

Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich von Erosionsschutz durch Mulchsaatverfahren

JOACHIM BRUNOTTE, CHRISTIAN H. ROTH, PETER HOLLMANN und CLAUS SOMMER

Institut für Betriebstechnik

1 Einführung

Die Ursachen für Bodenabtrag durch Wasser oder Wind von landwirtschaftlich genutzten Flächen sind vielfältig: die Zusammenlegung kleiner, unterschiedlich bestellter Flächen zu größeren Feldschlägen, der verstärkte Anbau spätdeckender Fruchtarten wie Mais und Zuckerrüben, die Beseitigung von Feldrainen und Schutzzonen, Bodenverdichtung wie auch intensive Bodenbearbeitung.

Mit Bodenbearbeitung ist Bodenerosion direkt und indirekt zu beeinflussen. Einerseits erfolgt Bodenabtrag durch Wasser oder Wind um so eher, je geringer die Rauigkeit der Bodenoberfläche ist, je intensiver also die Bodenbearbeitung zuvor war. Andererseits hat die Bodenbearbeitung - neben Fruchtfolge und Fruchtart - besonderen Einfluß auf die Bodenbedeckung.

Nach Bodenbearbeitung mit Pflug verbleiben keine Pflanzenreststoffe auf der Bodenoberfläche. Damit sind Möglichkeiten für bodenschützende Verfahren sehr eingeschränkt. Gerade das Belassen pflanzlicher Reststoffe nahe oder auf der Bodenoberfläche ist der grundsätzliche Ansatz zur Vorbeugung von Bodenerosion. Die praktische Umsetzung dieses Ansatzes hat zur Entwicklung von Mulchsaatverfahren geführt (Sommer, 1981).

Mulchsaat ist einer der beiden Bausteine Konservierender Bodenbearbeitung (Sommer et al., 1981). Dieses Konzept für die Bodenbearbeitung (Abbildung 1) ist durch zwei wesentliche Grundgedanken gekennzeichnet:

1. Die Reduzierung der Intensität der Grundbodenbearbeitung auf der Basis fruchtfolgespezifischer, schonender Bodenlockerung mit dem Ziel, Schadverdichtungen vorzubeugen;

2. Das Belassen von Pflanzenreststoffen der Vor- und/oder Zwischenfrucht nahe bzw. auf der Bodenoberfläche durch Mulchsaat mit dem Ziel, Bodenabtrag vorzubeugen.

Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (1985) forderte, daß "im Bereich Bodenbearbeitung Verfahren auf ihre

- bodenschonende Wirkung (geringe Bearbeitungsintensität, Verminderung von Schadverdichtung) und
- bodenschützende Wirkung (Belassen von Pflanzenreststoffen auf der Ackeroberfläche, Verminderung von Bodenerosion)

zu untersuchen und in der Praxis zu verstärken sind". Diese Forderungen führten 1987 zu dem FuE-Vorhaben "Einführung von Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis".

Ziele des Vorhabens waren:

- Überprüfung von Verfahren der intensitätsreduzierten Bodenbearbeitung unter Praxisbedingungen auf repräsentativen Standorten und unter typischen Betriebsbedingungen
- Schaffung regionaler Beispiele für bodenschonende (im Hinblick auf Schadverdichtungen) und bodenschützende (im Hinblick auf Bodenerosion) Bearbeitungsverfahren
- Weiterentwicklung des fruchtartenübergreifenden Konzeptes Konservierende Bodenbearbeitung, insbesondere im Hinblick auf gesamte, regional unterschiedliche Fruchtfolgen
- Erarbeitung von standort-, fruchtfolge- und betriebsspezifischen Beratungsunterlagen.

Darüber hinaus sollte mit einem Nutzen-Kosten-Vergleich untersucht werden, unter welchen Bedingungen Verfahren der Mulchsaat mit bzw. ohne Saatbettbereitung nicht nur einen Beitrag zum Bodenschutz, sondern auch monetär positiv zu beurteilen sind.

Die Ergebnisse der im Rahmen des FuE-Vorhabens durchgeführten Bodenabtragsmessungen (Mollenhauer und Ortmeier, 1994) bestätigen für die angetroffenen Bedingungen auf den FuE-Betrieben, daß der Bodenbedeckungsgrad den größten Einfluß auf den Bodenabtrag durch Wasser hatte. Bei Bedeckungsgraden < 30 % stieg der relative Abtrag mit abnehmender Bodenbedeckung überproportional an, bei Werten > 30 % hingegen ging der Abtrag gegen Null. Die Erosionsdisposition nahm von der konventionellen

Arbeitsabschnitte	Bodenbearbeitung/ Bestellung mit Pflug	Direkt- saat	Konservierende Bodenbearbeitung Bestellung
Grundbodenbearbeitung	+	-	ggf. Lockern
Saatbettbereitung	+	-	+
Saat	+	+	Mulchsaat
Stoppelbearbeitung	+	-	+

Abbildung 1: Definition und Einordnung von Bodenbearbeitungs-/Bestellverfahren

Saat über die Mulchsaat mit Saatbettbereitung zur Mulchsaat ohne Saatbettbereitung ab.

Des weiteren ergab der Vergleich konventioneller und konservierender Verfahren die folgenden aus Schlagkarteiauswertungen zusammengefaßten Ergebnisse (Brunotte et al., 1994):

- Die Vorfrucht übt einen großen Einfluß auf den Ertrag der Hauptfrucht aus. So zeigt sich ein deutlich niedrigeres Ertragsniveau für Weizen nach Getreide im Vergleich zu Weizen nach Zuckerrüben. Bei Getreide als Vorfrucht schneidet darüber hinaus der konservierende Anbau ungünstiger ab als der konventionelle Anbau - hauptsächlich bedingt durch unzureichende Sätechnik und phytosanitäre Auswirkungen.
- Bei Zuckerrüben liegen die nach konservierender Bearbeitung erzielten Erträge jedoch im Mittel 15 % über denen nach konventioneller Bodenbearbeitung. Die zusätzliche Arbeits- und Energieeinsparung erhöht weiter die Rentabilität konservierender Verfahren - dies spielt besonders für Lohnarbeitsbetriebe eine große Rolle.
- Das heißt, durch die Einführung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren ist bei den wichtigsten Marktfrüchten Zuckerrüben und Weizen nicht mit einer Absenkung der Naturalerträge zu rechnen. Eine Weiterentwicklung der pfluglosen Bestelltechnik für Getreide könnte dieses Ergebnis weiter verbessern.
- Bei konservierender Anbautechnik war eine Bodenlockerung in den meisten Fällen nicht nur ertragswirksam, sondern auch rentabel.

Vor diesem Hintergrund wird auf der Basis der FuE-Ergebnisse im folgenden ein erster Ansatz vorgenommen, Nutzen und Kosten von Mulchsaatverfahren zu bewerten und gegenüberzustellen.

2 Vorgehensweise

2.1 Annahmen zur Betriebsstruktur

Gemäß der Zielsetzung wurde ein Bewertungsverfahren gewählt, das für einen Vergleich lediglich die aus den Erosionsschutzmaßnahmen verursachten Nutzen und Kosten gegenüberstellt. Hierzu werden in Abweichung von einer klassischen Nutzen-Kosten-Analyse lediglich die verfahrensspezifischen Nutzen und Kosten miteinander verglichen, bei der Annahme konstanter betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen (d. h. gleiche Grunderträge, gleiche Betriebsstruktur usw.).

Um das Vorgehen zu erleichtern und gleichzeitig eine gewisse Verallgemeinerung zu erlauben, basiert die Betrachtung auf einem hypothetischen, aber repräsentativen Modellbetrieb mit angenommenen Standort- und Nutzungsbedingungen. Diese Bedingungen orientieren sich dabei stark an der Betriebsstruktur der Betriebe aus dem FuE-Vorhaben, um die dort gemachten Erfahrungen in die Modellrechnung und in die Bewertung mit einfließen lassen zu können.

Ausgehend davon, daß vor allem Betriebe mit Hackfrucht-Fruchtfolgen auf guten Böden die größten Probleme bei der Bodenerosion aufweisen, wurde als Ausgangssituation ein

Betriebstyp mit der Fruchtfolge Zuckerrübe-Winterweizen-Wintergerste-(Zwischenfrucht) gewählt. Diesem Betriebstyp entsprachen auch im FuE-Vorhaben die meisten Betriebe. Als Standortbedingungen für die Berechnungen zur Bodenerosion wurden einheitliche topographische Bedingungen und einheitliche Böden unterstellt. Hinsichtlich der Topographie wird von einem gleichförmigen, gestreckten Hang mit 200 m Länge und 10 % Neigung ausgegangen, während als Bodentyp eine normal ausgebildete oder nur schwach erodierte Löß-Parabraunerde mit 75 Bodenpunkten und mit IU (= lehmiger Schluff) als Bodenart in der Krume gewählt wurde. Solche Standortbedingungen sind durchaus repräsentativ für größere Lößgebiete im Harzvorland, im Kraichgau und im tertiären Hügelland Bayerns.

Für den Modellbetrieb wurden im Rahmen des Nutzen-Kosten Vergleichs lediglich die Erosionsschutzmaßnahmen variiert und die daraus resultierenden Nutzen berechnet bzw. geschätzt und mit den durch die Maßnahmen verursachten Kosten abgeglichen. Der Zwischenfruchtanbau ist somit als Erosionsschutzmaßnahme nur bei Mulchsaatverfahren in den Betriebsablauf integriert. Bei konventionellen Verfahren wird keine Zwischenfrucht angebaut, da sie vielerorts als Verursacher von Kosten gilt, die nach dem Unterpflügen im Herbst eher negative als positive Effekte bewirkt.

Folgende Verfahren, die zur Zuckerrübenaussaat stattfinden, wurden miteinander verglichen:

- konventionelle Saat mit Saatbettbereitung → KSmS
- Mulchsaat mit Saatbettbereitung auf Basis Strohmulch → MSmS (St.)
- Mulchsaat mit Saatbettbereitung auf Basis Zwischenfrucht → MSmS (Zw.)
- Mulchsaat ohne Saatbettbereitung auf Basis Zwischenfrucht → MSoS (Zw.).

2.2 Unterstellte Bodenabtragsraten

Für die Berechnung des realen Nutzens der Erosionsschutzmaßnahmen ist eine Zuordnung spezifischer Bodenabtragsraten zu den vier obengenannten Bodenbearbeitungsverfahren notwendig. Die flächenhafte Bestimmung von mittleren jährlichen Bodenabtragsraten ist jedoch methodisch problematisch und in jedem Fall sehr aufwendig, weshalb im Rahmen des FuE-Vorhabens hierzu keine Untersuchungen durchgeführt wurden. An dieser Stelle mußten deshalb Annahmen bezüglich der verfahrensspezifischen Abtragsraten getroffen werden, die nachfolgend näher erläutert und begründet werden.

Auf der Grundlage der angenommenen Standortbedingungen und zur Abschätzung mittlerer Jahresraten des Abtrages durch Flächenerosion ist die Anwendung der allgemeinen Bodenabtragsgleichung nach Schwertmann et al. (1987) möglich. Für den Modellbetrieb wurde für den Erosivitätsfaktor (R) als repräsentativer Wert 60 eingesetzt (in Anlehnung an Sauerborn, 1994), für den Erodibilitätsfaktor (K) ein Wert von 0,65 (Löß-Parabraunerde, IU) und für den Hangfaktor (LS) ein Wert von 3,5 (200 m Länge und 10 % Neigung).

Diese Faktoren bleiben für alle Bodenbearbeitungsverfahren konstant. Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C) wurde hingegen in Anlehnung an Schwertmann et al. (1987) und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Beregnungsversuche von Mollenhauer und Ortmeier (1994) je nach Verfahren variiert, und zwar für KSmS = 0,14, für MSmS (St.) und MSmS (Zw.) = 0,08 und für MSoS (Zw.) = 0,05. Dies ergibt geschätzte mittlere jährliche Bodenabtragsraten von jeweils 19,1; 10,9 und 6,8 t/ha.

Nach Sichtung der Literatur kann mit hinreichender Sicherheit angenommen werden, daß die mittleren jährlichen Abtragsraten auf Lößböden sich etwa in der Spanne von 10 t/ha und Jahr (Kuron et al., 1956) bis 20 t/ha und Jahr (Bork, 1988) bewegen. Allerdings existieren auch Belege dafür, daß Einzelereignisse deutlich höhere Werte bewirken können. So hat Martin (1988) für Löss aus Bayern Abtragsraten von mehr als 70 t/ha gemessen und Brunotte (1990) für einen Löß-Standort in Südwestniedersachsen eine Abtragsrate von ca. 50 t/ha geschätzt. Solche Ereignisse sind jedoch in der Regel nur etwa alle 10 Jahre zu erwarten, was rechnerisch mittlere Abtragsraten von 5 bis 7 t/ha und Jahr ergeben würde. Die erosionsmindernde Wirkung von Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung ist schon verschiedentlich belegt worden (Sidiras et al., 1988; Kainz, 1989) und wird auch durch die Ergebnisse der von Mollenhauer und Ortmeier (1994) durchgeführten Beregnungsversuche qualitativ bestätigt. Somit erscheint die weitere Verwendung der hier geschätzten mittleren Abtragsraten gerechtfertigt.

Bei den obengenannten Angaben handelt es sich allerdings nur um Flächenerosion. Eigene Messungen an einem gestreckten Lößhang mit 6 bis 8 % Neigung und 200 m Länge weisen darauf hin, daß auf Lößböden Pflegespuren zu Zuckerrüben etwa 1 bis 5 t/ha Abtrag verursachen können (Roth, 1992). In Jahren mit ungünstigem Witterungsverlauf im Winter, etwa das Auftreten von Niederschlagsereignissen auf gefrorenem Boden, können Fahrspuren zusätzlich erhebliche Bodenverluste in Form von Rinnen- und Grabenerosion induzieren. Die Abtragsraten dieser Erosionsformen sind jedoch nur schwer auf eine definierte Fläche umzulegen, was die Berechnung mittlerer jährlicher Abtragsraten erschwert. Wie sich die unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren auf die Erosion in Fahrspuren auswirken, ist unbekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß die Erosion in Fahrspuren in Mulchsaatsystemen geringer ausfällt, da aufgrund der höheren Tragfähigkeit des Bodens die Ausbildung der Fahrspuren und damit die Wahrscheinlichkeit von Abflußbildung vermindert wird (Brunotte, 1990). Darüber hinaus bewirken organische Rückstände eine Staumdammbildung und bremsen damit Abfluß und Abtrag. Für

die weitere Berechnung werden demzufolge für KSmS 2,5 t/ha, MSmS 2,0 t/ha und für MSoS 1,0 t/ha angesetzt.

Neben den unterschiedlichen Formen der Bodenerosion durch Wasser kann es in Fruchtfolgen mit Zuckerrüben zu technogen bedingten Bodenverlusten kommen. Über den Erdanhang können je nach Bodenfeuchteverhältnisse zur Ernte und in Abhängigkeit vom Rübenantrag 6 bis 8 t Boden/ha von den Ackerflächen verloren gehen (Kromer, 1989). Legt man dies auf die Fruchtfolge um, entstehen mittlere jährliche Verluste von 2 t/ha. Erste Ergebnisse zum Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf den Erdanhang weisen darauf hin, daß Mulchsaat ohne Saatbettbereitung den Erdanhang im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung um etwa 40 % reduzieren kann, was dann jährlichen Abtragsraten von etwa 1,2 t/ha entspricht (Brunotte et al., 1994).

Schließlich verursacht in stärker hängigen Lagen die Bodenbearbeitung eine Bodenbewegung, in dem beim Pflügen hangabwärts die Schwerkraft den Boden weiter bewegt als bei der Bearbeitung hangaufwärts. Diese auch als *Arasion* bezeichneten Bodenverluste führen bei konvexen Hangformen zu Verlusten, die in etwa der Größenordnung der Wassererosion entsprechen (Lindstrom et al., 1992; Govers et al., 1994). Bei gestreckten Hängen erfolgt keine Veränderung der Bodendecke, und im Bereich konkaver Hangabschnitte kommt es zur Akkumulation. Die genannten Autoren stellten auch fest, daß die Grubberbearbeitung ein geringeres Ausmaß an Arasion bewirkt als die Pflugbearbeitung. Systeme ohne Bodenbearbeitung (Direktsaat, Mulchsaat ohne Saatbettbereitung) dürften zu noch geringerer Arasion führen. Da bei der hier durchzuführenden Modellberechnung von einem gleichförmig gestreckten Hang ausgegangen wird, kann die Arasion in den weiteren Betrachtungen unberücksichtigt bleiben.

Unter Berücksichtigung der hier angestellten Betrachtungen lassen sich demnach die in der Tabelle 1 zusammengestellten Abtragsraten für die einzelnen Bearbeitungsverfahren annehmen. Diese sind die Grundlage für die Berechnung der Nutzen von Erosionsschutzmaßnahmen zur Bodenerhaltung in Kapitel 3.4 dieses Beitrags.

Es sei daran erinnert, daß es sich hierbei um geschätzte Werte handelt, die ein Mittel für eine Fruchtfolge ZR-WW-WG darstellen. Die Minderung der Abtragsraten durch MSoS zu Zuckerrüben fällt i. d. R. sicherlich stärker aus, fließt aber nur zu 33 % entsprechend dem Fruchtfolgeanteil in diese Mittel-

	Flächenerosion	Fahrspurerosion	Erdanhang	Summe
KSmS	19,1	2,5	2,0	23,6
MSmS (St.)	10,9	2,0	1,6	14,5
MSmS (Zw.)	10,9	2,0	1,6	14,5
MSoS (Zw.)	6,8	1,0	1,2	9,0

Tabelle 1: Geschätzter Abtrag durch Wassererosion und Erdanhang bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (in t/ha und Jahr)

werte ein. Die Abtragsraten würden durch Mulchsaaten noch weiter vermindert werden, wenn die Bodenbearbeitung auch zu Winterweizen und Wintergerste ebenfalls nach den Prinzipien der konservierenden Bodenbearbeitung stattfinden würde. Hierzu fehlen aber verlässliche Daten, so daß eine Bewertung der Erosionsschutzmaßnahmen vorerst auf die oben genannten Bedingungen beschränkt bleibt.

3 Nutzen von Erosionsschutz durch Mulchsaatverfahren

3.1 Gründüngungseffekt bei Zwischenfruchtanbau

Stichworte wie Integrierter Pflanzenbau, Bodenschutzkonzept, 'Technische Anleitung Boden', Flächenstilllegung u. a. m. rücken den Anbau von Zwischenfrüchten mehr und mehr in den Vordergrund. Die landwirtschaftlichen Betriebe werden in der Regel nur dann den Zwischenfruchtanbau verstärkt in die Fruchtfolge aufnehmen, wenn die Kosten für Bodenbearbeitung, Bestellung, Düngung und Saatgut durch Mehrerträge der folgenden Früchte bzw. durch Einsparungen bei Betriebsmitteln ausgeglichen werden. Die wichtigste Moti-

vation für den Anbau von Zwischenfrüchten liegt für die viehhaltenden Betriebe in der zusätzlichen Futternutzung. Für den reinen Marktfruchtbaubetrieb sind die Effekte von Zwischenfrüchten sehr viel schwieriger zu quantifizieren. Von Seiten der Beratung wurde der Zwischenfruchtanbau oft als "Kostenverursacher" abgetan und kam so nicht zur Anwendung auf den Ackerbaubetrieben.

Neben einer möglichen Ertragssteigerung können Zwischenfrüchte weitere positive Effekte bewirken:

- Minderung von Verschlammung, Oberflächenabfluß und Bodenerosion
- Konservierung von Nährstoffen und Minderung insbesondere von Nitrataustrag über Winter
- Bodendurchlüftung und Regulierung des Wasserhaushaltes
- Aktivierung des Bodenlebens
- Gareförderung durch Lebendverbauung
- Phytosanitäre Effekte wie die Reduktion des Schädlingsbefalls oder die Senkung der Krankheitsinfektionen.

Neben den genannten positiven Effekten werden mit dem Zwischenfruchtanbau auch nachteilige Wirkungen in Verbindung gebracht:

- Kosten der Bestellung
- Arbeitsspitzen zum Zeitpunkt der Bestellung
- Ertragsdepressionen bei unsachgemäßem Anbau (z. B. hohe Grünmasseerträge werden im Herbst unzerkleinert untergepflügt)
- Positive phytosanitäre Effekte sind nicht in allen Untersuchungen bestätigt worden
- Jahresniederschlagsmengen von weniger als 550 mm mindern die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Zwischenfruchtanbaus.

Im folgenden werden einige positive Effekte des Zwischenfruchtanbaus bewertet. Die Kosten einer Zwischenfruchtbestellung werden in Kapitel 4 diskutiert.

a. Wird in reinen Marktfruchtbaubetrieben der Zwischenfruchtanbau in eine Zuckerrüben-Getreidefruchtfolge zur Erosionsminderung eingefügt, konnte bei Zuckerrüben gegenüber der Brache ein Mehrertrag um 30 dt/ha erreicht werden. (Daten der Ertragsmessung auf Betrieb 8 des FuE-Vorhabens, Mittelwert von fünf Jahren).

Am Standort Völktenrode wurden auf einem IS (= lehmiger Sand) in der 3. und 4. Rotation über sechs Jahre folgende Erträge gemessen, Abbildung 2. Die Zwischenfrüchte wurden dabei nach Wintergerste bestellt, so daß im Frühjahr eine Mulchsaat zu Zuckerrüben erfolgte. Bei Zuckerrüben ist ein Ertragsvorsprung von 60 bis 72 dt/ha, bei Winterweizen von 3,6 dt/ha und bei Wintergerste von 1,5 dt/ha zu verzeichnen.

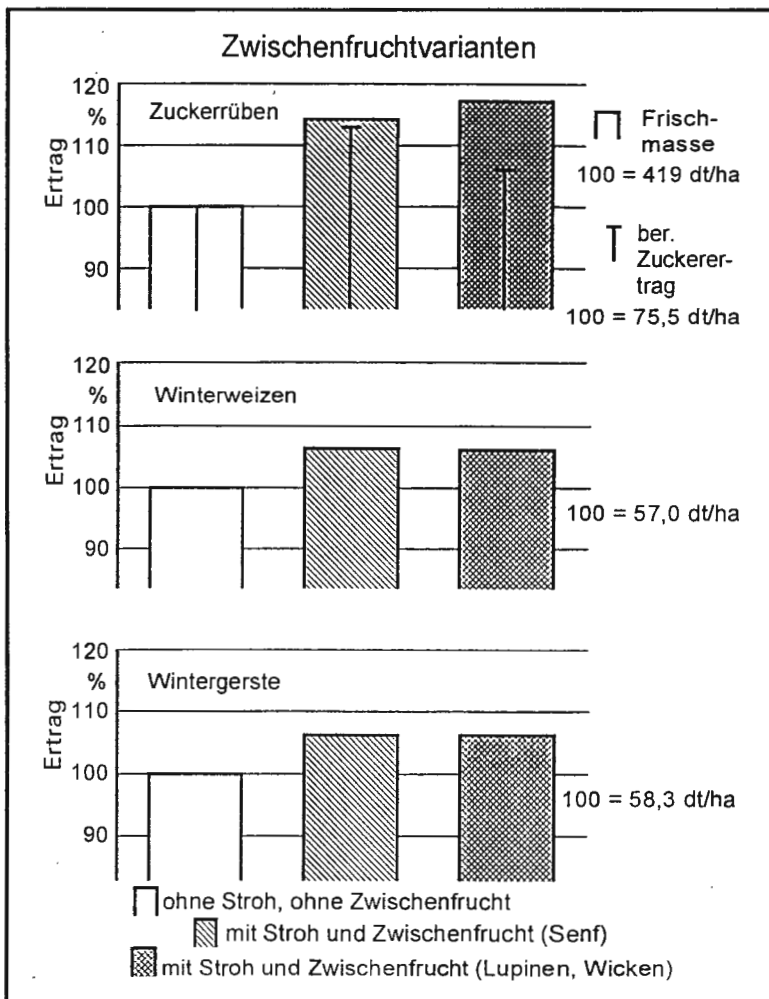


Abbildung 2: Einfluß der Zwischenfrucht auf den Ertrag von Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste auf einem lehmigen Sand (1985 bis 1990)

dt/ha	1987	1988	1989	1990	1987-1990
Brache	601	774	971	869	779
Senf	626	858	845	893	806
Phacelia	631	836	855	839	790

Tabelle 2: **Ertragsleistung von Zuckerrüben auf einem Lösslehm in Abhängigkeit von Zwischenfruchtanbau (Lütke Entrup, 1990)**

dt/ha	1988	1989	1990
Brache	77,8	70,0	52,0*
Senf	79,4	74,6	52,5*
Phacelia	---	74,7	---

* starker Virusbefall

Tabelle 3: **Ertragsleistung von Weizen nach Zwischenfruchtanbau vor Zuckerrüben (Lütke Entrup, 1990)**

Jahr	Zwischenfrucht	Ertrag dt/ha TM	N-Gehalt in %	N-Bindung im Aufwuchs kg/ha
1986	Phacelia	35	3,38	118
	Senf	45	3,32	149
1987	Phacelia	34	2,44	82
	Senf	60	1,60	96
1988	Phacelia	40	2,92	117
	Senf	56	2,85	160
1989	Phacelia	39	3,33	131
	Senf	50	2,26	114

Tabelle 4: **TM-Ertrag und Stickstoff-Bindung im Aufwuchs bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten (Lütke Entrup et al., 1990)**

Demnach läßt die positive Wirkung der Zwischenfrucht in der Rotation nach.

Die Ergebnisse der Zwischenfruchtversuche in der Soester Börde sind in Tabelle 2 und 3 dargestellt. So wurde bei Zuckerrüben nach Senf ein Mehrertrag von 27 dt/ha und nach Phacelia ein solcher von 11 dt/ha gegenüber Schwarzbrache erzielt. Diesen Ergebnissen liegt jeweils die ertragsoptimale N-Düngung zugrunde: Brache 120 kg/ha N, Senf und Phacelia variiert von 0 bis 120 kg/ha N. Auch der auf die Zuckerrüben folgende Winterweizen profitiert noch von der "Wohlfahrtswirkung" der Zwischenfrucht. So konnten im Mittel von drei Jahren 3,3 dt/ha mehr erzielt werden.

Wird die Wirkung der Zwischenfrucht allein auf die Erträge der Folgekulturen betrachtet, so entsteht bei Zuckerrüben ein Plus von 400 DM/ha (Schwankung von 110 bis 720 DM, angenommener mittlerer A-Rübenpreis von 10 DM/dt). Bei Getrei-

de nach Zuckerrüben ist ein Plus von 87 DM/ha (angenommener mittlerer Getreidepreis von 25 DM/dt) zu verzeichnen. Auf die dreigliedrige Fruchtfolge bezogen, entsteht im Mittel ein Nutzen von 162 DM/ha und Jahr (Schwankung von 66 bis 269 DM/ha). Der ertragsstabilisierende Effekt der Zwischenfrucht führt darüber hinaus zu einer verminderten "C-Rübenvorhaltung".

Fazit: Diese monetäre Leistung aus dem Zwischenfruchtanbau von 66 bis 269 DM/ha deckt den Mehraufwand für den Anbau einer Zwischenfrucht in Höhe von $(166 : 3 =) 55$ DM/ha und Jahr in jedem Fall ab (siehe Kapitel 4). Selbst bei hohen Nutzungskosten durch Arbeitsspitzen in der Zeitspanne der Zwischenfruchtbestellung wird eine Arbeitserledigung durch den Lohnunternehmer von dem Mehrerlös abgedeckt. Die Zusammenstellung der Ergebnisse mehrerer Versuchsansteller zeigt, daß die Mehraufwendungen für den Anbau von Zwischenfrüchten allein durch den Gründüngungseffekt, d. h. den Mehrertrag bei Folgekulturen mehr als abgedeckt wird.

b. Stickstoff-(N-)Dynamik:

Der Zwischenfruchtanbau beeinflusst die N-Dynamik im Herbst in starkem Maße. So zeigen umfangreiche Versuche der Fachhochschule Soest (Lütke Entrup et al., 1990), daß von Zwischenfrüchten bis zu 160 kg/ha N aufgenommen werden und eine Ertragsleistung bis zu 60 dt/ha TM erreicht wird, Tabelle 4. Dadurch konnten im Vergleich zur Brache die Nitrat-N-Gehalte im Boden zu Vegetationsende um bis zu 190 kg/ha $\text{NO}_3\text{-N}$ gesenkt und erhebliche N-Verluste durch Auswaschung und Denitrifikation gemindert werden. Im Mittel der Jahre konnten durch Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat ca. 50 kg/ha N eingespart werden.

3.2 Minderung des Umbruch- und Neueinsaatrisikos

Überschreiten die Starkregeneignisse ein bestimmtes Ausmaß, indem es zu quasiflächenhafter Erosion und zu Rinnen- bzw. Grabenerosion kommt, kann es über den Verlust von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln hinaus im frühen Entwicklungsstadium der Pflanzen zu einer Ausdünnung der Bestände durch Entwurzeln bzw. Zudecken von Pflanzen kommen (siehe auch Kapitel 5). Verbleiben nach einem Starkregeneignis, wie in Abbildung 3 gezeigt, nach konventioneller Saat mit Saatbettbereitung 27 % Feldaufgang, d. h. 33 700 Pflanzen/ha, so müssen Umbruch und Neueinsaat erfolgen.

Der Pflanzenbestand bei der Mulchsaat mit Saatbettbereitung befindet sich mit 47 500 Pflanzen/ha an der Umbruchgrenze. Im Einzelfall ist vor Ort zu entscheiden. Die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung liefert mit 70 000 Pflanzen/ha die Grundlage für einen hohen Ertrag. Für Umbruch und Neueinsaat würden Kosten für Bodenbearbeitung, Saat und Saatgut in Höhe von 300 bis 400 DM/ha entstehen. Unter der Annahme einer um drei Wochen verspäteten Aussaat treten zusätzli-

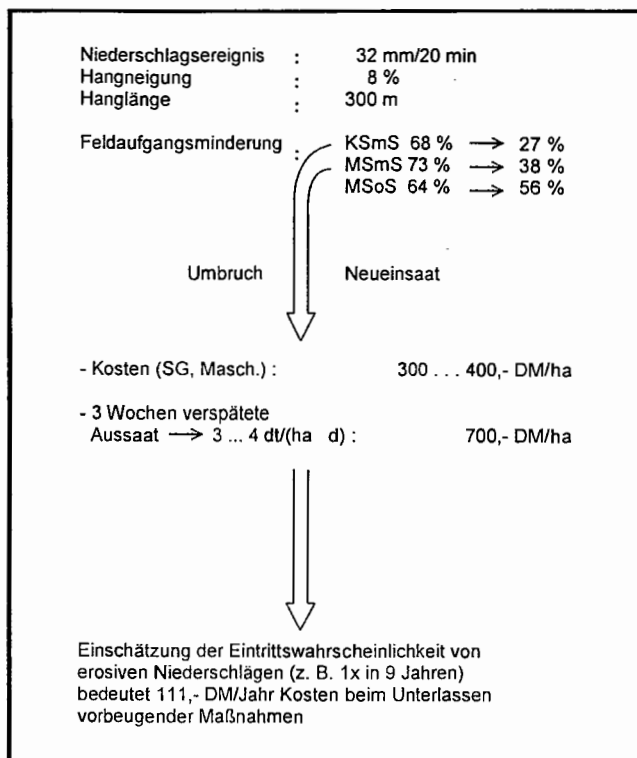


Abbildung 3: **Aufwendungen beim Umbruch und der Neueinsaat von Zuckerrüben nach erosiven Niederschlägen**

che Ertragseinbußen von 3 bis 4 dt/ha und Tag auf (Winner, 1982), das bedeutet Kosten in Höhe von 700 DM/ha.

Fazit: Bei der Anwendung von Mulchsaatverfahren bei Zuckerrüben ist nach Starkregenereignissen ein Umbruch und Neueinsaat nicht erforderlich, so daß in dem entsprechenden Jahr ca. 1 000 DM/ha Kosten eingespart werden. Der tatsächliche Nutzen pro Jahr hängt wiederum von der Eintrittswahrscheinlichkeit erosiver Niederschläge ab.

3.3 Vorbeugung zusätzlichen Betriebsmitteleinsatzes nach Umbruch

Ein Teil der organischen bzw. mineralischen Düngung zu Zuckerrüben wird bereits vor der Bodenbearbeitung im Frühjahr ausgebracht. Durch die Bearbeitung und die vorhandene Bodenfeuchte sind die Nährstoffe relativ schnell in der Bodenmatrix gelöst und unterliegen somit nicht der oberflächlichen Abschwemmung.

Anders verhält es sich mit nach der Saat auf eine feinkrümelige Oberfläche ausgebrachten Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Selbst wenn die Betriebsmittel nicht bewußt vor Starkregenereignissen ausgebracht werden, so sind sie dennoch in den ersten 4 bis 5 Tagen, bevor sie in Lösung gehen, bei hoher Gewitterneigung im Frühjahr der Gefahr einer Abschwemmung ausgesetzt.

Durch plötzlich einsetzende Starkregen kommt es bei unbedeckter Ackeroberfläche sehr schnell zu einer Verschläm-

mung, so daß bis zu 90 % des Regenwassers oberflächlich ablaufen (Mollenhauer 1994; Roth 1993). Da Porensysteme sehr schnell verstopfen, bevor Dünge- und Pflanzenschutzmittel in Lösung sind, kommt es zur Abschwemmung von Stickstoff und Herbiziden. Diese Betriebsmittel erfüllen nicht mehr ihren Zweck der Unkrautbekämpfung und Wachstumsförderung und bilden eine Umweltbelastung. Es kommt zu einer Eutrophierung und Belastung von Gewässern mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln. Die Beseitigung durch die öffentliche Hand würde hohe Kosten verursachen. Ist es nach Starkregenereignissen zu einer starken Ausdünnung der Pflanzenbestände gekommen und dadurch Umbruch und Neueinsaat notwendig, sind auch Dünge- und Pflanzenschutzmittel neu auszubringen.

Werden die aus den Schlagkarteidaten ermittelten Werte herangezogen, so treten bei einer erneuten Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln 105 bis 145 DM/ha (25 DM/ha Ausbringungskosten, 80 bis 120 DM/ha Mittelkosten) und von Düngemitteln 65 bis 85 DM/ha (15 DM/ha Ausbringungskosten, 50 bis 70 DM/ha Mittelkosten) auf. Sind beide Maßnahmen kurz hintereinander erfolgt, addieren sich die Werte.

Bisher sind die nach konventioneller Bodenbearbeitung evtl. auftretenden zusätzlichen Kosten aufgeführt, die nach Gewitterregen ein erneutes Ausbringen von Betriebsmitteln erforderlich machen. Die in dem FuE-Vorhaben durchgeführten Messungen und die Untersuchungen anderer Versuchsansteller zeigen, daß mit konservierender Bodenbearbeitung (insbesondere mit der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung) das Abfluß- und Abtragsgeschehen weitestgehend verhindert wird. Das heißt, daß für all die landwirtschaftlichen Betriebe, die Mulchsaatverfahren praktizieren, ein sehr viel geringeres Risiko besteht, Betriebsmittel erneut ausbringen zu müssen - sie sparen langfristige Kosten ein.

3.4 Bodenwerterhaltung

Ein wesentlicher Nutzen aus Erosionsschutzmaßnahmen besteht in der langfristigen Erhaltung der Ertragsfähigkeit. Für die grobe Abschätzung des monetären Wertes dieses Nutzens können zwei Bewertungsansätze herangezogen werden.

Der erste Ansatz beruht auf der Bewertung der Ertragsabnahme infolge von Erosion. Die Fähigkeit, nachhaltig hohe Erträge zu erbringen, hängt von einer Vielzahl von Bodeneigenschaften ab, die jeweils den Nährstoff-, Luft- und Wasserhaushalt bestimmen. Beeinträchtigungen des Nährstoffhaushaltes durch Erosion können weitgehend über die organische oder mineralische Düngung ausgeglichen werden, so daß die Ertragsfähigkeit eher durch eine Verschlechterung des Wasserhaushaltes abnimmt. Dies ist einerseits bei flachgründigen Böden der Fall, aber auch auf Standorten, die durch Mehrschichtprofile gekennzeichnet sind, in denen eine Schluffdecke (Löß, Lößlehm, Sandlöß) über groben Substraten wie Kiese oder Sande liegt (z. B. tertiäres Hügelland in Bayern, Sandlöß-Vorkommen im Raum Uelzen). Wird diese Schluffdecke erodiert, wird der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser im Wurzelraum (nFKWe) stark verringert. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Mächtigkeit der Schluffdecke bereits geringer ist als die Durchwurzelungstiefe.

Eine enge Beziehung zwischen der Mächtigkeit der Schluffdecke und dem Ertrag von Silomais ist von Stürmer et al. (1980) für Lößstandorte des tertiären Hügellandes für das Trockenjahr 1980 festgestellt worden. Eine Abnahme der Schluffdeckenmächtigkeit durch Erosion von 130 auf 0 cm bewirkte dort eine Ertragsminderung von 60 %. Für Zuckerrüben liegen ähnliche Ergebnisse von Wessolek et al. (1992) vor, die ebenfalls für Trockenjahre eine Ertragsdifferenz von 120 dt TM/ha (etwa 50 %) bei einer Abnahme der nFKW_e um 170 mm auswiesen. Die Abnahme der nFKW_e beruhte dabei auf einem Wechsel von Löß auf Sand. Aus beiden Arbeiten geht hervor, daß sich der Nutzen von Erosionsschutzmaßnahmen zur Erhaltung der Schluffdeckenmächtigkeit im Bereich 0,10 bis 2 DM/ha und Jahr bewegen dürfte. Diese Werte brauchen aufgrund ihres geringen Ausmaßes in der weiteren Betrachtung nicht mehr berücksichtigt zu werden.

Der zweite Ansatz zur Bewertung des Nutzens aus Bodenwerterhaltung liegt in der Berücksichtigung des derzeitigen Marktpreises des Bodens, der sich vor allem nach den Bodenpunkten richtet. Aus der Differenz der Preise für Standorte mit nicht oder nur wenig erodierten Parabraunerden und solcher Standorte, die durch Pararendzinen aus Löß gekennzeichnet sind, läßt sich die Abnahme des Bodenwertes zu Marktpreisen abschätzen. Im vorliegenden Fall wird von einer Löß-Parabraunerde mit 75 Bodenpunkten ausgegangen, die derzeit einen Marktwert von 40 000 DM/ha aufweist. Findet eine ungehinderte Bodenerosion statt, wandelt sich dieser Bodentyp bei konventioneller Bearbeitung in 382 Jahren (Verkürzung des Profils von 1 mm entspricht einem Bodenverlust von 15 t/ha) durch die Verkürzung des Profils um 60 cm aufgrund des Oberbodenverlustes zu einer Löß-Pararendzina um, die nur noch 25 000 DM/ha wert ist (bei etwa 55 Bodenpunkten). Der Nutzen von Erosionsschutzmaßnahmen läge im Erhalt des ursprünglichen Bodentyps und läßt sich aus der Differenz von 40 000 bis 25 000 DM = 15 000 DM ermitteln.

Um nun auf einen mittleren jährlichen Nutzen zu kommen, muß dieser Betrag in Beziehung zur Minderung der mittleren jährlichen Abtragsrate durch Erosionsschutzmaßnahmen gesetzt werden. Werden die in Tabelle 1 aufgeführten Abtragsraten zugrunde gelegt, so entsteht bei konventioneller Saat mit Saatbettbereitung eine Bodenwertminderung von 40 DM/ha u. Jahr. Diese fällt mit 25 DM/ha u. Jahr bei der Mulchsaat mit Saatbettbereitung geringer aus und beträgt bei der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung aufgrund geringerer Abtragswerte nur 15 DM/ha u. Jahr. Das heißt, der Nutzen bei Mulchsaaten liegt in einer längeren Zeitspanne für die Profilverkürzung (MSmS = 625 Jahre, MSoS = 1000 Jahre) bzw. in der Differenz der beiden geringeren jährlichen Wertminderungsraten gegenüber konventionellem Anbau (MSmS = 15 DM/ha u. Jahr, MSoS = 25 DM/ha u. Jahr).

Allerdings müssen an dieser Stelle einige Einschränkungen geltend gemacht werden. Bei beiden Bewertungsansätzen liegt die Annahme zugrunde, daß ein Verlust der Krume durch die Bodenentwicklung im Unterboden nicht kompensiert wird, d. h., es wird von statischen Bodenprofilen ausgegangen, die über die Zeit zunehmend verkürzt werden. Diese

Annahme läßt sich am ehesten noch für flachgründige Böden treffen, bei denen die Krume wenige Dezimeter über dem anstehenden Gestein liegt. Betrachtet man aber die für einen vollständigen Abtrag der Krume nötigen Zeiträume (bei 15 t/ha und 30 cm Krume etwa 300 Jahre), muß davon ausgegangen werden, daß auf tiefgründigen, gut durchwurzelbaren Böden ein Teil des Krumenverlustes durch die Bodenentwicklung (Humusanreicherung durch Wurzeln) im Unterboden wettgemacht wird, so daß die oben aufgeführten Abschätzungen des monetären Nutzens eher eine Überschätzung darstellen und den sog. "günstigsten Fall" repräsentieren.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Entwicklung der Ertragsfähigkeit bzw. der Marktpreise des Bodens. Es ist heute niemand in der Lage, die Deckungsbeiträge der Fruchtarten über einen derart langen Zeitraum vorherzusagen. Vielleicht ändert sich sogar die Nutzung einiger heute noch erosionsgefährdeter Regionen völlig, indem Landschaftsschutzgebiete bzw. Erholungsgebiete entstehen. Ob mit oder ohne Ackernutzung, über die Entwicklung der Bodenpreise kann über einen längeren Zeitraum keine Aussage getroffen werden. Der einzelbetriebliche Nutzen aus der Bodenwerterhaltung nimmt eine geringe Dimension ein. Ganz anders verhält es sich mit der Auswirkung von Bodenerosion auf die Volkswirtschaft. Die Ablagerung von fruchtbarem Boden in Vorflutern, Gräben, Seen, Talsperren sowie auf Wegen und Straßen kann zu hohen Kosten der öffentlichen Hand führen, wenn es um die Beseitigung des Bodens geht.

4 Kosten von Erosionsschutzmaßnahmen

Aus den Untersuchungen von Mollenhauer, Roth und anderen ist die Effizienz von Zwischenfrüchten zur Erosionskontrolle deutlich herausgestellt. Zwischenfrüchte dienen ursprünglich fast ausschließlich der Futternutzung in viehhaltenden Betrieben. In reinen Marktfruchtbaubetrieben wurden in den letzten 20 Jahren aufgrund betriebswirtschaftlicher Auswertungen die Zwischenfrucht als Verursacher von Kosten wenig beachtet - der ackerbauliche Nutzen wurde häufig bestritten. So entstehen im konventionellen Ackerbau keine Kosten aus dem Zwischenfruchtanbau.

Bei der Kostenkalkulation geht es im folgenden nicht um kulturtechnische Maßnahmen, sondern ausschließlich um den Anbau von Zwischenfrüchten bzw. um die Nutzung der Vorfruchtrückstände (von Winterweizen und Roggen) zur Minderung von Oberflächenabfluß und Bodenerosion. Beide Verfahren werden mit dem konventionellen Anbau verglichen.

Bei den Kosten für die Arbeitserledigung der Verfahren werden die Kosten für Schlepper und Gerät unterhalb der Abschreibungsschwelle sowie der Lohnaufwand für den Fahrer berücksichtigt. Die einzelnen Bodenbearbeitungsverfahren sind durch folgende Arbeitsgänge gekennzeichnet:

a) Konventionelle Bodenbearbeitung

Nach Aberntung der Vorfrucht erfolgt eine nach Art und Tiefe des Eingriffes gestaffelte Stoppelbearbeitung mit Spatenrolle und Grubber. Auf Tonstandorten schließt sich die Pflugfurche im Herbst, auf Lehmstandorten im Frühjahr an.

Arbeitsgänge	Konventionelle Bearbeitung	Zwischenfruchtbestellung	Strohmulch
Stoppelbearbeitung: • Spatenrolle • Grubber	48 85	48 85	48
Grundbodenbearbeitung • Pflug + Packer • Grubber	170	170	85
Zwischenfruchtbestellung: • N-Dünger-Ausbringung • Kreiselegge + Sämaschine • Saatgut		17 142 80	
Saatbettbereitung Zuckerrüben/Mais: • Ackeregge + Ackeregge • Garegge + Wälzege • Kreiselegge (Mulchen)	46 46		112
Saat Zuckerrüben • Einzelkornsäugerät	88	107	88
Summe verfahrensspezifischer Kosten	483	649*	333

*Gilt für Mulchsaat ohne Saatbettbereitung.
Bei Mulchsaat mit Saatbettbereitung ergeben sich 761 DM/ha.

Tabelle 5: **Kosten der Zwischenfruchtbestellung (DM/ha) im Vergleich mit anderer Verfahren**

Zur Zuckerrüben- bzw. Maisbestellung sind i. d. R. zwei Arbeitsgänge mit einer gezogenen Saatbettkombination (1. Mal Ackeregge/Ackeregge, 2. Mal Garegge/Kombikrümler) erforderlich. Es folgt die Bestellung mit dem konventionellen Einzelkornsäugerät.

b) Zwischenfruchtbestellung zur Erosionskontrolle

Auch im Zwischenfruchtanbau kann auf eine gründliche Stoppelbearbeitung zur Bekämpfung von Ausfallgetreide und Unkräutern nicht verzichtet werden. Als Zwischenfrüchte kommen Phacelia, Senf und Ölettrich in Frage. Mitte August erfolgt eine trockene Sommerpflugfurche mit Packer. Nach einer Stickstoffstartgabe von 50 kg/ha N wird sogleich die Zwischenfrucht mit einer Bestellkombination ausgesät. Der Stickstoff ist im Frühjahr einzusparen. Auf Lehmstandorten wird im Frühjahr das abgestorbene Stengelmaterial mit einer Kreiselegge eingemulcht und eine Mulchsaat mit Saatbettbereitung durchgeführt. Auf Tonstandorten entfällt der Mulchgang, so daß lediglich die Aussaat in Form der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung erfolgt (in Tabelle 5 zugrunde gelegt). Für die Mulchsaaten sind i. d. R. spezielle Sämaschinen erforderlich, um die Sameneinbettung bei vorhandenen Pflanzenrückständen zu ermöglichen.

Bei Winterweizen bzw. Winterroggen als Vorfrucht ist aus Zeitgründen eine Zwischenfrucht schwieriger unterzubringen. Häufig ist es zweckmäßig, das reichhaltige Angebot an Stroh als Oberflächenschutz zu nutzen. Die Bearbeitungsmaßnahmen sind nicht auf einen beschleunigten, sondern verzögerten Abbau auszurichten. Drei Wochen nach dem Mähdrusch erfolgt eine flache Stoppelbearbeitung mit der Spatenrolle und Mitte Oktober eine zweite Bearbeitung auf halbe Krumentiefe mit dem Grubber. Im Frühjahr zur Aussaat ist dann lediglich ein flacher Mulchgang mit der Kreiselegge erforderlich. Bei kurz gehäckseltem Stroh reichen konventionelle Einzelkornsäugeräte aus.

Die Summe der verfahrensspezifischen Kosten (Tabelle 5) beläuft sich für die konventionelle Bodenbearbeitung auf 483 DM/ha. Wird pfluglos mit Strohresten an der Oberfläche gearbeitet, kommt es zu einer Einsparung von 150 DM/ha. Beim Anbau von Zwischenfrüchten besteht ein Mehraufwand gegenüber konventionell von 166 DM/ha für Bodenbearbeitung und Saatgut.

Unter der Annahme, daß konservierende Verfahren nur im Anbaujahr der Zuckerrüben praktiziert werden und zu den Folgefrüchten Winterweizen und Wintergerste konventionell gearbeitet wird, verändern sich die berechneten Werte in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. Die Kostenunter-

schiede der Verfahren/Jahr ergeben sich durch Division der Werte für die Rotation mit dem Faktor 3 (150:3, 166:3). Die Einsparungen gegenüber konventionell belaufen sich demnach beim Strohmulchverfahren auf 50 DM/ha u. Jahr, und der Mehraufwand beim Zwischenfruchtanbau liegt bei 55 DM/ha u. Jahr.

5 Wirtschaftlichkeit von Erosionsschutzmaßnahmen

Die Notwendigkeit, Erosionsschutzmaßnahmen durchzuführen, hängt vom Standort und von der Fruchtfolge ab. Hangneigungen > 5 %, Schlaglängen von mehr als 200 m, große Neigung zu Starkregenereignissen und die Aussaat von Reihenfrüchten erfordern vorsorgende Maßnahmen zum Bodenschutz.

Im Mittelpunkt des FuE-Vorhabens standen nicht kulturtechnische Maßnahmen zur Erosionsminderung, sondern acker- und pflanzenbauliche Konzepte. Die durchgeführten Feld- und Labormessungen haben die Eignung und Effizienz des Zwischenfruchtanbaus zur Erosionsminderung vor der Bestellung von Reihenfrüchten belegt. Die mit dem Zwischenfruchtanbau verbundenen Nutzen und Kosten sind in Kapitel 3 und 4 detailliert aufgeführt und bilden die Grundlage für die im folgenden dargestellte Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Beim Nutzen aus dem Zwischenfruchtanbau sind nur die Parameter berücksichtigt, die annähernd monetär zu bewerten sind, wie Gründüngungseffekt, Minderung von Bodenerosion und Konservierung von Nährstoffen. Andere Parameter wie Aktivierung des Bodenlebens, Bodendurchlüftung und phytosanitäre Effekte sind vor dem Hintergrund einer Wirtschaftlichkeitsberechnung nur sehr schwer meßbar und wurden nicht berücksichtigt.

Auch bei den nachteiligen Wirkungen aus dem Zwischenfruchtanbau konnten die Kosten der Bestellung relativ einfach aufgestellt werden. Nicht berücksichtigt wurden z. B. die Arbeitsspitzen, die Opportunitätskosten verursachen können, die jedoch nur betriebsspezifisch zu berechnen sind. Auch Er-

Bodenbearbeitungsverfahren	N u t z e n					Kosten	Vergleich
	Zw.-Frucht Gründung	Zw.-Frucht N-Einsparung	Einsparung, Masch. Saatgut	Umbruch/NE Dünge-, PS- Mittel	Bodenwert- Erhaltung	(+Erhöhung) (-Minderung)	(+Nutzen) (-Kosten)
konventionelle Saat mit SB	0	0	0	0	0	0	0
Mulchsaat mit SB (Stroh)	0	0	37	7	15	- 50	+ 109
Mulchsaat mit SB (Zw.-Frucht)	162 (66 bis 269)	17	37	7	15	+ 93	+ 145 (+ 49 bis + 252)
Mulchsaat ohne SB (Zw.-Frucht)	162 (66 bis 269)	17	37	7	25	+ 55	+ 193 (+ 97 bis + 300)

SB = Saatbettbereitung; Zw.-Frucht = Zwischenfrucht; PS = Pflanzenschutz; NE = Neueinsaat

Tabelle 6: **Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich zum Erosionsschutz (Angaben in DM/ha und Jahr gegenüber konventionell für die Fruchtfolge ZR-WW-WG) für den Modellbetrieb**

tragsdepressionen der Kulturarten bei unsachgemäßem Zwischenfruchtanbau und der Einfluß von Jahresniederschlägen auf den Erfolg vom Zwischenfruchtanbau konnten nicht berücksichtigt werden.

Bei der konventionellen Bodenbearbeitung fallen Kosten für den Zwischenfruchtanbau nicht an, jedoch ist mit entgangenem Nutzen im Fall von Starkregenereignissen zu rechnen z. B. in Form von Kosten für Umbruch und Neueinsaat. Im Berechnungsansatz werden Nutzen und Kosten bei konventioneller Bodenbearbeitung gleich 0 gesetzt und alle davon abweichende Positionen bei konservierender Bodenbearbeitung berücksichtigt. Zu den Kosten der Zwischenfruchtbestellung zählt die gesamte Arbeiterledigung incl. Saatgut (Tabelle 5). Bei der Mulchsaat auf Basis Stroh treten keine zusätzlichen Kosten, dafür aber Einsparungen gegenüber der konventionellen Saat auf.

Der Gesamtnutzen konservierender Verfahren ist nach der Bedeutung für den Einzelbetrieb gegliedert (Tabelle 6):

- A: Gründüfungseffekt der Zwischenfrucht auf die Ertragsleistung
- B: N-Einsparung bei Zwischenfruchtanbau
- C: Einsparung für Umbruch und Neueinsaat
- D: Einsparung für Neuausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln im Fall von Umbruch und Neueinsaat

Dem Ansatz liegt eine dreigliedrige Fruchtfolge aus Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste (Zwischenfrucht) zugrunde. Weiterhin wird angenommen, daß alle neun Jahre auf der Zuckerrübenfläche des Modellbetriebes stark erosive Niederschläge auftreten, die Umbruch und Neueinsaat (Spalte C) mit wiederholter Dünge- und Pflanzenschutzmittelausbringung (Spalte D) notwendig machen. Die N-Einsparung aus dem Zwischenfruchtanbau (Spalte B) tritt jedes dritte Jahr bei Zuckerrüben auf, nicht aber bei der Mulchsaat auf Strohbasis.

Der Gründüfungseffekt aus dem Zwischenfruchtanbau (Spalte A) bringt für die Zuckerrüben und die Folgefrucht Winterweizen positive Ertragswirkungen. In den zitierten Quellen einiger Versuchsansteller sind große Unterschiede im Gründüfungseffekt aufgetreten. Geringe positive Effekte können z. B. bei ungünstigen

Rahmenbedingungen (feuchte Bestellung, viel unverrottetes Stroh), hohe positive Effekte bei günstigen Bedingungen auftreten. In Tabelle 6 sind die Mittelwerte mit der Streuung in Klammern ausgewiesen.

Bei der Bodenwerterhaltung (Spalte E) sind die Beträge angegeben, die sich aus den erhobenen mittleren Bodenabtragsraten pro ha und Jahr ergeben (Kapitel 3.4). In der Kostenspalte sind die Beträge aufgeführt, mit denen sich die Mulchsaatverfahren von den konventionellen unterscheiden. Die in jedem dritten Jahr auftretenden Mehraufwendungen durch den Zwischenfruchtanbau sind hier auf ein Jahr umgerechnet.

1. Bei der *Mulchsaat mit Saatbettbereitung auf Basis Stroh* besteht der Nutzen gegenüber 'konventionell' in einem niedrigeren Umbruchrisiko, in einer verbesserten Erhaltung des Bodenwertes und in niedrigeren Kosten bei der Arbeiterledigung. Die Einsparung von 150 DM/ha auf drei Jahre verteilt, ergeben 50 DM/ha und Jahr (Tabelle 5). Der Nutzen wird auf 109 DM/ha und Jahr bemessen.
2. Die *Mulchsaat mit Saatbettbereitung auf Basis Zwischenfrucht* deckt durch den Gründüfungseffekt den Mehraufwand des Zwischenfruchtanbaus ab. Umbruchrisiko und Bodenwerterhaltung sind vergleichbar mit der Strohmulchvariante. Der Gesamtnutzen von 145 DM/ha und Jahr liegt geringfügig höher.
3. Bei der *Mulchsaat ohne Saatbettbereitung auf Basis Zwischenfrucht* addieren sich Gründüfungseffekt, geringes Umbruchrisiko und Erhaltung des Bodenwertes zu dem höchsten Nutzen auf. Die Kosten der Arbeiterledigung für den Zwischenfruchtanbau sind gegenüber der Mulchsaat mit Saatbettbereitung niedriger, da der Mulchgang zu Zuckerrüben im Frühjahr eingespart wird. Selbst wenn ungünstige Rahmenbedingungen für den Zwischenfruchtanbau angenommen werden, schneidet dieses Verfahren noch mit + 97 DM/ha und Jahr ab. Bei günstigen Bedingungen werden 300 DM/ha und Jahr erreicht.

Ist der Anbau von Zwischenfrüchten aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen bzw. fehlender Niederschläge nicht möglich, bietet der Erosionsschutz aus Strohmulch eine praktikable Alternative und ist in jedem Fall dem konventionellen Anbau vorzuziehen. Voraussetzung ist allerdings der Anbau von Winterweizen bzw. Winterroggen als Vorfrucht. Die Minderung von Bodenerosion könnte dann eine Veränderung der Fruchtfolge bedeuten. Die Änderung der Nutzungsverhältnisse hat i. d. R. Auswirkungen auf die Deckungsbeiträge.

Der Nutzen der Erosionsschutzmaßnahmen ist abzuleiten aus den Schäden, die beim Verzicht der Maßnahmen entstehen würden. Die Formen des einzelbetrieblichen Nutzens haben sich dabei auf die Fläche bezogen, die unmittelbar vom Bodenabtrag betroffen ist. So ist der Gründüngungseffekt des Zwischenfruchtanbaus der dominierende - er wirkt kurzfristig. Das geringere Risiko für Umbruch und Neueinsatz mit erneuter Betriebsmittelausbringung (Düngung, Pflanzenschutz) rangiert an zweiter Stelle und ist mittelfristig zu kalkulieren.

Die geringste Bedeutung hat die Bodenwerterhaltung (Ertragsfähigkeit) - sie wirkt langfristig und ist kaum kalkulierbar. Aus Sicht des Einzelbetriebes ist dieser Nutzen wenig einsichtig. Er wird in seiner Langfristwirkung häufig unterschätzt und ignoriert. Ertragsabsenkungen durch Bodenabträge konnten in der Vergangenheit durch produktionstechnischen Fortschritt kompensiert werden, so daß langfristig negative Auswirkungen der Bodenerosion als Verursacher nur schwer erkennbar waren. Der einzelbetriebliche Schaden aus andauerndem Bodenabtrag ist nur sehr schwer mit der abnehmenden Ertragsfähigkeit bzw. einem sinkenden Verkaufspreis des Bodens zu bewerten. Während die Entstehung von Bodenabträgen einzelbetrieblich geringe Auswirkungen hat, kann der Ort der Bodeneinträge für die Gesamtwirtschaft große Bedeutung haben. Es entstehen der öffentlichen Hand Kosten für Sanierungsmaßnahmen von Verkehrswegen, Gräben, Talsperren, Trinkwasserreservoirs u. a.

In dem Augenblick, wo der Landwirt einen finanziellen Beitrag zu den öffentlichen Sanierungskosten zu leisten hat, bekommt der einzelbetriebliche Nutzen-Kosten-Vergleich eine völlig andere Dimension. Der Nutzen aus Erosionsschutzmaßnahmen würde dann eine Einsparung von Sanierungsmaßnahmen an Landschaftselementen bedeuten. Es könnte vorsorgend eine Eutrophierung von Gewässern und Biotopflächen durch Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleintrag vermieden werden. Die monetäre Bewertung dieser Schutzmaßnahmen würde sich noch schwieriger als auf einzelbetrieblichen Flächen gestalten.

Werden z. B. Erosionsschutzmaßnahmen in Form konservierender Bodenbearbeitung auf gefährdeten Flächen vom Landwirt nicht praktiziert, ist es denkbar, eine Nutzungsänderung zu verordnen.

In Ackerbaubetrieben bestimmter Regionen zählt die Zuckerrübe zu den Früchten mit der höchsten Erosionsgefährdung, erbringt jedoch den höchsten Deckungsbeitrag. Soll die Erosionsgefahr über eine Änderung in der Fruchtfolge gemindert werden, so kommt nur eine Blattfrucht, wie z. B. Winter-

rap, in Frage. Dadurch würden die Brachezeiten verkürzt, und der Boden wäre fast über die gesamte Fruchtfolge durch Kulturpflanzen bedeckt. Körnerap, aber mindert bei Ausschaltung der Zuckerrübe den Deckungsbeitrag um 1 000 bis 1 500 DM/ha (um Faktoransprüche und Faktorlieferungen korrigiert). - Alternativ zur Zuckerrübe kann nach den neuen EU-Richtlinien auch eine Stilllegung auf einem Teil der Fläche in Form der Rotationsbrache erfolgen. Die hier gezahlten Prämien liegen um 1 500 bis 2 000 DM/ha unter dem Deckungsbeitrag der Zuckerrüben.

In den Futterbaubetrieben ist bei Nichtanwendung von Mulchsaatverfahren der Silomais in der Fruchtfolge durch Getreideganzpflanzen- und/oder Weidelgrassilage zu ersetzen. Ist die Fläche ein knapper Faktor des Betriebes, so wird möglicherweise die erforderliche Menge KSTE/Jahr nicht erreicht. Dies muß durch den Zukauf von Grund- bzw. Kraftfutter oder durch Einschränkung des Tierbestandes ausgeglichen werden und kann eine Minderung des Gesamtdeckungsbeitrages bedeuten. Darüber hinaus ist eine Umstellung in der Futterproduktion mit Eingriffen in die Betriebsorganisation verbunden.

Die drei oben genannten Alternativen werden aufgrund sinkender Deckungsbeiträge von den Betrieben nicht gewählt. Stattdessen ist es sinnvoller, die bestehenden Fruchtarten Zuckerrüben und Silomais nach konservierender Bodenbearbeitung anzubauen und einen effektiveren Beitrag zum Bodenschutz zu leisten.

Die bisher vorgestellten Strategien sind auf die Möglichkeiten landwirtschaftlicher Betriebe beschränkt, mit eigenen Mitteln unter Rentabilitäts Gesichtspunkten Erosionsschutzmaßnahmen durchzuführen. Durch die Ausgestaltung eines Prämiensystems als externe Maßnahme könnte der Anreiz für Betriebe erhöht werden, bodenschützende Strategien zu praktizieren. Zwei Beispiele für geeignete Prämiensysteme sollen dies verdeutlichen :

1. Das Land Baden-Württemberg zahlt im Rahmen des MEKA-Programmes (= Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm) für die Begrünung von Ackerflächen durch Zwischenfrüchte vom 15. September bis 28. Februar 140 DM/ha und bei anschließender Mulchsaat (in Stroh- und/oder Zwischenfruchtreste) 120 DM/ha. Zulässig bei der Mulchsaat ist lediglich eine flache Bodenbearbeitung (Reiter, 1994). Solch eine Unterstützung würde die Bereitschaft der Betriebe fördern, eine Zwischenfrucht in die Fruchtfolge zur Erosionsminderung zu integrieren. Die gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung auftretenden zusätzlichen Kosten würden dadurch gedeckt. Die Effizienz, mit öffentlichen Geldern vorbeugend Erosionsschutz zu betreiben, wäre hier sehr viel höher, als im Nachhinein aufwendige Sanierungsmaßnahmen in der Kulturlandschaft durchzuführen.
2. In den USA liegen inzwischen Erfahrungen mit einem alternativen Prämiensystem vor: CONSERVATION RESERVE PROGRAM. Ziel dieses Programmes ist die Erosionsbekämpfung und Reduzierung von Marktüberschüssen durch Stilllegung erosionsgefährdeter Ackerflächen. Die teilnehmenden Farmer reichen den staatlichen Stellen ein Ange-

bot ein, zu dem sie bereit sind, Umweltschutzmaßnahmen zu leisten. Alle Anträge, die unter einer, den Farmern vorher nicht bekannten Grenze liegen, werden genehmigt. Damit sind die Betriebe in ein Verfahren eingebunden, das bei der Vergabe staatlicher Aufträge an private Unternehmen üblich ist und sich als leistungsfähig bewährt hat (Latacz-Lohmann, 1993). Die öffentliche Hand unterstützt damit ihre Zielsetzung, typische Landschaftselemente zu erhalten.

6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Mittels des beschriebenen Nutzen-Kosten-Vergleichs ist der Beitrag verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Erosionsminderung und die damit verbundenen Aufwendungen monetär zu bewerten. Dabei sind nur die halbwegs meßbaren Nutzen und Kosten wie Gründungseffekt, Minderung von Erosion und Bestellkosten berücksichtigt. Andere Parameter, wie z. B. Aktivierung des Bodenlebens oder Mehrkosten durch Arbeitsspitzen, sind schwer zu quantifizieren und deshalb nur erwähnt.

Ein hoher Bedeckungsgrad durch organisches Material und ein intaktes senkrechtes Porensystem beugen der Bodenerosion bestmöglich vor. Sowohl die Aussaat von Zwischenfrüchten wie auch die Nutzung von Vorfruchtresten sind im Vergleich zum konventionellen Anbau rentable Verfahrenstrategien. Dabei überwiegt i. d. R. der kurzfristige Gründungseffekt gegenüber dem langfristigen Effekt der Bodenwerterhaltung. In jeder Hinsicht kann der Landwirt jedoch nach einer Eingewöhnungszeit mit einem Gewinn bei der Anwendung konservierender Bodenbearbeitung rechnen.

Der hier vorgenommene Nutzen-Kosten-Vergleich berücksichtigt nur die "on-site"-Schäden, die den Landwirt monetär direkt belasten. Würde nach dem Verursacherprinzip der Landwirt auch für die sogenannten "off-site"-Schäden aufgrund gesetzlicher Auflagen (Stichworte wie "Bodenschutzgesetzgebung, TA Boden" weisen bereits darauf hin) zahlen müssen, ergäben sich andere Nutzen-Kosten-Verhältnisse.

Als größtes landschaftsökologisches Problem stellt sich die Eutrophierung und Belastung von Gewässern mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln dar. Dies ist allerdings schwer monetär zu bewerten (was kostet die Erhaltung einer Tierart oder eines Biotops?). Sicher ist nur, daß bereits geringste Mengen an Abfluß und Abtrag eine große ökologische Wirkung ausüben können (Auerswald, 1989), insbesondere wenn die zum Acker angrenzenden Ökosysteme eine geringe Pufferfähigkeit haben. Auch Rand- und Uferstreifen vermögen den Stoffeintrag nicht nennenswert zu reduzieren, weil sie zwar gröberes Sediment zurückhalten, aber nicht die im Abfluß gelösten Stoffe. Dies gilt vor allem dann, wenn es sich um linear konzentrierten Eintrag handelt (Frede et al., 1994). Sediment- und Stoffeinträge in Gewässer verursachen auch Kosten in der Wasserwirtschaft bei der Trinkwasseraufbereitung und bei der Entschlammung von Vorflutern oder Talsperren.

Verfahren konservierender Bodenbearbeitung sind somit bei einzelbetrieblicher als auch bei gesamtwirtschaftlich/landschaftsökologischer Betrachtung eine Alternative zum kon-

ventionellen Anbau. Sie erhalten nicht nur die Ertragsfähigkeit der Böden und die Rentabilität der Verfahren auf den Betrieben, sondern verbessern zusätzlich die Wohlfahrt der Volkswirtschaft, indem die Eutrophierung und Belastung von Gewässern mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln gemindert wird und gesamtwirtschaftlich Kosten für die Sanierung eingespart werden.

Da die positiven Effekte konservierender Verfahren für Landwirte, Öffentlichkeit und Regierung nicht augenscheinlich sind, sollten von außen Signalwirkungen und finanzielle Anreize kommen, um den Einstieg in neue Verfahren der Bodenbewirtschaftung zu erleichtern. Dadurch könnte die Hemmschwelle für viele Betriebe, traditionelle Bearbeitungsverfahren zu verlassen, gesenkt werden. Wichtig dabei ist eine intensive Begleitung durch Beratung, Wissenschaft und Praxis, die bereits über einen hohen Kenntnisstand bezüglich des Umgangs mit konservierender Bodenbearbeitung verfügen. Der daraus sich ergebende Nutzen für die landwirtschaftlichen Betriebe und die Volkswirtschaft müßte nicht einmal teuer erkaufte werden, sondern könnte durch Umstrukturierung der Bodenbearbeitung aus sich selbst erwachsen.

Benefit-cost analysis of erosion control by processes of mulch seeding on farm level

By means of the described benefit-cost analysis the part of different tillage systems for the reduction of erosion and the connected costs can be evaluated economically. Hereby only the measurable benefits and costs such as the effect of fertilisation by intermediate crops, reduction of erosion and the costs of sowing are considered. Other parameters such as activating the soil fauna and the additional costs caused by work peaks, are difficult to quantify and therefore only mentioned.

A high percentage of cover by organic material and a functional vertical pore - system prevent soil erosion the best possible way. The sowing of intermediate crops as well as the use of crop residues are production strategies which are economical compared with conventional systems. Normally the short term effect of green manuring will dominate the long term effect of preserving the soil value. In each way the farmer can expect an economical profit when using conservation tillage after a period of acclimatisation.

This benefit - cost analysis considers only the on-site damage, which financially burdens the farmer directly. Would farmers have to pay according to the damage producer scheme for so called off-site damage, using legal orders (keywords like "soil protection law, Technical Instruction Soil indicate this already), different benefit - cost - relations would result.

The biggest agricultural-ecological problem is the eutrofication and the burden of waters with nutrients and plant protection products. Yet this is difficult to value financially (how much does it cost to preserve an animal species or a biotope?). Sure is only, that the smallest amount of water and soil erosion can have already great ecological effects (Auerswald, 1989), especially if the neighbouring ecosystems have a limited buffer. Border strips as well as bank lines are not capable to reduce nutrient run off. They retain larger sediments,

yet not nutrients dissolved in run off water. This is especially valid if it is a linearly concentrated run off (Frede et al., 1994). Sediment and nutrient run off into waters also cause costs in the water management for the processing of drinking water and for the removing of sediments from the main drainage channels and dams.

Thus, systems of conservation tillage are considered at farm level and as well as at entire economical/ecological level an alternative to the conventional tillage. They preserve not only the yield capacity of soils and profitability of the tillage system, but also they additionally improve the welfare of the national economy while reducing the eutrofication and burden of waters with nutrients and plant protection products and save the national economy costs for restoration.

Since positive effects of conservation tillage systems are not evident to farmers, public and government, there should be signals and financial incentives from outside to facilitate the progress of new tillage systems. Through that, the hindrance could be lowered for many farmers to quit traditional tillage systems. For this, the guidance by advisory services, science and practise, who have already a high degree of knowledge concerning the handling of conservation tillage, is important. The resulting advantages for farms and the national economy would not have to be bought expensively, they could arise from itself through restructuring the tillage.

Literatur

- Auerswald, K. (1989): Predicting nutrient enrichment from long-term average soil loss. - *Soil Technology* 2, S. 271-277.
- Boguslawski, E. v. (1971): Ökologische Probleme der Landnutzung. - *AVA Sonderheft* 42, S. 90-119.
- Bork, H. R. (1988): Bodenerosion und Umwelt. Verlauf, Ursachen und Folgen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion - Bodenerosionsprozesse - Modelle und Simulationen. - *Landschaftsgenese und Landschaftsökologie*, TU Braunschweig (13), 249 S.
- Brunotte, J. (1990): Landtechnische Maßnahmen zum bodenschonenden und bodenschützenden Zuckerübenanbau. - *Dissertation*, Universität Kiel, 205 S.
- Brunotte, J. und E. Isensee (1994): Nach Mulchsaat weniger Erdanhang. - *DLG-Mitteilungen* 109 (3), S. 20-21.
- Brunotte, J.; C. H. Roth und P. Hollmann (1994): Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich. - *Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik "Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis" Nr. 222*, S. 301-334.
- Frede, H.-G.; J. Fabis und M. Bach (1994): Nährstoff- und Sedimentretention in Uferstreifen des Mittelgebirgsraumes. - *Z. f. Kulturtechnik Landentw.* 35, S. 65-173.
- Govers, G.; K. Vandaele; P. J. Desmet und J. Poesen (1994): Characterizing soil tillage as a geomorphological process. - *Proc. 13th Int. ISTRO Conference*, 24-29 Juli 1994, Aalborg, S. 269-274.
- Helming, K. (1992): Die Bedeutung des Mikrorreliefs für die Regentropfenerosion. - *Bodenökologie und Bodengene-se*, Heft 7, TU Berlin, 155 S.
- Helming, K.; C. H. Roth und H. Bohl (1994): Dynamische Eigenschaften der Bodenoberfläche und ihre Bedeutung für die Bildung von Oberflächenabfluß und Erosion. Ergebnisse aus Labor- und Felduntersuchungen. - *Abschlußbericht des FuE - Vorhabens "Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis"*, S. 157 - 181.
- Joschko, M.; J. Brunotte; H. Rogasik und M. Frielinghaus (1994): Mulchsaat, Regenwürmer und Bodengefüge. - *Abschlußbericht des FuE - Vorhabens "Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis"*, S. 219 - 232.
- Kainz, M. (1989): Runoff, erosion and sugar beet yields in conventional and mulched cultivation. Results of the 1988 experiment. In: Schwertmann, U., R.J. Rickson und K. Auerswald (Hrsg.), 1989: Soil erosion protection measures in Europe. - *Soil Technology Series 1*, Catena Verl. Cremlingen, S. 103-114.
- Kuron, H.; L. Jung und H. Schreiter (1956): Messungen von oberflächlichem Abfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden Deutschlands. - *Schriftenreihe d. Kuratoriums f. Kulturbauwesen*, Heft 5, Hamburg.
- Latacz-Lohmann, U. (1993): Ausgestaltung des Prämiensystems als Mittel zur Steigerung der Effektivität von Extensivierungs- und Vertragsnaturschutzprogrammen. - *Agrarwirtschaft* 42 (10), S. 351-358.
- Lindstrom, M. J.; W. W. Nelson und T. E. Schumacher (1992): Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. - *Soil Tillage Res.* 24, S. 243-255.
- Lütke Entrup, N. und K.-H. Bohne (1990): Zwischenfrüchte mit hohem Wert. - *dlz* 6, S. 12-17.
- Lütke Entrup, N.; F.-F. Gröbblinghoff und K. H. Blome (1990): Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Ökologische und ökonomische Nutzung des Zwischenfruchtanbaus im integrierten Pflanzenbau". - *Universität-GH Paderborn, Fachbereich Landbau*, Soest.
- Martin, W. (1988): Die Erodierbarkeit von Böden unter simulierten und natürlichen Regen und ihre Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. - *Dissertation TU München*, 160 S.
- Mollenhauer, K. und B. Ortmeier (1994): Untersuchungen zum Einfluß der konservierenden Bodenbearbeitung auf Oberflächenabfluß und Bodenerosion. - *Abschlußbericht des FuE - Vorhabens "Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis"*, S. 183 - 218.
- Roth, C. H. (1992): Die Bedeutung der Oberflächenverchlammung für die Auslösung von Abfluß und Abtrag. - *Bodenökologie und Bodengene-se*, Heft 6. TU Berlin, 169 S.

- Reiter, K.; H. Nieberg und F. Isermeyer (1994): Ökonomische Begleitforschung zur Akzeptanz, Wirkung und Übertragbarkeit des MEKA-Programms in Baden-Württemberg. - 2. Zwischenbericht des Forschungsprojektes "Ökonomische Begleitforschung zur Akzeptanz, Wirkung und Übertragbarkeit des MEKA - Programms in Baden-Württemberg". - FAL Braunschweig-Völkenrode.
- Sauerborn, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland - Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. - Bonner Bodenkundl. Abh. 13, Universität Bonn, 189 S.
- Schwertmann, U.; W. Vogl und M. Kainz (1987): Bodenerosion durch Wassererosion. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 64 S.
- Sidiras, N.; G. Kahnt und E. Kübler (1988): Einfluß von Bodenbearbeitung, Kulturart und Zwischenfruchtanbau auf den Bodenabtrag und den Oberflächenwasserabfluß. - Z. Acker- und Pflanzenbau 160, S. 22-28.
- Sommer, C.; M. Zach und M. Dambroth (1981): Bodenerosion erfordert alternative Formen der Bodenbearbeitung. - In: Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 197, S. 71-77.
- Stürmer, H.; H. H. Becher und U. Schwertmann (1982): Ertragsbildung bei Mais auf erodierten Hängen. - Z. Acker- und Pflanzenbau 151, S. 315-321.
- Wessolek, G.; R. König und M. Renger (1992): Entwicklung und Anwendung von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen für Hangstandorte. - Bodenökologie und Bodengenese (8), TU Berlin, 96 S.
- Winner, C. (1982): Zuckerrübenanbau. - Verlagsunion Agrar.
- Zach, M. (1990): Unveröffentlichter Beitrag. - FAL Braunschweig-Völkenrode.
- Verfasser: Brunotte, Joachim, Dr. sc. agr., Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL); Roth, Christian H., Dr. habil., Institut für Ökologie der Technischen Universität Berlin; Hollmann, Peter, Dr. sc. agr., Institut für Betriebswirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL); Sommer, Claus, Dr.-Ing., Leiter des Instituts für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL).