

Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

**Rogasik J
Lüttich M
Obenauf S**

**Wird unser Boden durch Klimaänderungen
gefährdet**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Erscheinungsjahr 1996**

Also available at: <http://www.pb.fal.de/en/library/publications/pb.1594pdf>

Wird unser Boden durch Klimaänderungen gefährdet?

Jutta Rogasik, Manfred Lüttich
und Susanne Obenauf

Es ist hinreichend bekannt, daß Temperatur und Feuchte auf Bodenbildung und -entwicklung dominierenden Einfluß haben. Das wird darin deutlich, daß die Verteilung der Hauptboden-
gruppen auf der Erde weitgehend den Klimazonen entspricht. Veränderte Temperatur- und/oder Niederschlagsverhältnisse können eine Verschiebung der Klimazonen und demnach regional eine Veränderung der Hauptbodengruppen bewirken.

Wenn, wie von Klimatologen vorausgesagt, als Folge der anthropogenen Emissionen klimarelevanter Spurengase die Durchschnittstemperatur während der kommenden 100 Jahre um rund drei Grad ansteigen sollte, so wird diese vergleichsweise kurzfristige Änderung Folgen für den Boden haben (1).

In unserem Beitrag sollen die schädlichen Wirkungen der Klimaveränderungen auf die Böden beschrieben und Möglichkeiten der Landwirtschaft aufgezeigt werden, diese Wirkungen zu vermindern. Land- und Forstwirtschaft sind auch selbst Verursacher klimarelevanter Spurengase. Sie beeinflussen vor allem die Konzentrationen von CO₂, CH₄, N₂O und NH₃ und tragen dadurch zur Änderung des chemischen Klimas bei.

Da Land- und Forstwirtschaft insoweit je nach den praktizierten Methoden sowohl direkt als Quelle als auch indirekt als Senke für klimarelevante Spurengase dienen können, möchten wir zunächst auf die Rolle der Landwirtschaft als Verursacherin klimarelevanter Spurengase eingehen, daran anschließend die schädlichen Wirkungen auf die Böden und die Landbewirtschaftung beschreiben und abschließend Verminderungsstrategien aufzeigen.

Landwirtschaft als Verursacherin klimarelevanter Spurengase

CO₂-Emissionen aus dem Vorleistungsbereich der Landwirtschaft

Die CO₂-Emissionen in der Landwirtschaft werden vorrangig durch den Verbrauch fossiler Energie im Vorleistungsbereich verursacht. Der direkte (Diesel, Heizöl, elektrischer Strom, ...) und indirekte Energieverbrauch (Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel, Futtermittel, Maschinen, Gebäude, ...) wird nach Angaben der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages auf 3 bis 4 Prozent des Gesamtenergieeinsatzes der Bundesrepublik Deutschland beziffert.

Die höchsten Emissionswerte werden beim Einsatz von Kraftfutter in der Tierproduktion, bei den Hackfruchtverfahren und bei der mineralischen Stickstoffdüngung verursacht.

Tabelle 1: Mittlere CO₂-Emissionsdichten aus dem Vorleistungsbereich und Management für unterschiedliche Bewirtschaftungsintensitäten und Kulturen (nach 2)

Nutzung	CO ₂ -Emissionsdichten [kg/ha*a CO ₂]		
	Bewirtschaftung		
	konventionell	extensiv	ökologisch
Getreide	826	665	443
Körner-, CCM-Mais	1.123	884	nicht relevant
Silomais	1.102	927	870
Futtererbsen	586	471	448
Ackerbohnen	636	575	568
Kartoffeln	1.661	1.498	1452
Zuckerrüben	1.043	833	698
Ölfrüchte ¹	828	466	459
Klee-Grasanbau	nicht relevant	673	573
Luzerne	453	326	281
Feld-Grasanbau	1.111	nicht relevant	nicht relevant
Wiesen, Weiden	642	390	202

¹ intensiv: vorrangig Raps, extensiv und ökologisch: vorrangig Öllein

Der flächenbezogene Ausstoß von CO₂ wird bei extensiver bzw. ökologischer Bewirtschaftung auf Grünlandflächen stärker reduziert als auf Ackerflächen (Tab. 1).

N₂O-Emissionen aus der Düngemittelanwendung

Der Erkenntnisstand zum Beitrag der Landwirtschaft an der N₂O-Emission ist noch sehr lückenhaft. N₂O entsteht als Ergebnis natürlicher Stickstoffumsetzungen in der belebten Natur, zu etwa 80 bis 90 Prozent bei der Denitrifikation von Nitrat, in geringerem Maße bei der Nitrifikation aus Ammonium. Es ist naheliegend, eine Ursache-Wirkungs-Beziehung aus Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft und N₂O-Emission herzustellen.

Die mangelhafte Kenntnis der Vielzahl der Einflußgrößen und ihrer Steuerung führt dazu, daß man sich zur Berechnung des emittierten N₂O in der Regel auf Emissionsfaktoren beschränkt, die sich auf Art und Menge des aufgewendeten Stickstoff-Düngers beziehen. Die Emissionsfaktoren für N₂O-N bei Anwendung unterschiedlicher Mineraldünger werden in Größenordnung von 0,1 bis 3 Prozent angegeben (3,4).

Die N₂O-Emission aus Mineraldünger und organischem Dünger für die Bundesrepublik Deutschland kann wie folgt abgeschätzt werden:

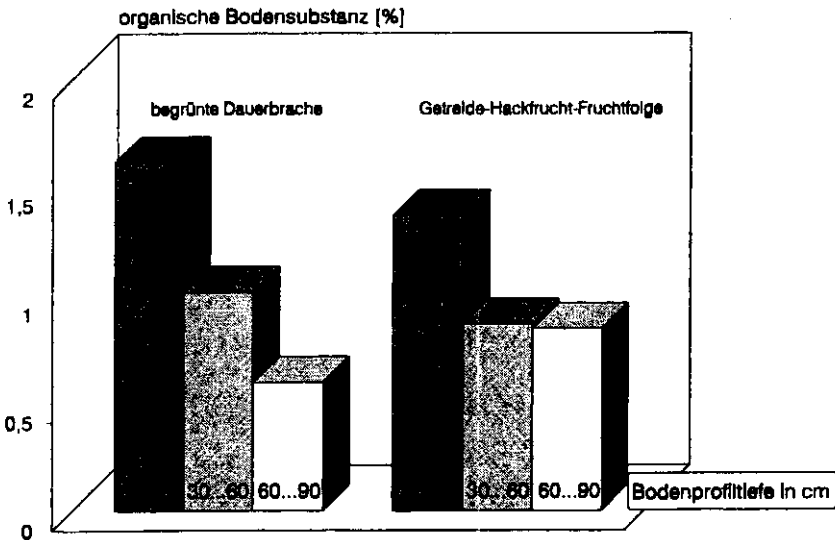
- mittlerer N-Aufwand (mineralisch) 93,6 kg N/ha*a
- mittlerer N-Aufwand (organisch) 87,0 kg N/ha*a
- Emissionsfaktor-N-mineralisch: 1 %
- Emissionsfaktor-N-organisch: 1 %
- Umrechnungsfaktor von N in N₂O: 1,57
- N₂O-Emission: 2,84 kg N₂O/ha*a

Auch wenn die absoluten Beträge der Emissionen unsicher sind, ist der Schluß erlaubt, daß eine Verminderung der N₂O-Emissionen am ehesten mit einer Reduktion der N-Düngung zu erreichen ist.

CO₂-Emissionen aus der Mineralisierung von Humus

Der Verlust an Kohlenstoff aus der organischen Bodensubstanz in den letzten 200 Jahren - vor allem als Folge von Bodenbearbeitung und Landnutzungsänderungen - ist bedeutend. Bodenbearbeitungsmaßnahmen bewirken infolge erhöhter Mineralisierung der organischen Bodensubstanz abnehmende C-Gehalte vor allem im Oberboden. Eine Änderung des Kohlenstoffgehaltes um 0,1 Prozent in einer Bodenschicht von 30 cm führt zu einer CO₂-Freisetzung von etwa 15 Mg/ha (Abb. 1). Größere CO₂-Mengen werden bei Grünlandumbruch und Niedermooerentwässerung freigesetzt.

Abbildung 1: Organische Bodensubstanz eines lehmigen Sandbodens unter 30-jähriger begrünter Brache im Vergleich zu Ackernutzung



Einfluß von Klimaänderungen auf Böden

Biologische Aktivität und organische Bodensubstanz

Nach der van't Hoff'schen Regel bewirkt eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur um drei Grad eine Erhöhung der C- und N-Umsatzraten im Boden um etwa 30 Prozent. Die verstärkte C-Mineralisierung ist danach mit einer zusätzlichen CO₂-Belastung der Atmosphäre verbunden.

Die steigende Nettoprimärproduktion an oberirdischer Biomasse infolge erhöhter CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre bewirkt auch eine erhöhte Zufuhr an leicht zersetzbarem Material. Neben der erhöhten Nettoprimärproduktion und Zufuhr leicht umsetzbarer organischer Substanzen kann mit

- vermehrter Wurzel- und Exsudatproduktion und
 - erhöhter Aktivität von Mykorrhiza- und anderen Wurzel- bzw. Bodenmikroorganismen
- gerechnet werden.

Die Umsetzungsprozesse werden bei sich ändernden Klimaverhältnissen in Abhängigkeit von Bodenart und physikalischen Bodeneigenschaften unterschiedlich beeinflusst. Zusammenfassend aus Literaturangaben, Ergebnissen aus Dauerversuchen und Modellrechnungen kann folgendes abgeleitet werden (5):

- Steigende Temperaturen verkürzen die Vegetationszeit. Das hat geringere Erträge und somit auch geringere C-Inputs in den Boden zur Folge. Beides verstärkt im Prinzip die durch höhere Mineralisationsraten verursachte Quellenstärke der Böden für CO₂.
- Steigende Temperaturen beschleunigen im Bereich nicht limitierender Bodenfeuchteverhältnisse die mikrobiellen Umsetzungsprozesse und verursachen so C-Verluste.
- C-Akkumulation im Boden kann nur durch hohe C-Inputs oder Hemmung der Umsetzungsprozesse infolge Trockenheit (insbesondere auf Standorten mit geringer Feldkapazität) bzw. durch einen Rückgang der Umsatzaktivität infolge verschlechterter Gasdiffusion erreicht werden.
- Der CO₂-Düngungseffekt bewirkt bei einjährigen Pflanzen eine erhöhte Biomasseproduktion, damit auch vermehrte Ernte- und Wurzelrückstände und ansteigende Humusgehalte. Inwiefern bei anuellen Pflanzen dieser Mehrinput die

Minderinputs durch eine Verkürzung der Vegetationsperiode ausgleichen kann, ist noch unklar.

Bodenwasserhaushalt

Änderungen der Temperaturen und Niederschläge beeinflussen die Wasserbilanz und das gesamte Bodenwasserregime. Steigende CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre beeinflussen das Bodenwasserregime indirekt über eine erhöhte Wasserausschöpfung infolge vermehrter Biomasseproduktion. Andererseits erhöhen steigende C_{org}-Konzentrationen im Boden das Wasserspeichervermögen. Vorhersagen über die zu erwartenden Änderungen sind daher sehr schwierig. Sie beschränken sich meist auf qualitative Aussagen.

Bei der Grundwasserneubildung unter Ackerstandorten muß in Abhängigkeit von steigenden Temperaturen und abnehmender Humidität mit langfristigen Abnahmen gerechnet werden.

Erosion

Die Effekte eines sich ändernden Klimas auf die durch Erosion verursachte Bodenverlagerung sind bisher noch nicht ausreichend quantifiziert. Regionalmodelle zur Risikoabschätzung von Erosionsschäden beschreiben die Boden-Transportprozesse in Abhängigkeit von standort- und nutzungsbedingten physikalischen Bodenzuständen, wobei die standortspezifische und zeitliche Variabilität zu beachten ist. Danach ist beispielsweise auf den sandigen Ackerstandorten der Region "Nordost-Deutschland" vor allem in den Wintermonaten mit einer zunehmenden Erosionsgefährdung durch Wasser bzw. Wind zu rechnen. Über tatsächliche Gefahren können jedoch nur aktuelle zu Standort, Schlag bzw. Hang zuzuordnende konkrete Daten über Boden, Topographie und Bewirtschaftung Aufschluß geben (6,7).

Begünstigt wird Bodenerosion (8) als

- **Wassererosion** durch verstärkt auftretende Extremereignisse. Das sind Niederschläge mit Einträgen > 7,5 mm als Einzelereignis oder anhaltende Niederschläge > 5 mm/h

und als

- **Winderosion** durch mittlere Windgeschwindigkeiten > 8 m/s.

Böden mit geringer Wasserhaltefähigkeit sowie hoher negativer klimatischer Wasserbilanz sind besonders gefährdet.

Mögliche Onsite- und Offsite-Schäden durch Erosion vergrößern die Flächenheterogenität und vermindern die ökologische Funktionsfähigkeit der Böden (9, 10) durch:

- Schäden an Pflanzen
- Bildung tiefer Erosionsrinnen oder Dünen
- Überdeckung von Pflanzen
- Wegspülen und Wegblasen von Boden
- Translokation von Dünger, Pestiziden und Saatgut
- Verlust an organischer Bodensubstanz (mittlerer Verlust je Tonne Boden: 3,1 kg C; 0,3 kg N; 0,3 kg P)
- vermindertes Wasserspeicher-, Filter- und Puffervermögen
- Verarmung an Pflanzennährstoffen
- Minderung der Erträge und Ertragsfähigkeit
- Stofftransfer in benachbarte Ökosysteme (Einträge von Schlamm und Sediment sowie von N und P)
- Eutrophierung von Seen, Flüssen und Kanälen
- Beeinträchtigung der Wasserqualität
- Verschmutzung von Vorflutern, Gräben, Wegen und Straßen

Die erhöhte Erodierbarkeit durch Wasser und Wind infolge Klimaänderungen beeinträchtigt die Senkeneigenschaften des Bodens für CO₂.

Nährstoffaustrag

Der Austrag von Nährstoffen durch Auswaschung ist der schnellste Verlagerungsprozeß, der in Böden stattfinden kann. In Gebieten mit hohen Niederschlägen oder Extremereignissen ist das Verlagerungsrisiko besonders hoch. Auf mittel bis grob texturierten Böden wurde eine Erhöhung des Auswaschungspotentials bis zu 100 Prozent bei überdurchschnittlichen Niederschlägen (+25%) ermittelt (11). Auch warme und feuchte Bedingungen im Winter und zeitigen Frühjahr begünstigen die N-Mineralisation und erhöhen so das Risiko des Nährstoffaustrages (hauptsächlich N, S) (12,13).

Auswaschungsverluste, direkt über erhöhte Niederschläge (nicht beeinflussbar) und indirekt über verstärkte Umsetzungsprozesse bzw. Nährstoffüberhänge (beeinflussbar), reduzieren die Senke des Bodens für Kohlenstoff. Das agronomische Management muß dieses Risiko abbauen.

Einschätzung der Sensitivität von Böden gegenüber Klimaänderungen

Eine zusammenfassende Beurteilung der klimainduzierten Veränderungen von Bodeneigen-

schaften und Bodenprozessen wird in Tabelle 2 vorgenommen.

Bei den zu erwartenden Klimaänderungen sind Flächen bzw. regionale Ökosysteme mit hoher Sensitivität besonders gefährdet. Das betrifft vor allem Böden mit schon heute gefährdeten Flächenanteilen durch

- Salinität
- Sodizität
- Al-Toxizität
- saisonaler Stauwasser
- geringem Bodenwasserspeichervermögen
- insgesamt geringer Bodenfruchtbarkeit.

Auftretende Stresssituationen können unmittelbar und signifikant oder aber erst nach Ablauf bestimmter Zeiträume zur Degradation der Böden führen. Degradierete Böden verlieren ihre Senkenkapazität für Kohlenstoff und damit für CO₂.

Vermeidungsstrategien

Reduzierung der Bewirtschaftungsintensität

Die Minderung der CO₂-Emission in der Landwirtschaft kann erreicht werden durch Verzicht auf bestimmte direkte und indirekte fossile Energieaufwendungen wie:

- Reduktion des Verbrauchs an Treib- und Schmierstoffen für Transport und Bodenbearbeitung (optimale Schlaggrößen, Einsatz von Gerätekombinationen, reduzierte Bearbeitungsintensität und -tiefe)
- Reduktion des mineralischen N-Düngereinsatzes sowie der chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel (Ausrichtung der Düngermengen am tatsächlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen und Berücksichtigung der im Boden freigesetzten Nährstoffmengen, Einsatz von Applikationsverfahren, die die Ausnutzung optimieren und den Verlust minimieren)
- energiesparende Trocknungs- und Lagerungsverfahren
- Reduktion der Saat- und Pflanzgutmengen (Zuckerrüben, Kartoffeln) durch Optimierung der Anbauverfahren

Dünger-Stickstoff und Futter-Stickstoff sind nicht die einzigen Quellen für N₂O, aber die zuerst zu beeinflussenden. Eine Verringerung der N₂O-Emissionen in der Landwirtschaft kann erreicht werden durch:

- Ausrichtung der Düngermengen am tatsächlichen Nährstoffbedarf bzw. am Nährstoffentzug durch die Pflanzen

Tabelle 2:
Einfluß von Klimaänderungen
auf Bodeneigenschaften und Bodenprozesse

(+ = positiv bewertete Folgen; - = negativ bewertete Folgen)

Eigenschaft / Prozeß	erhöhtes CO₂	erhöhte Temperatur	Trockenstress	extreme Niederschlagsereignisse
biologische Aktivität	+ erhöhte Aktivität des Bodenlebens bei vermehrtem Anfall von Ernte- und Wurzelrückständen (höherer C-Input)	+ Stimulation des Bodenlebens sowie Beschleunigung der Stoffumsätze - übersteigt die Respiration die Photosyntheseleistung kommt es zu Verlust an C _{org}	- Minderung der Bodenflora und -fauna - Hemmung der Stoffumsetzungsprozesse	- Minderung der biologischen Aktivität (häufigkeitsabhängig)
organische Bodensubstanz	+ höherer Gehalt an organischem Kohlenstoff bei höherem C-Input möglich - Veränderung der Humusqualität	- geringere Produktion von Ernte- und Wurzelrückständen durch Ertragsrückgang führt zu abnehmenden Humusgehalten	(+) Akkumulation von Kohlenstoff möglich	- erhöhte Erodierbarkeit - Verschlechterung der Humusqualität
Bodenstruktur	+ höhere Anzahl stabiler Bioporen (Regenwurmrohren, Wurzelgänge) + verbesserte Bearbeitbarkeit	+ Reduzierung des Verdichtungsrisikos durch Bewirtschaftung unter trockeneren Bodenbedingungen - Gefahr einer höheren Verdichtung durch Verlust an organischer Bodensubstanz	- Schrumpfung, Risse, geringere Makroporosität	- Neigung zu Verschlämmung und Verdichtung - reduzierte Bearbeitbarkeit
Bodenwasser und Gebietswasserbilanz	+ höhere Wassernutzungseffizienz, geringerer Wasserverbrauch der Pflanzen könnte Gebietswasserbilanz verbessern - größere Biomasseproduktion könnte positive Effekte kompensieren	- unproduktive Evaporation - verminderte Speicherung von pflanzenverfügbarem Bodenwasser infolge erwärmungsbedingten Humusabbaus - Verringerung der nutzbaren Grundwasservorräte	- reduzierter Bodenwassergehalt	- zeitweiser Überschuß an Bodenwasser (Auswaschungsgefährdung)

**Fortsetzung Tabelle 2:
Einfluß von Klimaänderungen
auf Bodeneigenschaften und Bodenprozesse**

(+ = positiv bewertete Folgen; - = negativ bewertete Folgen)

Eigenschaft / Prozeß	erhöhtes CO₂	erhöhte Temperatur	Trockenstress	extreme Niederschlagsereignisse
Nährstoffstatus des Bodens	+ stärkere Nährstoffmobilisierung - Reduktion der Nährstoffvorräte infolge erhöhter Biomasseproduktion	+ kurzfristig verbesserte Nährstoffverfügbarkeit - Abnahme der Pufferkapazität und des Redoxpotentials infolge erwärmungsbedingt vermehrten Humusabbaus - verminderte Humusgehalte verschlechtern die Nährstoffdynamik	- Reduzierung der Nährstoffverfügbarkeit - Verminderung der Düngeneffizienz	- Verlagerung von Nährstoffen
pH / Versauerung	+ höhere Sorptionskapazität bei vermehrter Humuszufuhr	- Freisetzung von Schwermetallen durch verminderte Humusgehalte und Abnahme der Kationen-Austauschkapazität		- Verlagerung von Ca
Erosion / Infiltration	+ Reduzierung von Oberflächenabfluß und Erodibilität infolge höherer Biomasseproduktion und besserer Bodenbedeckung	- Zunahme des Oberflächenabflusses, geringere Infiltration sowie verstärkte Erodierbarkeit des Bodens durch Wasser und Wind aufgrund von Humusverlust und abnehmender Pflanzendecke	- erhöhte Erodierbarkeit durch Wind	- Erosionsschäden und erhöhter Oberflächenabfluß - Minderung der Niederschlagsinfiltration
Nährstoff-Auswaschung	+ geringerer Nährstoffverlust bei höheren Entzügen bzw. verbesserter Sorptionskapazität	- wärmere Winter beschleunigen die N-Mineralisierung und führen zu N-Verlusten	+ minimale Nährstoffverluste	- Verarmung an Pflanzennährstoffen durch Oberflächenabtrag und Nährstoffaustrag
Versalzung	+ vermindertes Risiko durch Verbesserung der Salztoleranz sensibler Pflanzen	- erhöhtes Risiko infolge stärkerer aufwärtsgerichteter Wasserbewegung (höhere negative klimatische Wasserbilanz) bzw. Fehler im Bewässerungsregime		- erhöhtes Risiko durch Anhebung der Grundwasseroberfläche
Produktionspotential der Böden	+ Zunahme des Ertragspotentials auch auf weniger fruchtbaren Böden möglich	- Bei zunehmender Sommertrockenheit bzw. dem vermehrten Auftreten von Extremereignissen ist mit einem verminderten Ertragspotential auch auf fruchtbaren Böden zu rechnen.		

Tabelle 3: Langzeiteffekte des Managements auf Veränderungen des organischen Kohlenstoffs im Boden

Management	Standort	Kohlenstoffbilanz ΔC_{Org}		
		$[g/m^2 \cdot a C_{Org}]$	Jahre	$[kg/m^2 \cdot a C_{Org}]$
Stallung	U.K.	50	80	4,0
Stallung	U.K.	80	60	5,0
natürliche Sukzession	U.K.	50	80	4,0
extensive Landnutzung	USA	60	40	2,5
Mulch - Bearbeitung	USA	20	46	1,1
reduzierte Bearbeitung	Müncheberg	102	10	1,0
NPK + Stallung	Müncheberg	15	25	0,4
NPK	Müncheberg	-7	25	-0,2

- Berücksichtigung der im Boden enthaltenen bzw. von ihm freigesetzten Nährstoffmengen
- Vermeidung von N-Überhängen am Ende der Vegetationsperiode
- Bindung der Tierzahlen und des Einsatzes von Wirtschaftsdünger an die verfügbare Fläche
- Einsatz von Ausbringungsverfahren, die die Nährstoffausnutzung optimieren und die Nährstoffverluste minimieren
- Reduktion der Teilbrache-Zeiten
- Zwischenfruchtanbau (möglichst überwinternde Sorten mit der Möglichkeit der Futternutzung zu Beginn der Hauptsickerperiode)
- Verringerung der Tierbestände

Vergrößerung der Senkenkapazität von Böden für CO₂

Das Management hat einen dominierenden Einfluß auf die Veränderung der organischen Bodensubstanz. Ein Effekt im Sinne einer CO₂-Senke wird durch Zufuhr organischer Düngetrockenmasse erreicht. Eine mittelfristig anhaltende C-Akkumulation besonders auf sandigen Ackerstandorten ist jedoch nur mit hohen Inputs möglich (Tab. 3).

Reduktionspotentiale ergeben sich allerdings auch durch eine verzögert wirksame Quelle. Systemimmanent für umweltgerechtere Wirtschaftsweisen sind (5, 14) Maßnahmen, die die organische Bodensubstanz erhalten bzw. mehren:

- direkte organische Düngung
- Feldfutterbau mit hohen Ernte- und Wurzelrückständen

- Bodenbedeckung durch Haupt- und Zwischenfruchtanbau zur Erhöhung der Aggregatstabilität und zur Erosionsvermeidung
- konservierende Bodenbearbeitungsverfahren.

Im Vergleich zum Management ist der Einfluß eines veränderten Klimas gering.

Zusammenfassung

Stoffe aus der Landwirtschaft stellen einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an anthropogenen Emissionen dar, die die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern. Von den daraus resultierenden Klimaänderungen sind mittelbar auch unsere Böden betroffen.

Die Quantifizierung der Emissionen klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft läßt Ansatzpunkte für emissionsmindernde Maßnahmen erkennen.

Wesentlich erscheint vor allem eine Reduzierung der Bewirtschaftungsintensität sowie eine Vergrößerung der Senkenkapazität von Böden für klimarelevante Spurengase.

Eine Änderung des Managements hin zu einer ökologisch vertretbaren, eher als nachhaltig zu bezeichnenden Wirtschaftsweise würde den Ausstoß klimawirksamer Spurengase verringern. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse nützen jedoch wenig, wenn die Agrarpolitik nicht die ökonomischen Voraussetzungen für einen umweltgerechteren Landbau schafft. Die Gesellschaft als Ganzes muß bereit sein, die durch umweltschonende Formen der Landbewirtschaftung entstehenden Mehrkosten mitzutragen.

Literatur

- 1 Sauerbeck, D. (1993): Wechselseitige Beeinflussung von Klima und Böden: Fragen, Bereiche, Prozesse. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 69, S. 193-200.
- 2 Dämmgen, U.; Rogasik, J. (1995): Einfluß der Land- und Forstbewirtschaftung auf Luft und Klima. In: Mohr, H. (Hrsg.) Voraussetzungen einer nachhaltigen Landwirtschaft, in Vorbereitung.
- 3 Eichner, M. J. (1990): Nitrous oxide emissions from fertilized soils. Summary of available data. J. Environ. Qual. 19, 272-280.
- 4 Heinemeyer, O.; Kaiser, E.-A. (1993): Landwirtschaftliche Bodennutzung und N₂O-Emissionen sowie CH₄-Umsetzungen im Boden. In: Umweltbundesamt (Hrsg.) (1993) Emissionen der Treibhausgase Distickstoffoxid und Methan in Deutschland. Berichte 9/93. Schmidt, Berlin, 143-162.
- 5 Rogasik, J.; Dämmgen, U.; Obenauf, S.; Lüttich, M. (1994): Wirkungen physikalischer und chemischer Klimaparameter auf Bodeneigenschaften und Bodenprozesse In: Brunnert, H. und Dämmgen, U. (Hrsg.): Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung, Teil II. - Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 148, S. 107 - 139. Deumlich, D.; Frielinghaus, M. (1994): Eintragspfad Bodenerosion und Oberflächenabfluß im Lockergesteinsbereich. In: Werner, W. & Wodsak, H.-P. (Hrsg.): Regional differenzierter Stickstoff- und Phosphateintrag in Fließgewässer im Bereich der ehemaligen DDR unter besonderer Berücksichtigung des Lockergesteinsbereichs. Agrarspectrum, Band 22, 243 S.
- 7 Deumlich, D. (1995): Landschaftsindikator Bodenerosion. In: Bork, H.-R.; Dalchow, C.; Kächele, H.; Piorr, H.-P.; Wenkel, K.-O. (1995) Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Berlin, S. 241-263.
- 8 Frielinghaus, M.; Petelkau, H.; Schmidt, R. (1992): Wassererosion im norddeutschen Jungmoränen- gebiet. Zeitschrift für Kulturtechnik u. Landentwicklung 33, S. 22-33.
- 9 Frielinghaus, M.; Schmidt, R. (1993): Onsite and Offsite Damages by Erosion in Landscape of East Germany. Farm Land Erosion. In: Wicherek, S. (Hrsg.): Temperate Plains Environment and Hills. Amstørdam: Elsevier, S. 47-49.
- 10 Frielinghaus, M.; Kocmit, A.; Ratzke, U. (1993): Veränderungen von Bodenprofilen an wassererosionsbeeinflussten Hängen und Auswirkungen auf die Boden-erodibilität im Jungmoränengebiet. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 72, S. 1169-1172.
- 11 Khakural, B.R.; Robert, P.C. (1993): Soil Nitrate Leaching Potential Indices: Using a Simulation Model as a Screening System. Journal of Environmental Quality 22. S. 839-945.
- 12 Bradbury, N.J.; Powison, D.S. (1993): The potential impact of global environmental change on nitrogen dynamics in arable systems. (NATO Advanced Research Workshop. Soil responses to climate change: Implications for natural and managed ecosystems. Silsoe Campus, England, 20 to 24 September 1993).
- 13 Smukalski, M.; Rogasik, J. (1991): Vergleichende Untersuchungen zum Nitratgehalt eines lehmigen Sandbodens unter Rotationsbrache, Körnererbsen und Sommergerste sowie zu vor- und nachwinterlichen Nitratrestmengen, ohne und mit Stoppelfruchtanbau. Archiv Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde 35 S. 459-467.
- 14 Köpke, U.; Haas, G. (1995): Vergleich Konventioneller und Organischer Landbau - Teil II: Klimarelevante Kohlendioxid-Senken von Pflanzen und Boden. Ber. Ldw. 73, 416-434.

Autor/innen

Jutta Rogasik, Manfred Lüttich und Susanne Obenauf:
Institut für agrarrelevante Klimaforschung der Bundesanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völknerode (FAL), Eberswalder Straße 84F, 15374 Müncheberg

Ozon-Smog - eine zunehmende Belastung für die Landwirtschaft

Gerald A. Herrmann

Die Belastung von Mensch, Tier und Natur durch bodennahes Ozon wächst von Jahr zu Jahr. Kurz bevor in Bonn im Sommer 1995 ein halbherziges Ozongesetz mit viel zu hoch angesetzten Ozonegrenzwerten verabschiedet wurde, nahm die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe Ozon in die Liste begründet krebverdächtiger Substanzen auf. In der sogenannten MAK-Liste, die die maximal zulässige Konzentration derartiger Stoffe am Arbeitsplatz festlegt, soll jetzt eine Obergrenze von 100 Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Atemluft am Arbeitsplatz festgeschrieben werden. Bei nicht mehr seltenen Ozonwerten von weit über 100, ja über 200 Mikrogramm pro Kubikmeter ist der Arbeitsplatz der Bauern demnach unter Umständen stärker belastet als ein Arbeitsplatz in der Industrie. Auch die Alarmsignale der Vegetation sind nicht mehr zu übersehen:

Ernteeinbußen bis zu 30 Prozent, geschwächte und krankheitsanfällige Pflanzen, Störungen der Fruchtbarkeit bei Kartoffeln, Brotgetreide und Futterpflanzen. Die Einbußen für die Landwirtschaft durch bodennahes Ozon liegen schätzungsweise bereits in mehrstelliger Millionenhöhe. Der Ozon-Smog, in erster Linie aus Autoabgasen gebräut, bedroht in immer stärkerem Maße Mensch und Vegetation in der Landwirtschaft.

Zwar wurde am 26. Juli 1995 von der Bundesregierung das "Ozongesetz" verabschiedet, eine bundeseinheitliche Regelung für Fahrverbote bei hohen Ozonwerten. Doch Entscheidendes wird dieses Gesetz nicht bewirken. Das liegt an der Art und Weise, wie bodennahes Ozon entsteht, und am Umfang der Maßnahmen, die zu seiner Reduzierung eigentlich nötig wären.