

1 Einleitung

Winterraps (*Brassica napus* L.) gilt in Deutschland als die wichtigste Ölfrucht mit den höchsten Erträgen unter den Ölpflanzen. Neue Sorten eignen sich zur Herstellung von Speiseöl wie auch zur Gewinnung von Biodiesel und ferner für eine Vielzahl technischer Anwendungsbereiche. In den letzten Jahrzehnten konnte im Rapsanbau eine kontinuierliche Zunahme der Anbauflächen beobachtet werden. Im Jahr 2004 wurde die bisher größte Fläche von 1,3 Mio. ha und damit ca. 11% der gesamten Ackerfläche mit Winterraps bestellt.

Der Anbau von Winterraps ist mit hohen ökologischen Belastungen verbunden, da für hohe Kornerträge ein erheblicher Pestizideinsatz und hohe Mengen an Stickstoffdünger erforderlich sind. Durch entweder unvollständig aufgenommenem Stickstoff, aus vorzeitigem Blattfall oder aus Ernterückständen verbleiben nach der Ernte von Winterraps erhebliche Mengen an auswaschungsgefährdetem Nitrat-Stickstoff auf dem Acker. Zwar kann Raps dem Boden auch hohe Stickstoffmengen von 200 kg N/ha und mehr entziehen, aber es wird nur ein geringerer Teil mit dem Erntegut Korn vom Acker abgefahren. Der größte Teil verbleibt mit der Blatt- und Strohmasse auf der Fläche und wird nach der frühen Ernte, verbunden mit einer intensiven Bodenbearbeitung zur Bekämpfung des Ausfallrapses, zu Nitrat mineralisiert. Da durch nachgebaute Zwischenfrüchte oder den in der Fruchtfolge üblichen Winterweizen diese hohen Stickstoffmengen nicht aufgenommen werden können, verbleiben in der Regel Restnitratwerte von 100 kg N/ha und mehr. Diese Mengen werden im Herbst mineralisiert und unterliegen als Nitrat-Stickstoff der Gefahr der Auswaschung in das Grundwasser. Dabei wird der Wert in Ackerböden, der hinsichtlich der Grundwasserbelastung als tolerabel gilt, nach Rapsanbau oft um mehr als das dreifache überschritten. Zur Vermeidung bzw. Minderung dieser ökologischen Belastungen werden besonders in Trinkwasserschutzgebieten große Anstrengungen unternommen, die Landwirte durch finanzielle Anreize zur Reduktion von Pestizid- und Düngermengen sowie veränderten Ackerbau zu bewegen. Diese Maßnahmen erwiesen sich jedoch in der Vergangenheit trotz erheblicher Geldausgaben (z. B. „Wassergroschen“) als wenig erfolgreich.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Anbau von Winterraps im Zweikultur-Nutzungssystem untersucht. Durch die hoch effiziente energetische Nutzung der Raps Ganz-

pflanze wird ein Weg aufgezeigt, der zu einem von finanziellen Zuschüssen befreiten und zudem ökologisch unbedenklichen Anbau von Winterraps führt.

2 Literaturübersicht

2.1 Grund- und Trinkwasserbelastung durch Rapsanbau

Seit Mitte der achtziger Jahre hat mit Einführung der 00-Rapssorten der Körnerrapsanbau deutlich zugenommen (ANTHONY 1994). Unter den in Deutschland angebauten landwirtschaftlichen Kulturen weist Winterraps neben einigen Sonderkulturen die höchsten N-Bilanzüberschüsse auf (GÄTH 1997). Nach der Rapsernte werden regelmäßig sehr viel höhere N_{\min} -Gehalte im Boden gemessen als z.B. nach Getreide. Mittlere N_{\min} -Mengen reichen von 70 bis 100 kg N/ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe, Spitzenwerte allerdings liegen deutlich über 200 kg N/ha (TEIWES ET AL 1996). 93% der Raps-Anbauflächen fallen in N-Überschuss-Klassen von >75 kg N/ha/Jahr, rund 33% fallen bereits in Bereiche über >150 kg N/ha (ANTHONY 1994).

Die Ursache der hohen Überschüsse liegt zum einen in der unvollständigen Stickstoff-Translokation aus den vegetativen Organen in die Samen während der reproduktiven Wachstumsphase. Dies erfordert eine weit über den Entzug durch die Samen hinausgehende N-Düngung. Zum anderen werden dem Boden durch den schon vor der Blüte einsetzenden Blattfall bedeutende Mengen an Stickstoffverbindungen zugeführt (LICKFETT ET AL 1997). Dieses Pflanzenmaterial weist ein enges C/N-Verhältnis auf (DIEPENBROCK ET AL 1995; KESSEL ET AL 1999), was für seinen schnellen mikrobiellen Abbau verantwortlich ist. Demnach können zum Zeitpunkt der Ernte bzw. kurz danach bereits erhebliche Mengen an Nitrat mineralisiert worden sein (AUFHAMMER ET AL 1994). Diese speziellen Gegebenheiten beim Wachstumsverlauf des Rapses führen zu stark ansteigenden N_{\min} -Gehalten im Boden und folglich zu einer potentiellen Gefährdung der Wasserqualität (LICKFETT ET AL 1997). Die beschriebene Problematik der hohen Reststickstoffgehalte nach dem Anbau von Winterraps ist bekannt und resultiert besonders in Trinkwasserschutzgebieten in Anbaurestriktionen. Forderungen gehen soweit, den Rapsanbau auf ertragschwachen und besonders auswaschungsgefährdeten Standorten zu untersagen. Da die Problemstellung der hohen N-Bilanzüberschüsse nach Winterraps vor allem auf der hohen Stickstoffaufnahme bis Blühbeginn, aber der nur unvollständigen Retranslokation von N aus den vegetativen Organen in die Samen gekennzeichnet ist, stellt eine stark verminderte N-Düngung keine Problemlösung dar, da sie mit stark sinkenden Erträgen einhergeht, aber keine Verminderung der Nitratauswaschung erfolgt (ANTHONY 1994, MEYER ET AL. 2000; BEHRENS 2002). LICKFETT (1994,1997)

erzielte in mehrjährigen Versuchen bei reduzierter Düngung von durchschnittlich 96 kg N/ha zwar ausgeglichene N-Bilanzen, verzeichnete aber auch stark verminderte Kornerträge zwischen 2,0 bzw. 1,0 t/ha. Negative Salden von durchschnittlich -45 kg N /ha konnten nur bei jeglichem Verzicht auf Düngung erzielt werden. Die Kornerträge lagen hier im Mittel über drei Versuchsstandorte und fünf Jahre zwischen 1,6 und 0,6 t/ha. Eine ausreichende Versorgung des Rapses ist nach VEENKER ET AL. (2003) bei einem ausgeglichenen N-Bilanzsaldo für diese Fruchtart nicht möglich. Demzufolge kann auch eine stark verminderte Düngung weder eine praktikable Lösung für den Landwirt, noch eine erfolgreiche Strategie zur Verringerung der N-Bilanzüberschüsse bei Winterraps darstellen.

Ein weiterer Ansatz zur Verminderung hoher Rest-Stickstoffmengen nach Raps stellt der Zwischenfruchtanbau dar. Jedoch werden auch beim Zwischenfruchtanbau die unvermeidbaren Verluste umso größer sein, je höher die dem Boden zugeführten N-Mengen sind und je mehr N im Boden zirkuliert (CLAUPEIN 1994). Auch Ausfallrapsbestände nehmen bis zur Winterweizenaussaat nur 40 bis maximal 75 kg/N auf (AUFHAMMER ET AL. 1994; NLÖ 2001). VEENKER ET AL. (2003) erzielten durch verbleibende Ausfall-Rapsbestände eine Stickstoffkonservierung zwischen 22 und 49 kg N/ha. LICKFETT (1997) berichtet von einer biologischen N-Konservierung von 30-40 kg N/ha durch Ausfallraps oder die Aussaat von *Phacelia* nach Winterraps, weist aber darauf hin, dass dieses Vorgehen nicht immer erfolgreich ist. Bei ungünstigen Auflaufbedingungen (Trockenheit, hohe Pflanzendichte) oder frühen Frosteinbrüchen kann die Begrünung durch nicht winterharte Zwischenfrüchte scheitern. KETELSEN ET AL. (2003) weisen darauf hin, dass auch bei Zwischenfruchtanbau z.T. hohe N_{\min} -Werte vorgefunden wurden und diese Maßnahme daher keine generelle Garantie für niedrige Herbst- N_{\min} -Werte darstellt.

SCHEFFER ET AL. (1997) stellten als Alternative zum Rapsanbau die potentiellen Auswirkungen von Flächenstilllegungen zur Verminderung von Nitratausträgen am Beispiel Niedersachsens dar. Es wurde errechnet, dass bei einer Reduktion der Ackerflächen um 30% der Nitrataustrag lediglich um 5 kg N/ha/Jahr vermindert würde. Diese Reduktion würde relativ wenig zur Entlastung der Gewässer beitragen. Eine solche Maßnahme würde die weitreichende Umstellung der landwirtschaftlichen Nutzung beinhalten, dem Erhalt der Kulturlandschaft zuwiderlaufen und zudem hohe Ausgleichszahlungen erfordern. Auch die Zusatzberatung in Wasserschutzgebieten mit der Erfassung jedes einzelnen Betriebes ist mit erheblichen Kosten von ca. 140

€/ha verbunden (ZEIDLER ET AL. 2000). Flächenstilllegungen oder das Verbot des Rapsanbaus in auswaschungsgefährdeten Gebieten können keine Lösung für den Landwirt darstellen.

Seit dem 22.12.2000 ist die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) mit der Zielvorgabe „Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustandes der Gewässer der EU innerhalb von 15 Jahren“ in Kraft getreten. Von der WRRL ist in besonderem Umfang auch die Landwirtschaft betroffen, da sie als Hauptverursacher der Gewässerbelastung gilt. Gemäß diverser Studien erreichen die deutschen Gewässer hinsichtlich der Nitratbelastung nur zu 14% das Qualitätsurteil „gut“ (LAWA & LABO 2002). Es wird davon ausgegangen, dass die NO₃-Belastung des Grundwassers in Deutschland weiterhin jährlich um 1 bis 2 mg/l steigt (HARTMANN ET AL 2002). Das zentrale Element der WRRL ist ein koordiniertes länderübergreifendes Vorgehen, was eine Abstimmung unter allen Beteiligten voraussetzt. Die Zielerreichung der EG-WRRL wird deshalb wesentlich von der Umsetzung der landwirtschaftlichen Maßnahmenprogramme abhängig sein, weshalb die Kooperation von Wasser- und Landwirtschaft ebenfalls eine zentrale Rolle einnehmen wird, d.h. sich auch die Landwirtschaft in den Prozess einbringen muss.

Auch wenn eine landwirtschaftliche Produktion ohne jegliche diffuse Stoffeinträge nicht möglich ist, sollte doch die Option genutzt werden, die Einträge durch ein optimiertes Stoffmanagement so zu steuern, dass gebietsbezogene Frachten in einem akzeptablen Rahmen bleiben. Die Integration des Winterrapsanbaus in das Zweikultur-Nutzungssystem, das die energetische Nutzung von silierten Ganzpflanzen aus jährlich zwei Ernten zum Ziel hat, bietet die Möglichkeit, die „Entweder-oder-Lösung“ zwischen Ökologie und Ökonomie zu umgehen. Besonders auf auswaschungsgefährdeten Standorten sollte die verlustarme Ganzpflanzennutzung mit dem damit verbundenen Export des gesamten in der Pflanze enthaltenen Stickstoffs einer Körnernutzung unbedingt vorgezogen werden.

2.2 Energetische Ganzpflanzennutzung

Die Energieversorgung der EU ist aufgrund erheblicher struktureller Schwächen mit Unsicherheiten behaftet. Aufgrund des ansteigenden Energiebedarfs wird ohne Änderung unserer bestehenden Lebensgewohnheiten die EU nach Schätzungen in 20 - 30 Jahren ihren Energiebedarf bis zu 70% aus eingeführten Importen decken

müssen. Damit ist verbunden, dass auch die Preisausschläge am internationalen Energiemarkt deutlich zunehmen werden, ohne dass darauf ein nennenswerter Einfluss genommen werden kann. Um Konflikte bezüglich der zu Neige gehenden fossilen Rohstoffe zu vermeiden und gleichzeitig dem drohenden globalen Klimakollaps entgegenzuwirken, soll die derzeit primär genutzte fossile Ressourcenkette durch Energieträger mit weitestgehend ausgeglichener CO₂-Bilanz ergänzt werden (STAIß 2003). Der Plan der EU-Kommission strebt eine Verdopplung der regenerativen Energien bis 2010 (gegenüber 2000) an, die bis Mitte des Jahrhunderts sogar rund die Hälfte des Energieverbrauchs decken sollen. Ausgangspunkt für diese Ziele ist ein sogenannter Energiemix, der besagt, dass 35 % der Energie aus Wasserkraft und 60% aus Biomasse bereitgestellt werden soll. Die energetische Nutzung von Biomasse an der gesamten Energieversorgung soll bis 2010 von derzeit 3,3% auf 8,5% angehoben werden. Dieser geplante Zuwachs soll zur Hälfte erreicht werden über die Nutzung bisher unerschlossener Potentiale in der Land- und Forstwirtschaft, zur anderen Hälfte über die Nutzung von extra angebauten Energiepflanzen (BMVEL 2004, BMU 2002).

Biomasse kann in fester, flüssiger oder gasförmiger Form zur Wärme- und Stromversorgung, aber auch als Treibstoff eingesetzt werden. Die Biogasproduktion aus extra angebauten Energiepflanzen hat gegenwärtig die größte Bedeutung. Unter Energiepflanzen werden nach KALTSCHMITT ET AL (1997) Pflanzen verstanden, die ausschließlich zur energetischen Nutzung produziert werden. Der Landwirt kann schon heute den Rohstoff ab Feld zu Kosten produzieren, die um den Faktor 3 bis 4 niedriger liegen als Heizöl (KESTEN 2005). Auf Grund hoher Konversionskosten bzw. geringer Konversionseffizienz geht dieser Preisvorteil beim Endprodukt vielfach wieder verloren. Daher müssen Konversionsverfahren entwickelt werden, die hohe Nettoenergieausbeuten erreichen. Gleiches gilt für die Flächennutzung. Das Ziel, einen hohen Anteil zukünftiger Energieversorgung aus Biomasse bereitzustellen, kann nur erreicht werden, wenn der Nettoenergieertrag pro Flächeneinheit hoch ist, d.h. höchster Flächenertrag bei minimalem Aufwand an Betriebsmitteln. Gleichzeitig muss die neue Produktionsrichtung „Energiepflanzenanbau“ mit einer deutlichen Minderung von Umweltbelastungen durch Pestizid- und Nitratreinträge in das Grundwasser und Bodenerosion bei gleichzeitiger Ausweitung der Biodiversität verbunden sein. Der Anbau von Energiepflanzen nach dem in Witzenhausen entwickelten Zweikulturnutzungssystem (ZKN) entspricht weitgehend diesen

Forderungen und garantiert seit der Novelle des „Erneuerbare-Energien-Gesetzes“ (EEG) von 2004 und der damit stark gestiegenen Einspeisevergütung für Strom auch eine wirtschaftlich lohnende Landnutzung. Ferner fördert die energetische Nutzung des pflanzlichen Aufwuchses zur Energiegewinnung in einer Biogasanlage den dezentralen Einsatz regenerativer Energien und schafft damit neue Einkommensquellen in Land- und Forstwirtschaft. Zurzeit liegt der Branchenumsatz im Bereich „Erneuerbare Energien“ bei über 9 Mrd. € pro Jahr und bietet mehr als 130.000 Menschen Beschäftigung (SONNLEITNER 2004). Prinzipiell ist denkbar, dass sich die Landwirte über den Schritt zu sogenannten „Energiewirten“ zu Strom-, Wärme oder Biokraftstoffproduzenten für sich und die eigene Region wandeln und damit wiederum zur Stärkung des ländlichen Raumes beitragen (SCHEFFER 2003). Die für einen Energiepflanzenbau nutzbaren Anbauflächen werden laut BMU (2004) zurzeit auf 2 Millionen Hektar in Deutschland geschätzt; was ca. 1/6 der derzeit genutzten Ackerfläche entspricht. Bis zum Jahr 2030 könnten laut Schätzungen 4,4 Millionen ha Acker- und Wiesenflächen frei werden, da die Landwirtschaft mit steigenden Erträgen immer weniger Fläche benötigt, um die sinkende Bevölkerung zu ernähren (ÖKO-INSTITUT 2004).

2.3 Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem

Das Prinzip des Zweikultur-Nutzungssystems beinhaltet den Anbau von zwei Kulturen, die vor der generativen Reife zum Zeitpunkt des höchsten Biomassertrages geerntet werden. Die vorgezogene Ernte der ersten Kultur schafft zusätzliche Vegetationszeit und ermöglicht den Anbau einer Sommerung in der gleichen Wachstumsperiode. Dieses Anbausystem ist für ein breites Spektrum von Kulturpflanzen geeignet. Als erste Kultur stehen neben Raps, Rübsen und Winterleguminosen alle Getreidearten zur Verfügung. Als Zweitkultur eignen sich beispielsweise Mais, Sonnenblumen, Hanf, Hirsen und Sudangras. Prinzipiell können im ZKN alle ertragreichen landwirtschaftlichen Kulturen zum Anbau kommen. Nach der Ernte der Ganzpflanzen und anschließender Silierung steht das Erntegut ganzjährig und witterungsunabhängig als Substrat zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage zur Verfügung.

Grundlage vorliegender Arbeit war die Kombination von Winterraps mit einem Gemisch aus Mais und Sonnenblumen. Nach der frühen Rapserte im EC 85, in dem

nach Untersuchungen von SCHWERIN VON (2000) der höchste Ganzpflanzenertrag bei hohen Ölgehalten im Korn erzielt wird, erfolgt die Einsaat der zweiten Kultur ohne vorherige Bodenbearbeitung im Direktsaatverfahren. Beide Kulturen werden bei der Ernte aus dem Stand gehäckselt und feucht siliert. Diese Form der Lagerung ermöglicht die ganzjährige Bereitstellung des Erntematerials zur energetischen Nutzung in einer Biogasanlage. Die Stoppeln des Rapses und die Wurzeln der Zweitkultur bieten Schutz vor Erosion, der Verzicht auf Bodenbearbeitung wirkt der ansonsten beschleunigten Mineralisation von Humus entgegen. Aufwachsende Wildpflanzen oder Unkräuter können in diesem System toleriert werden, da sie ebenfalls energetisch genutzt werden können. Durch den frühen Erntetermin erreichen die Wildpflanzen in der Regel nicht die Samenreife, weshalb sich das Samenpotential auf den Flächen nicht erhöht. Speziell bei Raps als Erstkultur könnte daher auf das üblicherweise sehr breite Spektrum an Herbiziden, Insektiziden und Fungiziden verzichtet werden, da nicht Qualität und Quantität des Kornertrages im Vordergrund stehen, sondern ein hoher Biomasseertrag. Durch den Verzicht auf Pestizide wäre die Forderungen nach Artenvielfalt und Verringerung der Einleitung gefährlicher Schadstoffe in das Grundwasser erfüllt.

Bei Verzicht auf eine zusätzliche Stickstoffdüngung der Zweitkultur wird dem Boden bis in den Herbst hinein Stickstoff entzogen, der vom Raps hinterlassen wurde. Mit der Ernte des gesamten oberirdischen Pflanzenmaterials könnte somit garantiert werden, dass die gesamte Menge an oberirdisch gebundenem Stickstoff vom Feld exportiert wird. Da den Pflanzen bei der Biogasproduktion nur Kohlenstoff und Wasserstoff entzogen wird, bleiben die restlichen Nährstoffe im Gärrest fast vollständig erhalten. Mit der Ausbringung des Gärrückstandes auf das Feld stehen diese der Folgefrucht wieder als Dünger zu Verfügung, woraus ein nahezu geschlossener Nährstoffkreislauf resultiert.

Durch die Integration des Rapsanbaus in das Zweikultur-Nutzungssystem ließe sich eine erhebliche ökologische und speziell im Bereich des Grundwasserschutzes auch finanzielle Entlastung realisieren. Im Jahr 2001 wurden allein in Niedersachsen rd. 10 Mio. € zur Entschädigung von Ertragseinbußen gezahlt, die aus grundwasserschutzorientierten Wirtschaftsweisen resultierten. Weitere 8 Mio. € wurden in die Zusatzberatung investiert (WITTE 2002).

In dem vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie unterstützten F+E-Projekt „Reduktion des Nitrataustrages beim Anbau von Winterraps durch ein neues Anbauverfahren“ wurde geprüft, ob durch die Integration von Winterraps in das Zweikultur-Nutzungssystem auch in trinkwassersensiblen Gebieten ein grundwasserschonender Rapsanbau realisiert werden kann. Dazu sind die folgenden Arbeitshypothesen untersucht worden:

- Ein einträglicher Winterrapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem ist ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln möglich.
- Durch die frühe Ernte des Rapses im EC 85 wird eine N-Anreicherung durch leicht zersetzbare Pflanzenmaterial bzw. Vorernteverluste vermieden.
- Die Ganzpflanzennutzung von Raps und der Anbau einer zweiten Kultur führen zu ausgeglichenen Stickstoffbilanzen.
- Der Rapsanbau im Zweikultur-Nutzungssystem und die Nutzung der Biomasse in einer Biogasanlage ist im Vergleich zum herkömmlichen Winterrapsanbau rentabel.

Zur Überprüfung der genannten Arbeitshypothesen wurde das System „Winterraps im Zweikulturnutzungssystem“ über drei Jahre auf zwei Versuchsstandorten im Feldversuch geprüft.