- Gutsche, V. (2011): Managementstrategien des Pflanzenschutzes im Pflanzenbau im Fokus von Umweltverträglichkeit und Effizienz. Quedlinburg: JKI.
- Guzman, G.I.; Alonso, A.M. (2008): A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production. In: Agricultural Systems 2008. doi: 10.1016/j.agsy.2008.06.004
- Haas, G. (1996): Maßzahlen der Energieeffizienz: Brennwerte oder Lebensmittel erzeugen? In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 9. S. 101-102.
- Heißenhuber, A. (2008): Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Wandel. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 42-55, Darmstadt: KTBL.
- Heißenhuber, A.; Berenz, S.; Simon, S. (2006): Potenziale und Umweltwirkung einer nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Präsentation auf der Fachtagung der Umweltberatung Bayern, Augsburg, 26. Januar 2006. München: TUM.
- Hill, H. (2009): Comparing energy use in conventional and organic cropping systems. Greensboro, NC: NCAT.
- Hülsbergen, K.J.; Schmid, H. (2013): Energie- und Treibhausgasbilanzierung in ökologischen und konventionellen Betriebssystemen Präsentation auf der Wissenschaftlichen Tagung „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe in Deutschland, Braunschweig, 27. Februar 2013. Braunschweig: vTI.
- Hülsbergen, K.J. (2008): Energieeffizienz ökologischer und integrierter Anbausysteme. In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. S. 87-99, Darmstadt: KTBL.
- Jensen, T.K.; Kongshaug, G. (2003): Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production: In: IFS Proceedings 509.
- Jones, M.R. (1989): Analysis of the use of energy in agriculture – approaches and problems. In: Agricultural Systems 29, pp. 339-355.
- Kern, M.; Noleppa, S.; Schwarz, G. (2012): Impacts of chemical crop protection applications on related CO<sub>2</sub> emissions and CO<sub>2</sub> assimilation of crops. In: Pest Management Science 68, pp. 1458-1466.
- Kirschke, D.; Häger, A.; Noleppa, S. (2011). Rediscovering productivity in European agriculture: Theoretical background, trends, global perspectives, and policy options. HFFA Working Paper 02/2011. Berlin: HFFA.
- Klepper, R. (2011): Energie in der Nahrungsmittelkette. Arbeitsberichte aus dem vTI-Agrarökonomie 06/2011. Braunschweig: vTI.

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2012):  
Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13: KTBL-Datensammlung. Darmstadt:  
KTBL.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2010):  
Ökologischer Landbau: Daten für die Betriebsplanung. Darmstadt: KTBL.
- Küstern, J.; Brentrup, F. (2009): Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen von verschiedenen  
Bioenergiepflanzen und Bioenergieformen. Präsentation auf der 31. Kartoffel-  
Tagung, Detmoldt, 13.-14. Mai 2009. Dülmen: Yara.
- Küstern, J.; Brentrup, F. (2008): Energie- und Treibhausgasbilanzen verschiedener  
Bioenergieformen. Präsentation auf dem VDLUFA-Kongress, Jena 2008.  
Dülmen: Yara.
- Lillywhite, R.; Chandler, D.; Grant, W.; Lewis, K.; Firth, C.; Schmutz, U.; Halpin,  
D. (2007): Environmental footprint and sustainability of horticulture (including  
potatoes) – a comparison with other agricultural sectors. Final report of project  
WQ0101, London: Defra.
- LKV (Landeskontrollverband für Leistungs- und Qualitätsprüfung) (2011):  
Energiemanagement und Klimaschutz in der Landwirtschaft. Halle/S.: LKV.
- Mack, G.; Ferjani, A.; Kränzlein, T.; Mann, S. (2007): Effizienz des Energie-Inputs  
der Schweizer Landwirtschaft. Reckenholz-Tänikon: Forschungsanstalt  
Agroscope.
- Moerschner, J.; Gerowitt, B. (1998): Energiebilanzen von Raps bei unterschiedlichen  
Anbauintensitäten. In: Landtechnik 6/98, S. 384-385.
- Moitzi, G.; Boxberger, J. (2011): Direkter und indirekter Energieeinsatz bei biolo-  
gischen Betrieben unterschiedlicher Produktionsrichtungen. In: Leithold, G.;  
Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.K.; Spory, K.; Wilbois, K.P.;  
Williges, U. (Hrsg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft  
und Praxis. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Moreno, M.M.; Lacasta, C.; Meco, R.; Moreno, C. (2011): Rainfed crop energy balance  
of different farming systems and crop rotation in a semi-arid environment:  
Results of a long-term trial. In: Soil and Tillage Research 114. pp. 18-27.
- Mushtaq, S.; Maraseni, T.N.; Maroulis, J.; Hafeez, M. (2009): Energy and water  
tradeoffs in enhancing food security: A selective international assessment. In:  
Energy Policy 37. pp. 3635-3644.
- Noleppa, S.; Hahn, T. (2013): The value of Neonicotinoid seed treatment in the  
European Union: A socio-economic, technological and environmental review.  
Research Report, WP 01/2013. Berlin: HFFA.
- Noleppa, S.; von Witzke, H.; Carlsburg, M. (2012): Einkommenseffekte des Ein-  
satzes von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland. Darstellung der Ergebnisse  
zum Modul „Einkommenseffekte“ des Projektes zum gesamtgesellschaftlichen  
Nutzen des Pflanzenschutzes in Deutschland. Berlin: agripol GbR und  
Humboldt-Universität zu Berlin.

- Pelletier, N.; Audsley, E.; Brodt, S.; Garnett, T.; Henriksson, P.; Kendall, A.; Kramer, K.J.; Murphy, D.; Nemecek, T.; Troell, M. (2011): Energy intensity of agriculture and food systems. In: *Annual Review of Environment and Resources* 36. pp. 223-246.
- Pimentel, D.; Williamson, S.; Alexander, C.; Gonzales-Pagan, O.; Kontak, C.; Mulkey, S. (2008): Reducing energy inputs in the US food system. In: *Human Ecology* 36. pp. 459-471.
- Pimentel, D. (2006): Impacts of organic farming on the efficiency of energy use in agriculture: An organic center state of science review. Washington, DC: The Organic Center.
- Quirin, M.; Emmerling, C.; Schröder, D. (2004): Ökologische Bewertung unterschiedlicher Energiekenngrößen am Beispiel konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandschläge. In: *Pflanzenbauwissenschaften* 8. S. 91-98.
- Rahmann, G. (2012): Produktionsweise nicht entscheidend für Klimawirkung. In: *FoRep Spezial – Ökologischer Landbau 2012*, S.14-15.
- Rahmann, G.; Aulrich, K.; Barth, K.; Böhm, H.; Koopmann, R.; Oppermann, R.; Paulsen, H.M.; Weißmann, F. (2008): Klimarelevanz des ökologischen Landbaus – Stand des Wissens. In: *vTI Agriculture and Forestry Research* 58, S. 71-89.
- Rathke, G.W.; Diepenbrock, W. (2003): Biogene Energieträger – eine Übersicht. In: *Pflanzenbauwissenschaften* 7. S. 39-47.
- Reineke, H.; Stockfisch, N. (2011): Bei der Energiebilanz ganz vorn dabei. In: *Zuckerrübenjournal* 50, S. 9-10.
- Saling, P.; Kölsch, D. (2008): Ökobilanzierung: Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pflanzenschutzmitteln. In: *KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft*. S. 65-71, Darmstadt: KTBL.
- Schmid, H.; Braun, M.; Hülsbergen, K.J. (2012): Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit von bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben. München: TUM.
- Schneider, U.A.; Smith, P. (2009): Energy intensities and greenhouse gas emission mitigation in global agriculture. In: *Energy Efficiency* 2. pp. 195-206.
- Scholz, V. (1993): Energieproduktivität der deutschen Agrarwirtschaft. In: *Landtechnik* 48, S. 406-408.
- Schwarz, G.; von Witzke, H.; Noleppa, S. (2011): Impacts of future energy price and biofuel production scenarios on international crop prices and trade. In: Schmitz, A.; Wilson, N. (eds.): *Economics of alternative energy sources and globalization*. pp. 76-90, Oak Park, FL: Bentham Science Publishers.
- Tuomisto, H.L.; Hodge, L.D.; Riordan, P.; Macdonald, D.W. (2012a): Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems. In: *Agricultural Systems* 108. pp. 42-49.

- Tuomisto, H.L.; Hodge, L.D.; Riordan, P.; Macdonald, D.W. (2012b): Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research. In: *Journal of Environmental Management* 112. pp. 309-320.
- VDKI (Verein der Kohlenimporteure) (2012): *Jahresbericht 2012: Fakten und Trends 2011/2012*. Hamburg: VDKI.
- VGB Powertech (2013): *Betriebsergebnisse Kernkraftwerke 2012*. Essen: VGB.
- von Witzke, H.; Noleppa, S. (2012): *Klimaeffekte des Pflanzenschutzes in Deutschland. Darstellung von Ergebnissen zum Modul „Klimaeffekte“ des Projektes zum gesamtgesellschaftlichen Nutzen des Pflanzenschutzes in Deutschland*. Berlin: agripol GbR und Humboldt-Universität zu Berlin.
- von Witzke, H.; Noleppa, S. (2011): *Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland. Darstellung des Projektansatzes und von Ergebnissen zu Modul 1: Ermittlung von Markteffekten und gesamtwirtschaftlicher Bedeutung*. Berlin: agripol GbR und Humboldt-Universität zu Berlin.
- von Witzke, H.; Noleppa, S.; Schwarz, G. (2009): *Global agricultural market trends revisited: The roles of energy prices and biofuel production*. Working Paper 89/2009. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wood, R.; Lenzen, M.; Dey, C.; Lundie, S. (2006): A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. In: *Agricultural Systems* 89. pp. 324-348.
- Woods, J.; Williams, A.; Hughes, J.K.; Black, M.; Murphy, R. (2010): Energy and the food system. In: *Philosophical Transactions B of the Royal Society* 365. pp. 2991-3006.
- Zeisemer, J. (2007): *Energy use in organic farming systems*. Rome: FAO.



## **Impressum**

Energieeffizienz durch den Einsatz von  
Pflanzenschutzmitteln in Deutschland

Darstellung der Ergebnisse zum Modul  
„Energieeffekte“ des Projektes zum  
gesamtgesellschaftlichen Nutzen des  
Pflanzenschutzes in Deutschland

Steffen Noleppa  
(Mitwirkung: Harald von Witzke)

Berlin, März 2013

agripol - network for policy advice GbR  
Schivelbeiner Str. 21  
10439 Berlin, Germany

E-Mail: [contact@agripol.net](mailto:contact@agripol.net)

Web: [www.agripol.net](http://www.agripol.net)