

Puran Mal, Joachim W. Hesse, Michael Schmitz, Hendrik Garvert

Zurückgenommener Artikel: Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion

Retracted Article: Conservation tillage in Germany: A solution of soil erosion

310

Ein Rücknahme-Hinweis wurde für diesen Artikel am 18. Dezember 2019 publiziert, <https://doi.org/10.5073/JfK.2015.09.02.retraction>

Zusammenfassung

Der Verlust von fruchtbarem Ackerboden durch Wind- und Wassererosion ist weltweit ein Problem. Auch in Deutschland sind allein 2 Mio. Hektar als sehr hoch erosionsgefährdet eingestuft mit der Gefahr eines jährlichen Bodenabtrags pro Hektar von bis zu 10 t bei Getreide und bis zu 50 t in Reihenkulturen. Der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung und der Anbau von Zwischenfrüchten ermöglicht eine ganzjährige Bedeckung der Bodenoberfläche mit organischem Material und vermindert die Angriffsflächen für Wind und Wasser. Zudem führt eine erhöhte Wasseraufnahme und Wasserhaltekapazität zur Minderung der Erosionsgefährdung.

Plankostenrechnungen verschiedener Fruchtfolgen unter Berücksichtigung der Direktkosten und der Arbeiterleidungskosten auf Grundlage von Expertengesprächen in Nord-Ostdeutschland und in einer Mittelgebirgsregion zeigen neben den positiven ökologischen Effekten einer konservierenden Bodenbearbeitung auch ökonomische Vorteile für den Landwirt. Mit einer angepassten Glyphosatstrategie in der Fruchtfolge können ohne Ertragsreduzierung die Maschinen- und Arbeitskosten sowie der CO₂-Ausstoß gesenkt werden. Eingebunden in die Gute Fachliche Praxis des Pflanzenbaus ist die konservierende Bodenbearbeitung mit dem zugehörigen Pflanzenschutzmanagement ein wesentlicher Beitrag für einen nachhaltigen Ackerbau.

Stichwörter: Konservierende Bodenbearbeitung, Bodenerosion, Maschinenkosten, Arbeitszeit, Glyphosat, CO₂-Emission

Abstract

The loss of fertile soil by wind and water erosion is a worldwide problem. In Germany alone its 2 million hectares area which is categorised under highly endangered by soil erosion with the risk of annual soil loss of about 10 tones (cereal) and up to 50 tones per hectare (row crop). Minimizing the tillage operations and long term crop rotations with use of catch crop covering the soil surface with organic material reduces the negative effects on soil from wind and water. Additionally, it increases water absorption and water holding capacity of the soil which lowers the risk of soil erosion.

Calculating the planned costs from various crop rotations taking into account the direct costs and the labor and machinery costs based on expert interviews from North-East Germany and Low Mountains range regions show the positive ecological effects of conservation tillage along with the economic advantages for the farmers. With an adapted Glyphosate strategy in the crop rotations, machine and labor costs as well as CO₂-emissions can be reduced under conservation tillage without affecting the yield of the crops. Conservation tillage associated with crop protection management is a good practice of crop production which makes it an essential contributor to a sustainable agriculture.

Key words: Conservation tillage, soil erosion, machine costs, working hours, Glyphosate, CO₂-emission

Institut

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Agrarpolitik und Marktforschung

Kontaktanschrift

Dr. Joachim W. Hesse, Justus-Liebig-Universität, Institut für Agrarpolitik und Marktforschung, Senckenbergstraße 3, 35390 Gießen, E-Mail: Joachim.W.Hesse@agrار.uni-giessen.de

Zur Veröffentlichung angenommen

14. August 2015

1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist Grundlage zur Nahrungsmittelherzeugung für eine wachsende Weltbevölkerung und es bedarf daher einer guten fachlichen Praxis zum Erhalt der wertvollen Ackerflächen. Gleichzeitig ist die Bodendegradation, ausgelöst durch Bodenerosion und Verschmutzung, ein wesentliches Problem mit der Folge des Verlusts von Ackerflächen (JONES et al., 2012; GRIMM et al., 2002). Insgesamt sind in Deutschland etwa 2,0 Mio. ha Ackerfläche durch Bodenerosion sehr stark gefährdet (SCHMITZ et al., 2013). Wasser und Wind bedrohen vor allem Flächen ohne Vegetation oder bodendeckende Pflanzenrückstände. Bereits bei mittelstarken Regenfällen und geringer Hangneigung oder starkem Wind in Norddeutschland kommt es auf solchen Flächen zu Bodenerosionen. In Deutschland beträgt das Risiko des Bodenabtrags bis zu 50 Tonnen $\text{ha}^{-1}\text{Jahr}^{-1}$ bei deutlich geringerer Bodenreuebildung (MOSIMANN et al., 2009). Die Erosionsgefährdung kann aber unter anderem durch konservierende Bodenbearbeitung deutlich vermindert werden.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, zu untersuchen, ob eine reduzierte nicht-wendende Bodenbearbeitung mit ihrer erosionsmindernden Wirkung zum Erhalt der Ackerflächen auch für den landwirtschaftlichen Betrieb ökonomisch interessant ist und erst dadurch eine Nachhaltigkeit im Sinne des Zusammenspiels von Ökonomie, Ökologie und Sozialem erlangt. Nach einem Überblick zur Erosionsgefährdung in Deutschland und dem Ver-

breitungsstand der konservierenden Bodenbearbeitung erfolgt in Kapitel 4 eine betriebswirtschaftliche Analyse von Fruchtfolgen in zwei ausgewählten, durch Wind- und Wassererosionen gefährdeten Ackerbauregionen und unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung von Glyphosat zur Unkrautkontrolle in der konservierenden Bodenbearbeitung. Der Glyphosateinsatz ist dabei zur Sicherstellung der Erträge notwendig (SCHMITZ und GARVERT, 2013). Abschließend werden ausgewählte Aspekte des Bodenverlusts und der CO_2 -Minderung dargestellt, um neben den betriebswirtschaftlichen Aspekten auch die ökologisch vorteilhaften Aspekte der konservierenden Bodenbearbeitung zu analysieren.

2 Bodenerosion in Deutschland

Im Jahr 2012 waren in Deutschland insgesamt 2,049 Mio. ha Ackerfläche gemäß DIN 19708 als sehr hoch erosionsgefährdet eingestuft (Wasser-Erosionsklassen $E_{\text{nat}5.1}$ und 5.2). Diese Einstufung entspricht den EU Cross-Compliance-Kriterien für von Wasser- und Winderosion betroffene Ackerflächen. Damit sind etwa 17% der 11,8 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland sehr hoch erosionsgefährdet. Von den rund 2,0 Mio. ha entfallen etwa 1,7 Mio. ha auf wassererosionsgefährdete Flächen und 0,3 Mio. ha auf winderosionsgefährdete Flächen. Tab. 1 zeigt die als sehr hoch eingestuften erosionsgefährdeten Flächen nach Bundesländern und den Anteilen an

Tab. 1. Erosionsgefährdete Ackerfläche der Bundesländer nach Cross-Compliance-Kriterien (in 2012)

Bundesland	Fläche	CC_{Wasserr1}	CC_{Wasserr2}	CC_{Wind}	$CC_{\text{Wasserr1}} + CC_{\text{Wasserr2}} + CC_{\text{Wind}}$	% der Ackerfläche
	Ackerfläche ha LF	ha	ha	ha	ha	
Baden-Württemberg	830.000	102.164	31.289	45	133.498	16,1
Bayern	2.062.300	394.352	91.321	281	485.954	23,6
Brandenburg und Berlin	1.029.500	725	98	78.192	79.015	7,7
Hessen	476.900	132.700	35.800	0	168.500	35,3
Mecklenburg-Vorpommern	1.077.900	80	4	41.681	41.765	3,9
Niedersachsen Bremen	1.886.000	76.964	38.099	103.619	218.682	11,6
Nordrhein-Westfalen	1.046.700	85.058	37.439	2.903	125.400	12,0
Rheinland-Pfalz	401.600	80.601	33.001	0	113.602	28,3
Saarland	36.800	5.893	10.367	0	16.260	44,2
Sachsen	719.100	210.000	72.000	1.800	283.800	39,5
Sachsen-Anhalt	995.500	74.206	15.792	24.310	114.308	11,4
Schleswig-Holstein	672.700	3.000	100	20.000	23.100	3,4
Thüringen	610.800	189.162	55.431	0	244.593	40,0
Deutschland	11.850.100	1.354.905	420.741	272.831	2.048.477	17,3

Quelle: SCHMITZ et al. (2013)

den jeweiligen Ackerflächen. Dabei wird deutlich, dass die norddeutschen Bundesländer die geringeren Anteile an erosionsgefährdeten Flächen haben, hier aber insbesondere die Winderosion bedeutend ist. So hat Mecklenburg-Vorpommern nur einen Anteil von 3,9% sehr hoch erosionsgefährdeter Flächen, der aber ausschließlich auf Winderosion zurückzuführen ist. Andererseits finden sich die von Wassererosion betroffenen Flächen in den Bundesländern der Mittelgebirgslagen wie Hessen, Thüringen und Sachsen, die einen Anteil sehr hoch erosionsgefährdeter Ackerfläche von 35% bis 40% haben.

3 Übersicht über konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland

In Deutschland werden unter konservierender Bodenbearbeitung die Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung, Strip-Till, Mulch- und Direktsaat zusammengefasst. Es sind also die Verfahren mit nicht-wendender Bodenbearbeitung und niedriger Eingriffsintensität gemeint. Tab. 2 zeigt die Ackerfläche in Deutschland gegliedert nach den unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren. In Deutschland wurden 2010 über 39%

der Ackerfläche mit konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet, wovon nur ein sehr kleiner Anteil auf Direktsaatverfahren entfällt.

Unter den Bundesländern (ohne Stadtstaaten) reicht der Anteil der Ackerflächen mit konservierender Bodenbearbeitung von 22,8% in Bayern bis 66% in Thüringen. Der hohe Anteil konservierender Bodenbearbeitung in den östlichen Bundesländern mit größeren Flächen- und Betriebsstrukturen weist darauf hin, dass diese Form der Bodenbearbeitung neben dem Erosionsschutz auch arbeitswirtschaftliche Vorteile aufweist.

Auf die vorhandene Gefahr der Bodenerosion reagieren die Bundesländer unterschiedlich. Bereits mit den Direktzahlungen aus der ersten Säule der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik (GAP) erhalten Landwirte eine flächengebundene Unterstützung mit der Auflage ihre landwirtschaftlich genutzte Fläche in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand zu erhalten und unter Anwendung der Guten Fachlichen Praxis Bodenschutzmaßnahmen anzuwenden (SCHMITZ et al., 2013). Darüber hinaus haben einzelne Bundesländer auf Grundlage der 2. Säule der GAP (Förderung des ländlichen Raums) in der vergangenen Förderperiode Agrarumwelt-Programme zur Unterstützung der konservierenden Bodenbearbeitung etabliert, um insbesondere Maß-

Tab. 2. Verbreitung der konservierenden Bodenbearbeitung nach Bundesländern (2010)

Bundesland	Ackerfläche	wendende Bodenbearbeitung	Mulchsaat	Direktsaat	Konservierende Bodenbearbeitung	Konservierende Bodenbearbeitung
	1.000 ha	1.000 ha	1.000 ha	1.000 ha	1.000 ha	%
Deutschland	11.896,8	6.608,2	4.469,3	146,3	4.615,6	38,8
Baden-Württemberg	839,2	456,2	333,0	11,0	344,0	41,0
Bayern	2.066,3	1524,2	459,8	12,3	472,1	22,8
Berlin	1,5	0,9	0,1	0,0	0,1	6,7
Brandenburg	1.032,2	504,7	397,7	12,0	409,7	39,7
Bremen	1,6	1,2	0,6	0,1	0,7	43,8
Hamburg	5,7	3,8	1,1	0,0	1,1	19,3
Hessen	478,9	273,5	175,2	4,3	179,5	37,5
Mecklenburg-Vorpommern	1.083,6	414,5	596,9	6,8	603,7	55,7
Niedersachsen	1.869,2	1185,6	530,5	26,8	557,3	29,8
Nordrhein-Westfalen	1.069,0	701,9	312,0	10,9	322,9	30,2
Rheinland-Pfalz	404,8	227,9	144,8	4,7	149,5	36,9
Saarland	37,3	18,3	14,2	0,5	14,7	39,4
Sachsen	720,7	290,0	386,0	11,0	397,0	55,1
Sachsen-Anhalt	1.001,9	365,7	549,9	36,8	586,7	58,6
Schleswig-Holstein	671,8	445,5	168,5	3,2	171,7	25,6
Thüringen	613,1	194,4	398,9	5,9	404,8	66,0

Quelle: STATISTISCHES BUNDESAMT (2010)

nahmen zur Förderung des Bodenschutzes zu unterstützen.

4 Betriebswirtschaftliche Analyse der konservierenden Bodenbearbeitung

In der betriebswirtschaftlichen Analyse werden die Produktionskosten der unterschiedlichen Ackerbausysteme „wendende Bodenbearbeitung mit Pflug“ und „Konservierende Bodenbearbeitung“ in zwei unterschiedlichen Pflanzenbauregionen in Deutschland verglichen. Beide Regionen haben Erosionsprobleme. Während in Nord-Ost Deutschland eher Winderosion vorherrscht, sind die Mittelgebirgslagen überwiegend von Wassererosion betroffen. Zur Berücksichtigung dieser Gegebenheiten werden in beiden Regionen jeweils Fruchtfolgen mit Raps und Getreide (Blattfrucht) und mit einer Reihenkultur (Mais oder Zuckerrüben) betrachtet.

Um alle relevanten Kosten der Produktionsverfahren und zugehörigen Erträge zu berücksichtigen, wird die Methode der Kosten-Leistungs-Rechnung gewählt. In der Anwendung erfolgt eine Beschränkung auf die Leistung, die Direktkosten und die Arbeitserledigungskosten (DLG, 2000). Aus der Differenzbildung wird der Kennwert „Direktkosten und Arbeitserledigungskosten freie Leistung (DAKfL)“ ermittelt. Zudem ermöglicht diese Methode der ökonomischen Analyse eine Aussage zum Arbeitszeitbedarf und dem Energieeinsatz der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren.

Zum Erlangen einer ausreichend differenzierten Wissensgrundlage für die Verfahrensgestaltung und die darauf aufbauenden betriebswirtschaftlichen Berechnungen wurden in den beiden ausgewählten Regionen Expertengespräche geführt. Dabei wurde für die Region Nord-Ost Deutschland eine hohe Intensität der Pflanzenproduktion und für die Ackerbauregion in der Mittelgebirgslage eine mittlere Intensität vorgegeben. Auf Grundlage dieses Expertenwissens wurden die Fruchtfolgen, die Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die unterschiedlichen Strategien des Pflanzenschutzes unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Glyphosat bei ausschließlich konservierender Bodenbearbeitung entwickelt.

Die Erträge der Region Nord-Ost Deutschland beruhen auf Angaben der Experten. Für die Erträge der Mittelgebirgslage und für die Produktpreise (AMI, 2014) wird ein Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012 zugrunde gelegt. Die Düngemittelkosten sind dem Statistischen Jahrbuch (BMELV, 2013) entnommen und als Mittelwert der Jahre 2010/11 bis 2012/13 angegeben. Der Düngemittelausatz pro Hektar ist nach Nährstoffentzug der Kulturen berechnet. Auf Basis der Experteninterviews und den Pflanzenschutzempfehlungen der Agrarverwaltungen und der Landwirtschaftskammern in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Hessen und Rheinland-Pfalz werden verschiedene Pflanzenschutzstrategien entwickelt. Die Kosten für die einzelnen Pflanzenschutzmaßnahmen werden auf Grundlage der Preislisten (AGRAVIS, 2013) für die Landwirte erstellt.

Des Weiteren werden die Arbeits- und Maschinenkosten berechnet. Sie basieren auf den vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, 2014) bereitgestellten Informationen. Hierzu werden die Arbeitsstunden mit 25 Euro/h bewertet. Zudem werden alle Maschinenkosten als variabel angesehen, um Betriebe mit einer hohen Eigenmechanisierung und Betriebe mit einem starken überbetrieblichen Maschineneinsatz besser vergleichen zu können.

4.1 Region Nord-Ost

Für die Region Nord-Ost werden Fruchtfolgen mit wendender und konservierender Bodenbearbeitung verglichen. Innerhalb der reinen Blattfrucht-Fruchtfolge (W.-Raps/W.-Weizen/W.-Gerste) mit wendender Bodenbearbeitung wird der Pflug vor Raps und Gerste eingesetzt. Bei der Fruchtfolge mit einer Reihenkultur (W.-Raps/W.-Weizen/Silomais/W.-Weizen) mit Senf als Zwischenfrucht vor Mais kommt der Pflug zur Bodenbearbeitung vor Raps, vor der Zwischenfrucht und vor dem zweiten Weizen zum Einsatz. Die entsprechenden Fruchtfolgen mit konservierender Bodenbearbeitung werden ausschließlich mit dem Einsatz des Tiefgrubbers vor der Haupt- und Zwischenfrucht geplant. Eine Ausnahme bildet der Silomais, zudem nach der Zwischenfrucht nur der Flachgrubber eingesetzt wird. Die Durchführung der konservierenden Bodenbearbeitung erfordert in diesem Zusammenhang in der getreidebetonten Fruchtfolge W.-Raps/W.-Weizen/W.-Gerste den Einsatz von Glyphosat mit 850 g ai ha⁻¹ vor Weizen und jeweils 1360 g ai ha⁻¹ vor Raps und Gerste zur Bekämpfung von Ausfallkulturen und der Unterbrechung der grünen Brücke. Ohne den Glyphosateinsatz würde es zu Ertragsverlusten von 5% bis 10% kommen, mittel- bis langfristig wäre mit noch höheren Ertragsverlusten zu rechnen. Einige Kulturen, wie zum Beispiel Zuckerrüben, wären ohne Glyphosat in manchen Regionen nicht mehr anzubauen (SCHMITZ und GARVERT, 2013). Bei der wendenden Bodenbearbeitung wird auf die Anwendung eines Totalherbizids verzichtet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Bodenbearbeitungsverfahren gering sind. Die Direktkosten sind bei der konservierenden Bodenbearbeitung um etwa 4% bis 11% höher, was vor allem auf den höheren Pflanzenschutzmittelausatz zurückzuführen ist. Da aber die Arbeitserledigungskosten der konservierenden Bodenbearbeitung um über 10% niedriger ausfallen, ist die Direktkosten und Arbeitserledigungskosten freie Leistung (DAKfL) der Fruchtfolge insgesamt etwa 4% höher im Vergleich zum Verfahren mit wendender Bodenbearbeitung. Ausschlaggebend sind vor allem der um 8% geringere Arbeits- und der um 11% verringerte Dieselaufwand.

Neben der getreidebetonten Fruchtfolge wird auch die Fruchtfolge W.-Raps/W.-Weizen/Silomais/W.-Weizen (einschließlich Senf als Zwischenfrucht vor Silomais) für die beiden Verfahren wendende und konservierende Bodenbearbeitung betrachtet. Zur Unkrautkontrolle bei der konservierenden Bodenbearbeitung kommen vor W.-Raps 1360 g ai ha⁻¹ Glyphosat, vor dem ersten

W.-Weizen 850 g ai ha⁻¹ Glyphosat und im Frühjahr nach dem Senf vor der Maisausaat je nach Unkrautsituation bis zu 2380 g ai ha⁻¹ Glyphosat zum Einsatz. Auf die viergliedrige Fruchtfolge bezogen entspricht dies 1148 g ai ha⁻¹Jahr⁻¹. Die Erträge sind bei beiden Anbauverfahren im Wesentlichen gleich. Lediglich der Maisertrag ist bei konservierender Bodenbearbeitung um etwa 7% geringer. Aufgrund des höheren Pflanzenschutzaufwandes fallen bei der konservierenden Bodenbearbeitung höhere Direktkosten an. Insgesamt ist die DAKfL bei konservierender Bodenbearbeitung aber um etwa 2% höher, da die Arbeiterledigungskosten um etwa 7% niedriger ausfallen. Gründe hierfür sind der um 7% reduzierte Arbeits- und der um 9% reduzierte Dieselaufwand.

Abb. 1 zeigt vergleichend die Kosten und die DAKfL für beide Fruchtfolgen und die beiden unterschiedlichen Verfahren der Bodenbearbeitung in der Region Nord-Ost. Für beide intensiv geführten Fruchtfolgen verdeutlichen die Ergebnisse einen jeweils leichten ökonomischen Vorteil für die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, der im Wesentlichen auf den reduzierten Arbeitsaufwand zurückzuführen ist.

4.2 Region Mittelgebirge

Für die Ackerbauregion in der Mittelgebirgslage werden ebenfalls zwei Fruchtfolgen (mit und ohne Zwischenfrucht) betrachtet und die Direktkosten und Arbeiterledigungskosten freie Leistung (DAKfL) für wendende und konservierende Bodenbearbeitung verglichen. Der Pflanzenbestand wird mit einer für die Region typischen mittleren Intensität geführt. Dabei wird für die wendende Bodenbearbeitung der Pflug zu jeder Frucht eingesetzt,

dafür aber auf der Anwendung eines Totalherbizids verzichtet. In der Getreidefruchtfolge W.-Raps/W.-Weizen/W.-Weizen/W.-Gerste werden bei konservierender Bodenbearbeitung vor Raps und vor dem Stoppelweizen jeweils 1800 g ai ha⁻¹ Glyphosat eingesetzt. Wie in der Region Nord-Ost gibt es keine Ertragsunterschiede zwischen den beiden Bodenbearbeitungsverfahren, allerdings sind die Direktkosten im Fall der konservierenden Bodenbearbeitung höher. Die DAKfL ist trotzdem um 60% höher, wenn keine wendende Bodenbearbeitung eingesetzt wird. Diese hohe Differenz begründet sich in dem Vergleich einer intensiven Bodenbearbeitung mit jährlichem Pflugeinsatz gegenüber der konservierenden Bodenbearbeitung mit der Scheibenegge und dem nur zu Raps eingesetzten Tiefgrubber. Dementsprechend sind bei der konservierenden Bodenbearbeitung die Arbeiterledigungskosten um 24% niedriger. Es wird über die gesamte Fruchtfolge bis zu 30% der Arbeitszeit und 118 Liter Diesel/ha eingespart. Die eingesparte Dieselmenge entspricht etwa einem Drittel des Dieserverbrauchs bei wendender Bodenbearbeitung in der angegebenen Fruchtfolge.

Für die Ackerbauregion in der Mittelgebirgslage wird als Erweiterung noch eine Fruchtfolge mit Reihenkultur betrachtet und hierfür die Zuckerrübe gewählt. In der daraus resultierenden Fruchtfolge Zuckerrübe/W.-Weizen/W.-Gerste (einschließlich Ölettrich als Zwischenfrucht vor der Zuckerrübe) wird bei der konservierenden Bodenbearbeitung 1800 g ai ha⁻¹ Glyphosat nur vor der Zuckerrübe (nach der Zwischenfrucht) eingesetzt. Auch in dieser Fruchtfolge werden keine Ertragsunterschiede angenommen. Die Direktkosten sind beim Einsatz kon-

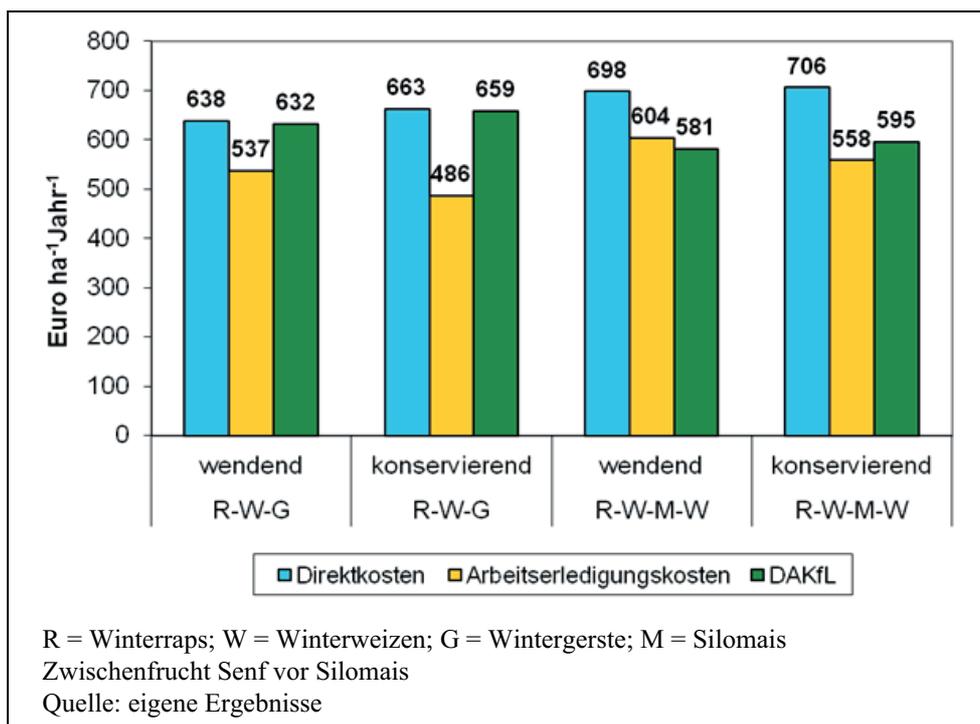


Abb. 1. Direktkosten und Arbeiterledigungskosten freie Leistung (DAKfL) für zwei Fruchtfolgen in der Region Nord-Ost Deutschland unter Berücksichtigung wendender und konservierender Bodenbearbeitung.

servierender Bodenbearbeitung auf Grund des Pflanzenschutzmitteleinsatzes um 1,7% höher. Dafür reduzieren sich die Arbeiterledigungskosten um 19%. Im Endergebnis fällt die DAKfL in der Fruchtfolge im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung um 26% höher aus. Der Arbeitsaufwand für die Fruchtfolge kann von 22,9 AKh ha⁻¹ bei wendender Bodenbearbeitung auf 17,1 AKh ha⁻¹ bei konservierender Bodenbearbeitung gesenkt werden. Auch der Dieselaufwand kann bei konservierender Bodenbearbeitung um 25% in der Fruchtfolge reduziert werden.

Abb. 2 zeigt zusammenfassend die Kosten und die DAKfL der beiden Fruchtfolgen (Blattfrucht und Reihenkultur) in der ausgewählten Ackerbauregion einer Mittelgebirgslage. Die Ergebnisse verdeutlichen den positiven Effekt eingesparter Arbeiterledigungskosten bei konservierender Bodenbearbeitung auf die DAKfL. Insbesondere in der Fruchtfolge mit einem hohen Anteil von Reihenkulturen und einer Zwischenfrucht kann die konservierende Bodenbearbeitung ihre Stärke mit 24% geringeren Arbeiterledigungskosten ausspielen.

4.3 Zusammenfassung der betriebswirtschaftlichen Analyse

Als Ergebnis der betriebswirtschaftlichen Analyse von Fruchtfolgen unterschiedlicher Intensität und unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren der beiden Ackerbauregionen Nord-Ost Deutschland und Mittelgebirgslage kann festgehalten werden (Abb. 3 und 4):

1. Bei hoher pflanzenbaulicher Intensität im Nord-Osten mit Grubber-Einsatz bei konservierender Bodenbearbeitung (höhere Bearbeitungstiefe bei leichteren Böden) sind die Vorteile der Arbeitszeiteinsparung dieses Ver-

fahrens gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung nur gering. Allerdings können bei den Arbeiterledigungskosten insgesamt durch niedrigere Maschinenkosten und einen etwas geringeren Dieselaufwand Kostenvorteile gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung erzielt werden.

2. Bei mittlerer Pflanzenbauintensität in der Mittelgebirgslage mit intensiver Pflugwirtschaft kann die konservierende Bodenbearbeitung hohe Einsparungen im Arbeitszeitaufwand ermöglichen und es können deutlich höhere DAKfL erzielt werden.
3. Die konservierende Bodenbearbeitung ist für den landwirtschaftlichen Betrieb in der Regel ein Bearbeitungsverfahren, das neben der positiven Wirkung gegen Bodenerosion auch betriebswirtschaftlich Vorteile gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung hat.
4. Der ökonomische Vorteil der konservierenden Bodenbearbeitung liegt in der Reduzierung der Arbeiterledigungskosten (Maschinen-, Treib- und Schmierstoff-, Arbeitskosten). Um diesen Kostenvorteil zu erhalten und um Ertragsverluste zu vermeiden, muss in der Regel innerhalb der Fruchtfolge ein oder mehrmals Glyphosat eingesetzt werden.

5 Langzeiteffekte der konservierenden Bodenbearbeitung

Neben den dargestellten betriebswirtschaftlichen Vorteilen, ermöglicht die konservierende Bodenbearbeitung auch einen Rückgang der Bodenerosion, die Verminderung der Treibhausgase und der Verluste von Nährstoffen und der Verminderung des Abtrags von Pflanzenschutz-

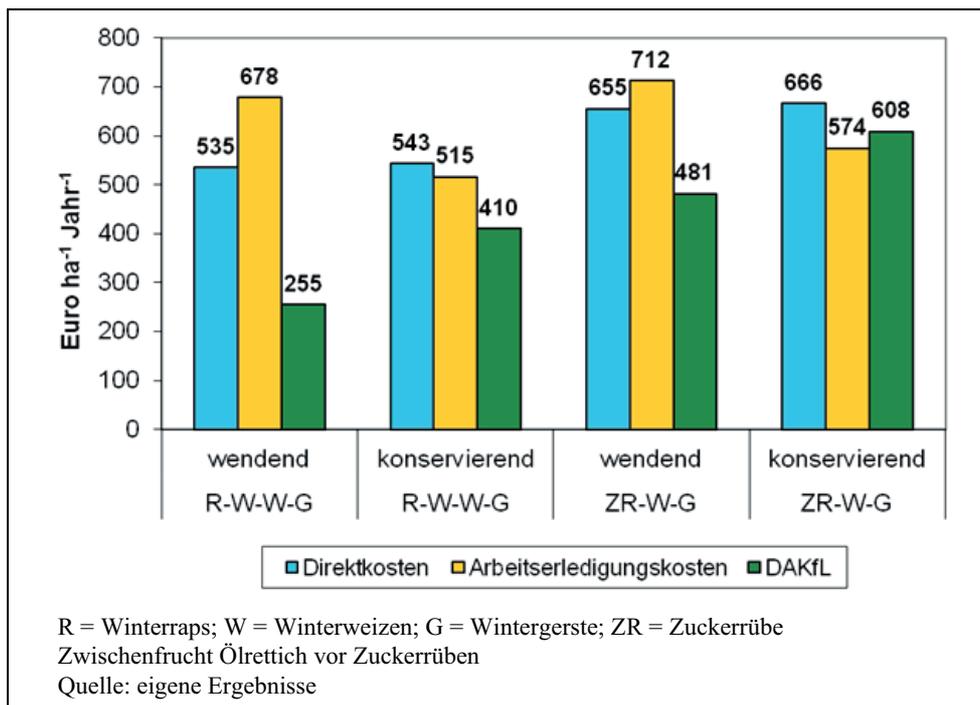


Abb. 2. Direktkosten und Arbeiterledigungskosten freie Leistung (DAKfL) für zwei Fruchtfolgen in einer Mittelgebirgsregion unter Berücksichtigung wendender und konservierender Bodenbearbeitung.

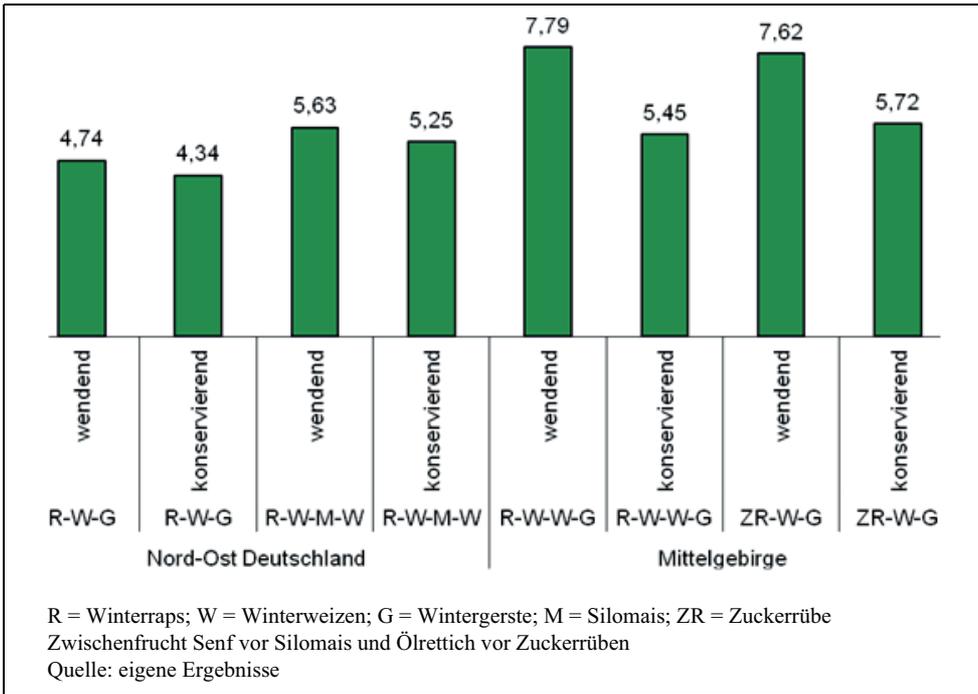


Abb. 3. Arbeitszeit in Akh ha⁻¹ für ausgewählte Fruchtfolgen in den Regionen Nord-Ost Deutschland und Mittelgebirge unter konservierender und wendender Bodenbearbeitung.

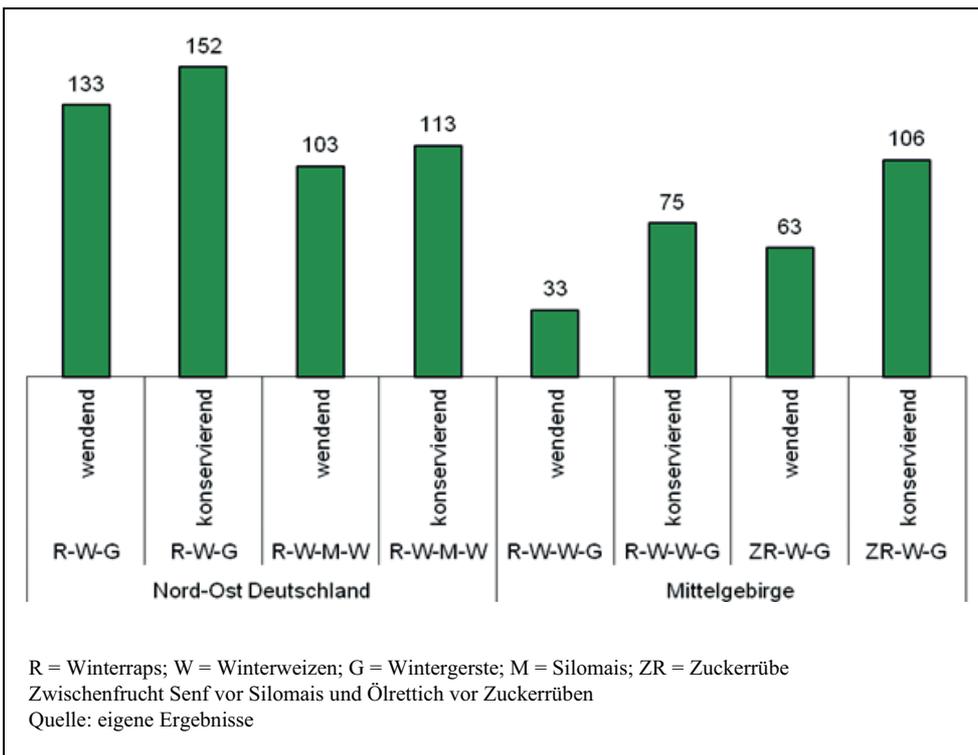


Abb. 4. Direktkosten und Arbeitserledigungskosten freie Leistung (DAKfL) je Arbeitskraftstunde (Euro DAKfL/AKh) ausgewählter Fruchtfolgen in den Regionen Nord-Ost Deutschland und Mittelgebirge.

mittelrückständen durch Wasser- und Winderosion. Im Folgenden werden ausgewählte Vorteile über einen Zeitraum von 40 Jahren quantifiziert.

5.1 Erhalt des Bodenwerts durch Verringerung der Bodenerosion

In verschiedenen Studien wird gezeigt, dass konservierende Bodenbearbeitung ein sehr gutes Werkzeug zur

Reduzierung der Bodenerosion ist. MOSIMANN et al. (2009) kommen zu dem Ergebnis, das der Bodenverlust durch Erosion in Deutschland bei bis zu 10 t ha⁻¹a⁻¹ bei Getreide und 50 t ha⁻¹a⁻¹ bei Zuckerrüben liegen kann. Die folgende Betrachtung basiert auf den Daten der zuvor dargestellten Fruchtfolge mit Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste in der Ackerbauregion einer Mittelgebirgslage. Basierend auf der Literaturrecherche

wird ein Bodenverlust durch Erosion in Höhe von 23 Tonnen pro Hektar und Jahr beispielhaft angenommen (Zuckerrüben $50 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$, Getreide $10 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$). Ein Verlust von einer Tonne Boden entspricht etwa einer Verminderung der Bodenaufgabe um $0,0125 \text{ cm ha}^{-1}$. Das bedeutet für die angeführte Fruchtfolge bei wendender Bodenbearbeitung einen jährlichen Verlust von $0,29 \text{ cm}$ Bodenaufgabe. Auf die 40 Jahre betrachtet, bedeutet diese Entwicklung einen Verlust von 12 cm Oberboden. Mit dem Bodenverlust geht auch ein Verlust von Nährstoffen einher. Zusätzlich muss beachtet werden, dass der Bodenverlust zunehmen kann, wenn die Ackerkrume einmal durch Erosion stark geschwächt ist (UMWELTBUNDESAMT, 2013). Diesen Annahmen folgend wird beispielhaft für die Ackerbauregion in der Mittelgebirgslage der Bodenwert für Ackerland in Hessen mit einem Preis von $16.069 \text{ Euro ha}^{-1}$ (HSL, 2013) angenommen. Für den Landwirt als Eigentümer dieser Fläche bedeutet dies ein Anlagevermögen in gleicher Höhe (Abb. 5).

Unter der Annahme, dass lediglich 30 cm der Ackerkrume als fruchtbarer Boden genutzt werden können, hat jeder Zentimeter Ackerkrume für den Ackerbaubetrieb einen Wert von 536 Euro/ha . Ein Verlust von $0,29 \text{ cm}$ Ackerkrume jährlich entspricht somit einem Verlust von 155 Euro/Jahr . Nach 35 Jahren würde in diesem Beispiel der Verlust an Ackerkrume bereits 10 cm betragen. Mit dieser angenommenen Entwicklung wird eine weitere ackerbauliche Nutzung der Fläche unwahrscheinlich und die Fläche kann nur noch als Grünland genutzt werden. Diese Fläche würde dadurch auf den Wert von Grünland reduziert und der Landwirt im Beispiel einen Verlust seines Anlagevermögens um 5.356 Euro/ha erleiden. Des Weiteren würde durch den Bodenabtrag auch die direktkosten- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) jährlich vermindert.

5.2 Reduzierung der CO_2 -Emissionen durch konservierende Bodenbearbeitung

Die konservierende Bodenbearbeitung hat direkte und indirekte Einflüsse auf die CO_2 -Emissionen. Die direkten Einflüsse ergeben sich durch die Einsparung von Diesel. Die Verbrennung eines Liters Diesels setzt 2682 kg CO_2 frei (EIA, 2013). Zuvor wurde dargestellt, dass die konservierende Bodenbearbeitung teilweise zu deutlichen Einsparungen von Diesel führt. Tab. 3 zeigt die Reduzierung der CO_2 -Emissionen, die sich dadurch im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung ergeben. Die Auswirkungen werden im Folgenden auf betrieblicher Ebene dargestellt. In Hessen und Rheinland-Pfalz (Mittelgebirge) beträgt die durchschnittliche Betriebsgröße 43 ha bzw. 34 ha , wohingegen die Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern (Nord-Ost) im Durchschnitt 287 ha bewirtschaften (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010). Für das Mittelgebirge wird daher eine durchschnittliche Betriebsgröße von $39,5 \text{ ha}$ angenommen. In der Region Nord-Ost beträgt die Reduktion der CO_2 -Emissionen etwa 20 Tonnen pro Betrieb, während es bei den im Mittelgebirge wirtschaftenden Betrieben lediglich 12 Tonnen sind. Die bezogen auf die unterschiedlichen Betriebsgrößen geringen Unterschiede bei den CO_2 -Einsparungen resultieren daraus, dass im Beispiel in der Mittelgebirgslage höhere CO_2 -Einsparungen durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung möglich sind. In Europa produziert ein durchschnittlicher PKW $135,7 \text{ g CO}_2\text{-Emissionen km}^{-1}$ (EC, 2014) und legt etwa 15.000 km pro Jahr zurück. Das entspricht einem CO_2 -Ausstoß von 2 Tonnen pro Jahr. Somit können durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung in der Mittelgebirgslage die CO_2 -Emissionen von 6 PKW pro Betrieb kompensiert werden.

Die indirekten Einflüsse der konservierenden Bodenbearbeitung auf die CO_2 -Emissionen resultieren aus der

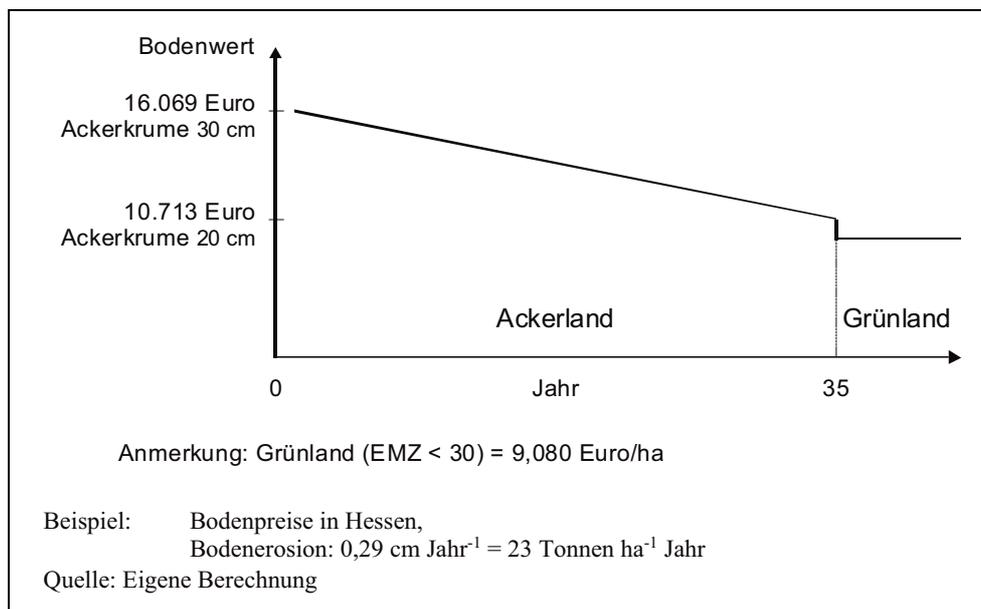


Abb. 5. Abnahme des Werts von Ackerland durch Bodenerosion.

Tab. 3. Verminderung der CO₂-Emissionen durch konservierende Bodenbearbeitung bei verschiedenen Fruchtfolgen

Region	Reduzierung der Dieselmenge durch konservierende Bodenbearbeitung (l/ha)	CO ₂ -Emissionen pro Liter Diesel (kg)	Reduktion der CO ₂ -Emissionen (kg)
Nord-Ost (Betriebsgröße 39,5 ha)			
(a) R-W-G/ha	21,52	2,68	52,35
(b) R-W-M-W/ha	26,09	2,68	69,97
(c) R-W-G pro Betrieb			15.312
(d) R-W-M-W pro Betrieb			20.083
Mittelgebirge (Betriebsgröße 287 ha)			
(a) R-W-W-G/ha	118,14	2,68	316,85
(b) ZR-W-G/ha	72,17	2,68	193,56
(c) R-W-W-G pro Betrieb			12.516
(d) ZR-W-G pro Betrieb			7.646

Quelle: Eigene Berechnungen

Kohlenstoffspeicherung im Boden. Untersuchungen von TEBRÜGGE und EPPERLEIN (2007) zeigen, dass die CO₂-Emissionen dadurch um etwa 0,5 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar und Jahr vermindert werden. Eine Tonne Kohlenstoff entspricht 3,7 Tonnen CO₂. Das bedeutet, konservierende Bodenbearbeitung kann die CO₂-Emissionen um 1,85 Tonnen pro Hektar und Jahr vermindern (BASCH et al., 2012). Zur Berechnung der externen Effekte der CO₂-Emissionen wird der Auktionspreis für CO₂-Emissionszertifikate als Grundlage genommen. In 2013 betrug der vergleichsweise niedrige Auktionspreis an der European Energy Exchange (EEX) durchschnittlich 4,40 Euro pro Tonne CO₂ (EEX, 2013). Bezogen auf die CO₂-Speicherung im Boden ergibt sich für diese ein Wert von 8 Euro ha⁻¹Jahr⁻¹ und auf 40 Jahre bezogen von 320 Euro ha⁻¹.

6 Fazit

In Deutschland sind etwa 2,0 Millionen Hektar und damit etwa 17% des Ackerlandes sehr stark durch Bodenerosion gefährdet. Auf den meisten Flächen ist dabei die Wassererosion das Hauptproblem, während auf 10% der Flächen starke Winderosionen auftreten können. Die konservierende Bodenbearbeitung ist ein geeignetes Verfahren um die Bodenerosionen zu mindern und damit zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Ackerlandes beizutragen. Bereits heute werden in Deutschland etwa 39% der Ackerfläche mit Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung bewirtschaftet.

Die vorliegende Studie zeigt, dass konservierende Bodenbearbeitungsverfahren in der Fruchtfolge betrachtet im Bereich der Arbeitserledigungskosten auch öko-

nomische Vorteile gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung besitzen. In Verbindung mit dem Einsatz von Glyphosat in der Fruchtfolge zur Reduzierung des Unkrautdrucks kann durch eine verminderte Eingriffintensität in das Bodengefüge und eine ganzjährige Bedeckung der Bodenoberfläche mit organischem Material die Bodenerosion deutlich gemindert werden. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Bodenerosion zu einem fortschreitenden Verlust der Ackerkrume mit negativen Folgen für den Bodenwert und die nachhaltige pflanzenbauliche Leistungsfähigkeit führt.

Aus Sicht der Landwirtschaft und der Umwelt ist eine reduzierte Bodenbearbeitung wünschenswert, damit die Landwirtschaft unter Anwendung der Guten Fachlichen Praxis ökonomisch und ökologisch nachhaltig Ackerbau betreiben kann.

Literatur

- AGRAVIS, 2013: Pflanzenschutzpreisliste. Hrsg. AGRAVIS Raiffeisen AG, Münster.
- AMI, 2014: Markt Bilanz. Hrsg. Agrarmark Informations-Gesellschaft, verschiedene Produkte, Bonn.
- BASCH, G., A. KASSAM, E.J. GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, B. STREIT, 2012: Making sustainable agriculture real in CAP 2020: The role of conservation agriculture. ECAF, Brussels.
- BMELV, 2013: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Münster.
- DLG, 2000: Die neue Betriebszweigabrechnung. Hrsg. DLG e.V., Arbeiten der DLG, Band 197, Frankfurt/M.
- EC, 2014: Energy efficiency and specific CO₂ emissions (TERM 027) – Assessment published, January 2013.
- EEX, 2013: Emission Spot Primary Market. Auction Report 2013, Hrsg. European Energy Exchange, Leipzig.
- EIA, 2013: Frequently Asked Questions. How much carbon dioxide is produced by burning gasoline and diesel fuel? Ed. U.S. Energy Information Administration, Washington.

- GRIMM, M., J. ROBERT, L. MONTANARELLA, 2002: Soil Erosion Risk in Europe. European Commission Directorate General, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, European Soil Bureau.
- HSL, 2013: Kaufwerte Landwirtschaftlicher Grundstücke in Hessen. Hrsg. Hessisches Statistisches Landesamt, M I 7 - j/13, Wiesbaden.
- JONES, A., P. PANAGOS, S. BARCELO, F. BOURAOUI, C. BOSCO, O. DEWITTE, C. GARDI, M. ERHARD, J. HERVÁS, R. HIEDERER, S. JEFFERY, A. LÜKEWILLE, L. MARMO L. MONTANARELLA, C. OLAZÁBAL, J.-E. PETERSEN, V. PENIZEK, T. STRASSBURGER, G. TÓTH, M. VAN DEN ECKHAUT, M. VAN LIEDEKERKE, F. VERHELJEN, E. VIESTOVA, Y. YIGINI, 2012: The state of soil in Europe - A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report 2010. European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- KTBL, 2014: Verfahrensrechner Pflanze. Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- MOSIMANN, T., J. BUG, S. SANDERS, F. BEISIEGEL, 2009: Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000-2008 - Methodik, Erosionsgeschehen, Bodenabtrag und Anwendung der Ergebnisse. Geosynthesis 14, Hannover.
- SCHMITZ, P.M., H. GARVERT, 2013: Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffes Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 64 (5), S. 150-162.
- SCHMITZ, P.M., J.W. HESSE, H. GARVERT, 2013: Cross Compliance und Greening - Gibt es Vorteile für landwirtschaftliche Betriebe bei Verzicht auf Direktzahlungen? In: Agribusiness-Forschung Nr. 29, Hrsg. Institute für Agribusiness, Gießen.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010: Landwirtschaftszählung - Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente - Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM), FS 3 Heft 5, Wiesbaden.
- TEBRÜGGE, F., J. EPPERLEIN, 2007: The importance of the conservation agriculture within the framework of the climate discussion. Hrsg. Gesellschaft für Konservierende Bodenbearbeitung e.V., http://www.ecaf.org/docs/ecaf/positionpaper_co2ecaf.pdf.
- UMWELTBUNDESAMT, 2013: Was sind die Folgen von Bodenerosion durch Wasser? <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/erosion>.