

Bericht

Anthropogene Umweltbelastungen – Die Rolle der Landwirtschaft

Von A. KRAPPENBAUER und K. WRIESSNIG

(Mit 6 Abbildungen)

Zusammenfassung und Resümee

Die Umweltbelastungen verlaufen zum Energieverbrauch und dem Wachstum der Weltbevölkerung praktisch parallel. Seit 1950 sind in allen drei Belangen besonders große, z. Z. weiter zunehmende Steigerungen zu verzeichnen. Gegenwärtig wächst die Weltbevölkerung jährlich um etwa 1,9 %, der Energieverbrauch zwischen 2 und 3 % und die Umweltbelastungen um bis zu 3,5 %.

Mit der steigenden Weltbevölkerung einerseits und dem Wohlstandszuwachs andererseits ist die Lebensmittelproduktion und in Verbindung damit die Flächenproduktivität durch Düngung und Bewässerung stark angestiegen. Die damit zwangsläufig verbundenen Umweltbelastungen sind schwer gewichtbar und scheinen in den Belastungsstatistiken bisher nicht auf.

Eine erhöhte Flächenproduktivität in den Ökoklimaräumen führt zwangsläufig zu höheren Massenumwälzungen von Nährstoffen und diversen Gasen über Produktion und Verbrauch. Damit werden die kritischen (schädlichen) Aufladungen von Luft, Wasser und Boden genauso überschritten wie durch die Emissionen aus dem Verbrauch der fossilen Energieträger.

An der Spitze der Emissionen aus der Landnutzung stehen Methan, Stickoxide, Lachgas, Ammoniak und diverse Kohlenstoffverbindungen. Die gesteigerte Flächenproduktivität führt auch zu einer erhöhten CO₂-Umwälzung. Damit steigt auch der Einbau von aus den fossilen Brennstoffen freigesetztem CO₂ in die produzierten Biomassen. Daraus resultiert zwangsläufig über den Umsatz auch eine Erhöhung des CO₂-Pegels in der Luft.

Als bedeutendste Quelle für die Emission von Methan und Ammoniak gilt die Tierhaltung. In Österreich ist theoretisch z. Z. bereits jährlich jedes Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche mit 63 kg Methan und 11 kg Ammoniak belastet. Der Einsatz von organischen und anorganischen Düngemitteln, aber auch ein verstärkter Anbau von Stickstoffsammlern und Immissionen von Stickstoffverbindungen aus den Verbrennungsprozessen erhöhen den jährlichen Stickstoffumsatz. Von den anthropogen verursachten Emissionen rechnet man, daß weltweit heute etwa 85 % bei Ammoniak, 81 % bei Lachgas, 35 % bei den Stickoxiden (NO_x), 70 % bei Methan, 52 % bei Kohlenmonoxid und 21 % bei Kohlendioxid von der Landnutzung verursacht werden. Bei Kohlendioxid

ist die Anhebung des CO₂-Pegels durch einen erhöhten Biomassenumsatz nicht enthalten. Der Anteil der Landnutzung an den globalen Emissionen wird mit dem Bevölkerungszuwachs weiter steigen. Für die „entwickelten“ Länder resultiert daraus die Verpflichtung, die Überschußproduktion zu vermeiden. Insbesondere wird man aber weltweit die emissionsintensive Tierhaltung einschränken müssen. Faktum ist, daß bei der Ernährung von Tieren mit pflanzlichen Substanzen, die direkt auch für die menschliche Ernährung eingesetzt werden könnten, deren Nutzeffekt auf etwa ein Zehntel vermindert wird. Man wird angesichts der wachsenden Ernährungskrise in weiten Teilen der Welt rasch die Eiweißversorgung verstärkt auf pflanzliche Produkte konzentrieren müssen. Damit wird man auch einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der umweltbelastenden Emission u. a. aus der Tierhaltung leisten können. Abgesehen davon wird es angesichts der tatsächlichen Wachstumstendenzen unumgänglich sein, der Entwicklung entgegenzusteuern bzw. rechtzeitig Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Denn selbst bei allen denkbaren, weltweit wirksamwerdenden Reduktionsmaßnahmen muß, angesichts der aufgezeigten Fakten, mit einem einschneidenden globalen Klimawandel gerechnet werden. Dessen Folgen werden zweifellos auch für die Landwirtschaft von einschneidender Bedeutung sein.

Schlüsselworte: Landwirtbewirtschaftung, Methan, Stickoxide, Ozon, Klimaänderung.

Anthropogenic environmental pollution – the share of agriculture

Summary and conclusions

The increase of environmental pollution is in direct relation to the consumption of fossil coal, gas and oil and the progressive growth of the world population. Since 1950 these issues increased considerably and they will continue to increase in the future. At the moment the population increases by 1.9 %, the consumption of energy between 2 and 3 % and the environmental pollution up to 3.5 % annually.

With the progressive growth of the world population and the increase in prosperity in the developed countries the demand for food increased also progressively and therewith the productivity index of the units of arable land, by growing consumption of fertilizers and the installation of irrigation systems. At the same time the pollution of air, water and soil caused by agriculture also grew progressively. But up to date there is still a shortcoming of reliable statistical facts and figures.

A higher productivity index of the units of arable land in the different ecoclimatic zones of the earth leads to higher production and consumption by an inevitably higher turnover of plant nutrients and diverse gaseous substances, for example carbon mono- and dioxide, diverse compounds of nitrogen etc. At the same time an excess of the „critical loads“ for soil, air and water must be expected.

The main items of the emissions produced by an intensified agriculture are, besides carbon mono- and dioxide, methane, nitric and nitrous oxide, ammonia and diverse hydrocarbons. A higher productivity index is consequently related to a higher consumption. This also leads to an intensified turnover of carbon dioxide. There is consequently a progressive input of carbon dioxide resulting from the emissions of burning fossil fuel in the recently produced and con-

sumed biomass. This inevitably leads to a higher level of carbon dioxide in the air.

A main source of emissions of methane and ammonia is animal breeding. In Austria at this time from each of the 3,508.000 hectares of land used by agriculture annual emissions of 63 kg methane and 11 kg ammonia are resulting theoretically.

The use of organic and inorganic fertilizers, the growing cultivation of legumes and the emissions of nitrogen compounds resulting from burning processes elevate likewise the pool and the annual turnover of nitrogen compounds by production and consumption of biomass. Inevitably related to it is a growing amount of the annual input of nitrogen compounds to the air, the soil and the water.

A rough approximation says that at present agriculture contributes to the global anthropogenic pollution of the environment (air, soil and water) 85 % of the ammonia, 81 % of the nitrous oxide, 35 % of nitric mono- and dioxide, 70 % of the methane, 52 % of the carbon monoxide and 21 % of the carbon dioxide. Not considered in the figure for carbon dioxide is the inevitable increase of the level of CO₂ in the air by the elevated turnover of biomass. The world population growth in the future leads to an increasing contribution of agriculture to the anthropogenic environmental pollution.

For the developed countries this is an obligatory challenge to avoid surplus production. On a global scale there must be a sensible reduction of animal breeding to reduce the high emissions of methane and ammonia from this sector of agriculture. It must also be considered, that by feeding animals with vegetable food stuff, which also could be used for direct nutrition of man, the efficiency of it is lowered by a factor of 1:10.

In spite of a growing crisis to maintain the alimentation of the growing world population in many countries the nutrition of man must rapidly be centered on vegetable food stuff rich in protein. At the same time an essential reduction of the environmental pollution resulting from animal breeding could be realized.

Beside of it and other reducing issues a continuous growth of the world population, the energy consumption and environmental pollution will make it necessary to observe the development and reactions in the environment by monitoring and phenological observations. The results must be used to counteract finally by looking for adaptation strategies. Considering the realities it must be realized that by all means to mobilize for counteracting the environmental pollution directly, a certain climate change will be inevitable. The consequences will also be an outstanding challenge for the agriculture.

Key-words: agriculture, methane, nitrous oxide, ozone, global warming.

Einführung

Die Diskussion des Anteils der Landbewirtschaftung an den Umweltbelastungen ist in den letzten Jahren immer häufiger, außer in der Tagespresse, auch ein Thema für Fachzeitschriften und wissenschaftliche Bücher geworden. In der Agrarpolitik hat die Problematik bisher aber kaum die gebührende Resonanz gefunden.

Es läge aber im Interesse der Sache, daß das Thema auch in der Agrarpolitik verstärkt diskutiert und auch gewichtet wird. Denn global gesehen, wird man auch künftig verstärkt Lebensmittel aus landwirtschaftlicher Produktion brauchen, um die zur Zeit jährlich um mindestens 90 Millionen wachsende

Weltbevölkerung ernähren zu können. In Anbetracht der zweifellos mit der intensiven Landwirtschaft verbundenen Umweltbelastung wird man aber besonders dort, wo mehr oder minder viehlose Großflächenwirtschaft und praktisch landlose Massentierhaltungen Überschüsse und Schadstoffe produzieren, neue Wege suchen und gehen müssen, um das Übel zu minimieren. Denn letztlich schlagen die Belastungen auch unweigerlich auf die Landbewirtschaftung mit teils noch unvorhersehbaren, sicher aber gravierenden Folgen zurück.

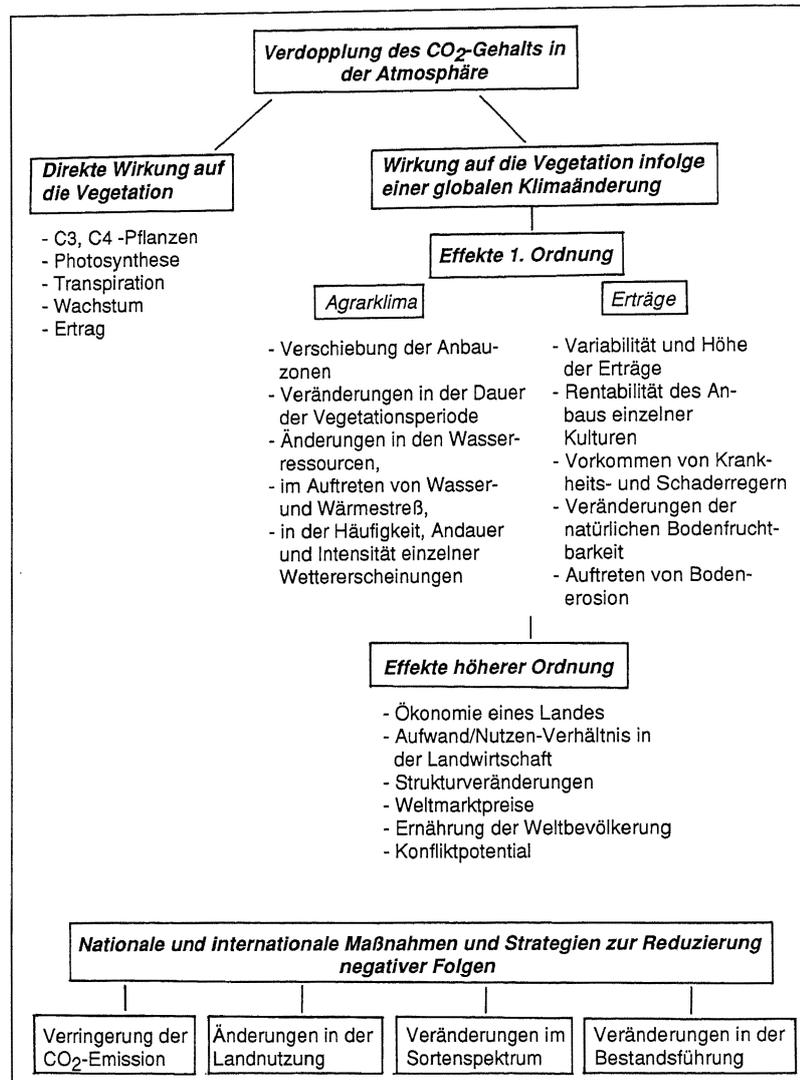


Abb. 1: Auswirkungen einer durch den steigenden Glashauseffekt bewirkten Klimaänderung auf die Landwirtschaft (nach CHEMIELEWSKI und HUPFER 1991).

In der Abbildung 1 sind als Beispiel die wahrscheinlichen Auswirkungen eines Klimawandels auf die Landwirtschaft für den Zeitraum einer Verdopplung des äquivalenten CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre aufgelistet. Trotz vieler

Unsicherheiten kann man heute bereits sagen, daß der im Zuge einer Verdoppelung des äquivalenten CO₂-Gehaltes sowohl in der Zeit vorher als auch darüber hinaus zu erwartende Klimawandel, auch beim Einsatz tiefgreifender Gegenmaßnahmen nur teilweise abgewendet (abgeschwächt) werden kann. Bereits im ersten Viertel des 21. Jahrhunderts (um 2020) ist die Verdoppelung des (äquivalenten) CO₂-Gehaltes zu erwarten. Es wäre daher heute bereits höchste Zeit, daß man neben tiefgreifenden Beschränkungen der Emission von glashauseffektiven Gasen auch Maßnahmen für Anpassungsstrategien zur Minimierung negativer Folgen auf breiter Basis in Angriff nimmt. Offenbar bleiben die erforderlichen Reaktionen bisher nicht zuletzt deshalb aus, weil ein enormer Informationsmangel über die bereits bekannten Indizien und Sachzwänge besteht.

Emissionen

Mit dem Energieverbrauch in Haushalt und Wirtschaft, den damit verbundenen industriellen Fertigungsmethoden und Produkten, dem Verkehr usw. und dem Druck auf die Ökosysteme u. a. über die Intensivierung der Landnutzung, der Tierhaltung und der Umwandlung von „natürlichen“ Ökosystemen in Agrar- und Forstökosysteme sind auch die Belastungen von Luft, Wasser und Boden durch Emissionen und Immissionen in den letzten Jahrzehnten entsprechend stark angestiegen.

Während die Emissionen, die aus dem Einsatz fossiler Energieträger resultieren, noch einigermaßen abschätzbar sind, sind die Belastungen, die aus dem Druck der intensiven Landnutzung einschließlich Tierhaltung auf Luft, Boden und Wasser hervorgehen, wesentlich schwerer erfaßbar. Sie scheinen daher in den Emissionsstatistiken in der Regel nicht auf.

In bezug auf den Glashauseffekt sind mehratomige Gase wie Kohlendioxid, Methan, Kohlenmonoxid (indirekt), Lachgas, troposphärisches Ozon und die Chlor-Fluor-Brom-Kohlenstoffe bzw. -Kohlenwasserstoffe von besonderer Bedeutung.

Weltweit ist zwischen 1950 und 1986 die CO₂-Emission, hauptsächlich aus den fossilen Energieträgern, auf das 3,5fache angestiegen.

Seit 1980 steigen die CO₂-Emissionen in den Entwicklungsländern am stärksten. Dies hängt wohl in erster Linie mit dem Bevölkerungszuwachs und der Industrialisierung (China, Korea, Indonesien usw.) zusammen.

Kohlenwasserstoffe aus der Biomasse

Ein laufend wachsendes, aber erst in den Anfängen der Gewichtung stehendes Problem bildet die Ausgasung von diversen „natürlichen“ Kohlenwasserstoffverbindungen aus der Vegetation, den Böden, den Deponien (Abfällen), der Tierhaltung usw.

Ausgasung „natürlicher“ Kohlenwasserstoffe

Man nimmt nach Messungen und Schätzungen von LAMB et al. (1987) und NOVAK und PIERCE (1993) an (Abb. 2), daß aus der Vegetation global mehr Kohlenwasserstoffe ausgasen, als die anthropogenen Nichtmethankohlenwasserstoff(NMHC)-Emissionen zusammengenommen ausmachen.

Die „natürlichen“ Kohlenwasserstoffe sind außerdem besonders reaktionsfreudig. Die größten Emittenten sind Wälder und bestimmte landwirtschaftliche Nutzpflanzen.

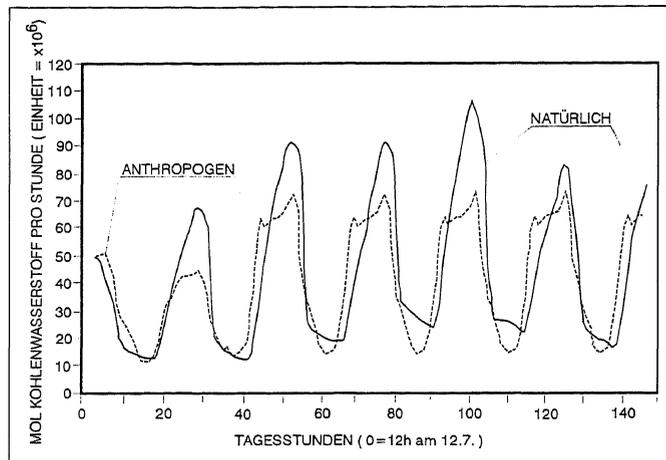


Abb. 2: Vergleich der stündlichen natürlichen und anthropogenen Emissionen von Kohlenwasserstoffen in den nordöstlichen USA, in der Zeit vom 12.–18. Juli 1988. Die Emission natürlicher Kohlenwasserstoffe lag bis zu 40 % höher als die anthropogenen Emissionen. Für die Bildung von Oxidantien ist von besonderer Bedeutung, daß die natürlichen Kohlenwasserstoffe sehr rasch reagieren (nach NOVAK und PIERCE 1993).

Die amerikanische Umweltbehörde (Environmental Protection Agency = EPA) benützt für die Emissionsabschätzung als Ansatz die in der Tabelle 1 angeführten Emissionsfaktoren. Dabei handelt es sich um Werte, die für 30 °C und volles Sonnenlicht standardisiert sind.

Tabelle 1

Flüsse von NMHC $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, Grundlage des EPA-Regionalmodells für Oxidantien (nach NOVAK und PIERCE 1993)

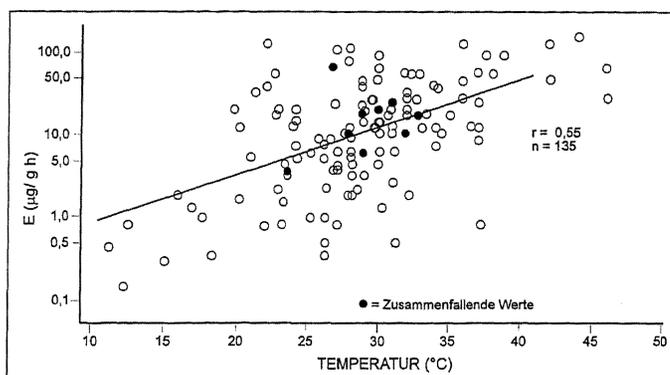
Landnutzung	Isoprene	α -Pinen	Andere Monoterpene	Andere HC	Insgesamt NMHC ^{a)}
Eichen	3108	128	128	894	4258
Mais	—	354	354	2834	3542
Laubbäume	2112	168	201	872	3353
Nadelbäume	745	652	714	994	3106
Stadtbereich	409	77	85	200	771
Erdnüsse/Reis	102	128	128	153	510
Tabak	—	29	29	235	294
Wiesen/Weiden	56	70	70	—	—
Gras/Busch-Land	38	47	47	57	189
Kartoffel	10	12	12	14	48
Hirse	8	10	10	12	39
Luzerne	19	4	4	11	38
Gerste, Baumwolle, Hafer, Roggen, usw.	8	10	10	11	38
Weizen	15	3	3	9	30
Sojabohne	22	—	—	—	22
Wasserflächen	—	—	—	—	—

In Tabelle 1 findet die schon länger bekannte hohe Emission von NMHC aus den Wäldern eine Bestätigung. Die Emissionen aus den Pflanzen nehmen mit steigender Umweltbelastung zu. Unabhängig davon steigt die Ausgasung, wie am Beispiel von Laubbäumen (nach LAMB et al. 1987) in Abb. 3 gezeigt, mit der Temperaturzunahme exponentiell, nicht linear an!

Die Ausgasung ist eine Funktion der Phytomasse. In den bewirtschafteten Räumen hat die Massenproduktion (Plantagenwälder und landwirtschaftliche

Intensivkulturen) mit Ertragssteigerungen besonders seit 1950 bis zum 5fachen und mehr beachtlich zugenommen. In den Tropen und Subtropen werden (KRAPFENBAUER 1992) in den letzten Jahren besonders Grasländereien in Plantagenwälder umgewandelt.

Abb. 3: Emissionen von NMHC (Nichtmethan Kohlenwasserstoffen) aus Laubbäumen in Abhängigkeit von der Temperatur; die Ordinate ist logarithmisch geteilt (nach LAMB et al. 1987).



Weltweit dürften also die natürlichen NMHC-Emissionen, nicht zuletzt in Verbindung mit der Bevölkerungszunahme und der Auswirkung anderer Umweltstressoren beachtlich angestiegen sein.

Stickoxide

Eine besondere Rolle für die luftchemischen Prozesse spielen die Emissionen von Stickoxiden (NO und NO_2) nicht nur in Verbindung mit den Verbrennungsprozessen. Seit langem stehen die hohen Emissionen von Stickstoffmonoxid aus den Verbrennungsprozessen fast ausschließlich im vordersten Feld der Betrachtung.

In Verbindung mit den steigenden Emissionen seit etwa 1950 kommt es auch zu bedeutenden Depositionen von Stickstoffverbindungen. Örtlich erreichen diese bereits Größenordnungen von 50 kg Reinstickstoff pro Hektar und Jahr. Besonders hohe Depositionen von Stickstoffverbindungen treten u. a. im Nahbereich von stark frequentierten Straßen, von Ballungsräumen und Massentierhaltungen auf.

Eine bisher kaum ausreichend untersuchte und gewichtete Frage ist die Umsetzung dieser Stickstoffmengen und des Stickstoffes aus der „Düngung“ über die Böden.

Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft

Neben den Stickoxiden aus dem Verkehr, der Industrie, Kraft-Heizwerken und dem Kleinverbrauch aus den Energieträgern gewinnen die Stickstoffverbindungen aus der Tierhaltung und der Düngung in der Land- und Forstwirtschaft zunehmend Bedeutung bei den Immissionsbelastungen.

Ammoniak aus der Tierhaltung

In der Tabelle 2 ist die Ammoniakausgasung aus der Tierhaltung in Österreich, berechnet für das Jahr 1992, zusammengestellt. 37.781 t Ammoniak resultierten 1992 aus der Tierhaltung, entsprechend 31.114 t Reinstickstoff.

Den 201.000 t NO_x-Emissionen des Jahres 1992 aus dem Verbrauch von „Brennstoffen“ in Österreich entsprechen 61.000 t Reinstickstoff. Die Tierhaltung erreichte also 1992 etwa 51 % der NO_x-Emission aus den Energieträgern.

Tabelle 2

Ammoniakemission aus dem derzeitigen (1992) Nutztierbestand in Österreich in t pro Jahr (nach HARTUNG und PHILLIPS 1994, ÖSTAT Jahrbuch 1993, ISERMANN 1994, und CHAMEIDES et al. 1994)

Tierartengruppen	Lebendvieh- einheiten je 500 kg	Ammoniakbildung kg pro 500 kg Lebend- vieheinheit und Jahr	Ammoniakemission Tonnen pro Jahr	Anteil % der Tiergruppen
Rindvieh	1,052.963	22	23.165	61,0
Schweine	632.341	19	12.014	32,0
Geflügel	38.616	25	965	2,5
Pferde	73.668	10	737	2,0
Schafe und Ziegen	28.112	32	900	2,5
			37.781	100

Umgelegt auf die landwirtschaftliche Nutzfläche Österreichs mit 3,508.000 Hektar beträgt die Ammoniakemission etwa 11 kg/ha.

NO_x-Ausgasung aus Böden über die Mineraldüngung

In der Tabelle 3 ist die NO_x-Ausgasung als Prognose aus der Mineraldüngung für zwei Entwicklungsszenarien mit verschiedenen „Geschwindigkeiten“ im Hinblick auf das Jahr 2025, ausgehend von der Gegenwart, zusammengestellt.

Tabelle 3

NO_x (NO + NO₂)-Emission in Kilotonnen pro Tag während der Vegetationszeit (April bis September), gegenwärtiger Stand und Entwicklung bis 2025 für zwei Geschwindigkeitsszenarien (nach CHAMEIDES et al. 1994)

Quellen	NO _x -Emissionsrate der kontinentalen Klima- Agrokomplexe der mittleren nördlichen Breite									Globale Emissionsraten		
	Östl. Nordamerika			Europa			Östl. Asien			G	LEW	REW
	G	LEW	REW	G	LEW	REW	G	LEW	REW			
Fossile Brennstoffe	18	16	18	18	21	25	6,8	13	21	58	77	110
Ausgasung, verursacht durch Dünger	3,6	4,5	4,4	6,4	13	13	1,5	3,1	3,1	15	33	33
Andere Quellen	3,4	3,4	3,4	4,3	4,3	4,3	2,9	2,0	2,9	40	40	40
insgesamt	25	24	26	29	38	42	11	10	27	113	150	183

G = Gegenwart, LEW=langsame Entwicklung, REW = rasche Entwicklung im europäischen „Klima-Agro-Komplex“ beträgt z. Z. der Anteil der durch Düngung bedingten NO_x-Ausgasung aus den Böden etwa 22 %, 2025 könnte er bei langsamer Entwicklung 34 % an der gesamten NO_x-Emission betragen.

Die NO_x -Emissionen für 2025 bzw. die Gegenwart sind für Haushalt, Verkehr etc. auf der Basis des Verbrauches fossiler Brennstoffe kalkuliert, für die Böden auf der Basis des Düngemiteleinsatzes. Weltweit rechnet man heute, daß die Ausgasung von NO_x aus dem Düngemiteleinsatz ca. 22 % an der gesamten NO_x -Emission beträgt. Wenn man die Emissionen aus dem Düngemiteleinsatz mit 22 % annimmt, würden die Emissionen von Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft mit 73 % an die NO_x -Belastung aus den Verbrennungsprozessen herankommen.

Lachgas aus anthropogenen Emissionen

Bei den Stickoxiden verdient das Lachgas besondere Beachtung, weil es als langlebiges Gas (etwa 150 Jahre) in der Stratosphäre zur Ozonzerstörung (Abb. 4) und zur Erderwärmung beiträgt.

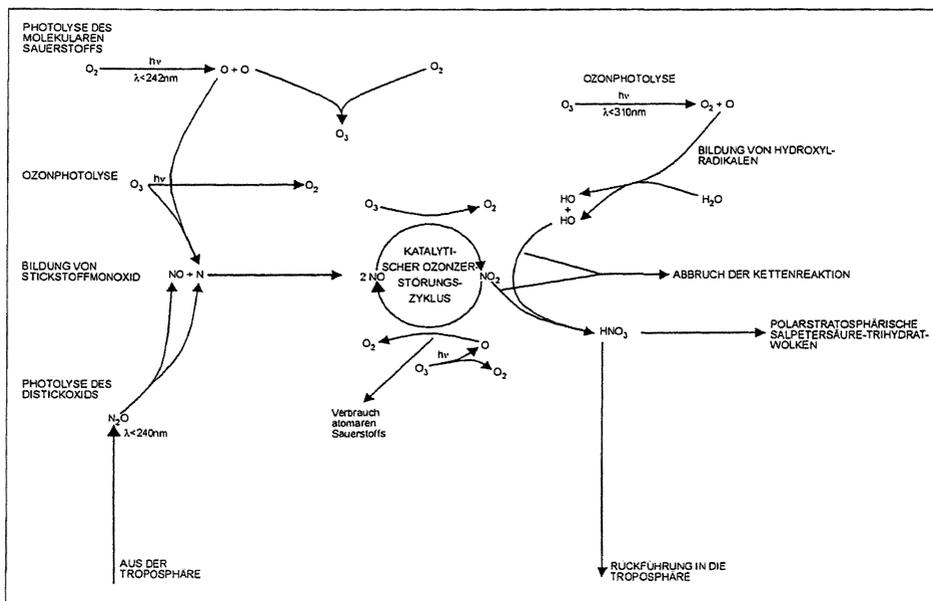


Abb. 4: Schema der stratosphärischen Prozesse der Ozonbildung und Ozonzerstörung in Verbindung mit dem Umsatz des Distickstoffmonoxids. Daraus resultiert letztlich auch eine Zunahme der UVB-Strahlung in der Troposphäre mit entsprechenden Auswirkungen auf deren luftchemische Prozesse (nach NRC 1987, zit. nach KRAPPENBAUER 1992).

In der Tabelle 4 sind nach KROETZE (1994) die mehr oder minder geschätzten jährlichen globalen anthropogenen Lachgasemissionen zusammengestellt. Demnach wäre die Landnutzung zur Zeit mit 63 % an den jährlichen N_2O -Emissionen beteiligt. Davon entfallen alleine 27 % auf die Kunstdünger und 24 % auf die organischen Dünger.

Tabelle 4

*Anthropogene und durch die Erwärmung ausgelöste „globale“ Emission von Lachgas;
Daten für 1990, TgN/Jahr (1Tg = 10¹² g = 10⁹ kg = 10⁶ t) nach KROETZE 1994*

Quellen (TgN/Jahr)	Direkt industriell*)	Direkt biogen*)	Indirekt biogen**) Boden, Wasser	Total (%)
Kunstdünger	0,20	–	0,99	1,19 (27)
Nylonproduktion	0,50	–	–	0,50 (11)
Treibstoffe				
Stationäre Quellen	0,13	–	0,13	0,27
Mobile Quellen	0,39	–	0,09	0,48
Auto ohne Kat	0,03	–	0,04	0,07
Auto mit Kat	0,16	–	<0,01	0,16
Diesel Lkw	0,09	–	0,03	0,12
Denox-Diesel Lkw	0,06	–	0,01	0,07
Lkw ohne Kat	0,01	–	0,01	0,01
Lkw mit Kat	0,03	–	<0,01	0,03
Total	0,52	–	0,23	0,75 (17)
Biomassen				
Tropenwaldzerstörung	–	0,09	0,18	0,27
Savannenbrände	–	0,04	0,03	0,07
Lw. Rückstandverbrennung	–	0,09	0,06	0,15
Waldzerstörung i. d. mittl. Breiten	–	0,01	0,04	0,05
Total	–	0,23	0,32	0,54 (12)
Org. Dünger				
Kategorie I (Rinder, Pferde, usw.)	–	–	0,78	0,78
Kategorie II (Schweine, Schafe, usw.)	–	–	0,13	0,13
Kategorie III (Geflügel)	–	–	0,04	0,04
Menschen	–	–	0,11	0,11
Total	–	–	1,06	1,06 (24)
Global Warming	–	0,40	–	0,40 (9)
Total	1,22	0,62	2,59	4,43 (100)

*) Direkte Emissionen aus unmittelbaren menschlichen Aktivitäten

**) Indirekte Emissionen sind verzögerte Emissionen. Sie resultieren hauptsächlich aus der Zufuhr von N-Verbindungen zu den Böden und dem Wasser.

Gewichtung der gesamten Stickstoffbelastung

Versucht man aus den bisherigen Überlegungen eine Gesamtgewichtung der N-Belastungen, dann kommt man – entsprechend den Angaben in der Tabelle 5 – auf ein Verhältnis der N-Belastung von 1 : 1,83 zwischen nichtlandnutzungs- und landnutzungsbedingten Verursachern.

Tabelle 5

Gegenwärtiger Stand der Anteile der Landbewirtschaftung und der Verbrennung fossiler Energieträger an der Emission von NH₃-N, NO_x-N und N₂O-N in Europa in die Troposphäre (nach ISERMANN 1994 und KROETZE 1994)

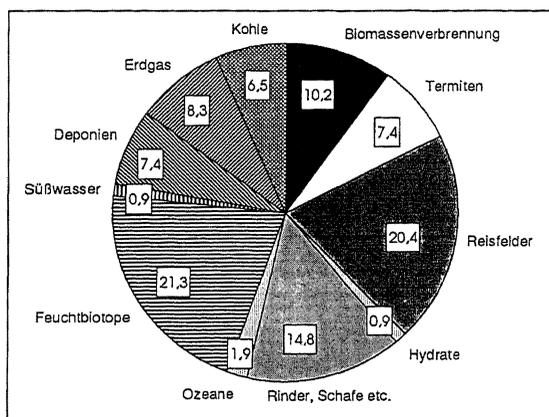
	10 ⁶ Tonnen pro Jahr			Gesamt	Verhältnis etwa
	NH ₃ -N	NO _x -N	N ₂ O-N		
Landbewirtschaftung	6,70	2,74	0,91	10,35	1,83
Verbrennung fossiler Energieträger	0,35	5,1	0,21	5,66	1,0
Summe	7,05	7,84	1,12	16,01	

Die Landnutzung trägt also mit rund 65 % zur Emission der gesamten Stickstoffverbindungen bei.

Methan

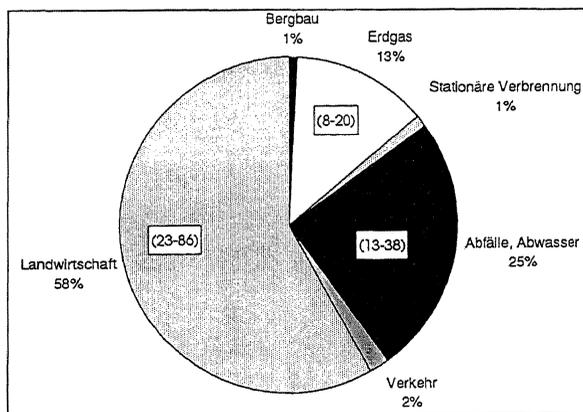
Neben den übrigen Kohlenstoffverbindungen hat Methan eine besonders hervorragende Rolle als umweltbelastende Substanz. Methan hat, ähnlich wie Lachgas, sowohl an der Ozonzerstörung in der Stratosphäre als auch an der Erderwärmung Anteil. Außerdem trägt es zur troposphärischen Ozonbildung bei. Die jährliche Methanemission wird mit Quantitäten zwischen 650 und 1000 Mio. t bei einem jährlichen Anstieg von ca. 1 % geschätzt. Die Abbildung 5 bringt einen Überblick über den Beitrag der verschiedenen Emittentengruppen. Global wird der anthropogen verursachte Anteil bereits auf 65 bis 70 % geschätzt. Der Anteil der Landnutzung alleine erreicht dabei weltweit etwa 45 %.

Abb. 5: Globale (geschätzte) Methanemissionen (Flüsse) verschiedener Quellen in %. Die jährliche Gesamtemission wird zur Zeit auf 650 bis über 1000 Mio. t geschätzt. Der jährliche Zuwachs betrug bis in die achtziger Jahre 1 %. In der letzten Zeit verzeichnet man einen geringeren Zuwachstrend (nach ROULET und REEBURGH 1993 und HARTUNG und PHILLIPS 1994).



Für Österreich hat ORTHOFER (1991) eine Schätzung der anthropogenen Methanemissionen (Abb. 6) für verschiedene Emittenten durchgeführt. Auf eine neuere Studie zum Problem „Möglichkeiten der Vermeidung und Nutzung anthropogener Methanemissionen“ (STEINLECHNER et al. 1994), die speziell für Österreich im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie vom Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung in Graz erstellt wurde, wird besonders verwiesen.

Abb. 6: Geschätzte Methanemissionen in Österreich (nach ORTHOFER 1991 und BOXBERGER et al. 1994).



Von den geschätzten 395.000 t jährlich sieht ORTHOFER (1991) 56 % (221.000 t) von der Landwirtschaft und hier wiederum praktisch nur durch die Tierhaltung verursacht. Nach der Berechnung in der Tabelle 6 entfallen davon 40 % auf den Stoffwechsel und 16 % auf die Ausscheidungen.

Tabelle 6

Methanbildungspotential verschiedener Tierarten (Tonnen pro Jahr) aus dem Stoffwechsel für Österreich (nach ÖSTAT 1993, zit. nach BOXBERGER et al. 1994).

Tierart	Emmissionsfaktor kg/Tier/Jahr	Tierbestand 1992 Österreich	Methan Tonnen/Jahr	Anteil %
Kälber (3-6 Mo.)	20,9	238.945	4.993,9	3,15
Jungvieh (6 Mo.-1 J.)	49,9	592.667	29.574,1	18,66
Jungvieh (1-2 J.)	57,4	521.078	29.909,9	18,87
Ochsen	65,0	34.475	2.240,9	1,41
Kalbinnen	61,0	111.363	6.793,1	4,29
Milchkühe	82,5	902.197	74.431,3	46,96
Pferde	18,0	61.390	1.105,0	0,70
Schafe	10,3	312.041	3.214,0	2,03
Schweine	1,3	3.719.653	4.835,6	3,05
Ziegen	6,5	39.354	256,0	0,15
Geflügel	0,09	12.872.075	1.158,5	0,73
			158.512,3	100,00

Bei den stoffwechselbedingten Methanemissionen liegt der Anteil der Rinder in Österreich zur Zeit mit 93 %, davon die Milchkühe mit etwa 47 %, an der Spitze. Aus den Exkrementen rechnet man mit einer jährlichen Emission von 61.000 t. Insgesamt kann man also mit einer jährlichen Emission aus der Tierhaltung von etwa 221.000 t Methan rechnen. Bei einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von ca. 3.508.000 ha ergibt sich theoretisch eine Ausgasung von 63 kg Methan pro Hektar und Jahr. An den geschätzten 395.000 t jährlich emittierten Methans beträgt der Anteil der Landwirtschaft 56 %.

Diverse Kohlenwasserstoffe aus der Schweinehaltung

Tabelle 7 gibt einen Einblick in die Summe diverser Kohlenwasserstoffe, die aus der Schweinehaltung im ehemaligen Westdeutschland im Jahre 1988 resultierten.

Besonders beachtenswert ist dabei u. a. auch der hohe Anteil der Emission von Methylaminen, weil diese Substanzen einerseits eine beachtliche Stickstoffkomponente darstellen und andererseits in größeren Konzentrationen Augen, Haut und Atemwege reizen.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Die voll- und teilhalogenierten Kohlenwasserstoffe sind sowohl an der stratosphärischen Ozonzerstörung als auch an der Erderwärmung beteiligt.

Der erst in letzter Zeit diskutierte Einsatz von Methylbromid in der Landnutzung zur „Bodenentkeimung“ trägt u. a. auch zur stratosphärischen Ozonzerstörung bei. Dabei fällt besonders ins Gewicht, daß das Brom ein 40mal so hohes Ozonzerstörungspotential hat wie Chlor (KHALIL et al. 1993).

Tabelle 7

Beispiel für die gesamte Gasemission aus der Schweinehaltung im ehemaligen Westdeutschland für 1988 (nach HARTUNG 1988)

Gase	Konzentration in mg/m ³	Emission von 24 Mio. Schweinen t/Jahr
Fettsäuren		775
Essigsäure	0,189	640
Propionsäure	0,156	1.304
n-Buttersäure	0,318	164
i-Buttersäure	0,040	144
n-Valerionsäure	0,035	201
i-Valerionsäure	0,049	41
n-Hexansäure	0,010	16
i-Hexansäure	0,004	12
Heptansäure	0,003	21
Oktansäure	0,005	16
Pelargonsäure	0,004	
Phenole und Indole		
Phenol	0,023	94
p-Kresol	0,039	160
Indol	0,0011	5
Skatol	0,0011	5
Methylamine		
Dimethylamine	2,0	8.200
Trimethylamine	2,2	9.020
Andere Gase		
Aceton	0,33	1.353
Ammoniak	8,5	35.000
Schwefelwasserstoff	2	8.200
Methan	0,004	16
insgesamt	11,72	65.390

Stand der globalen Emissionen von NH₃, N₂O, NO_x, CH₄, CO und CO₂ am Beginn der neunziger Jahre

In der Tabelle 8 wird versucht, den Stand der jährlichen Emissionen von „Schadstoffen“, darunter die glashauseffektiven Gase mit Hilfe der Angaben verschiedener Autoren abzuschätzen.

Der Wasserdampf, als das wichtigste glashauseffektive Gas, das über den Temperaturanstieg als Rückkoppelungseffekt wirksam wird, ist nicht angeführt.

Ein großer Teil der globalen Emissionen ist mit der Landnutzung verbunden. Der Anteil der anthropogen durch die Intensivierung der Landnutzung verursachten Emissionen wird sich aufgrund des steigenden Nahrungsbedarfes der wachsenden Weltbevölkerung in den Entwicklungsländern zwangsläufig weiter erhöhen.

Für die „entwickelten“ Länder resultiert daraus die Verpflichtung, die Überschußproduktion zu vermeiden. Man wird besonders die emissionsintensive Tierhaltung weltweit einschränken und gleichzeitig die Eiweißversorgung verstärkt auf die Pflanzen konzentrieren müssen.

Tabelle 8

Anteil der Landbewirtschaftung und der Verbrennung fossiler Energieträger an den globalen Emissionen von: Ammoniak (NH₃), Lachgas (N₂O), Stickstoffmon- und -dioxid (NO_x), Methan (CH₄), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂) pro Jahr (nach SÖDERLUND und SVENSSON 1976, ISERMANN 1994 und KREILEMAN und BOUWMAN 1994)

Art	gobal		Anteil ohne Landnutzung		davon anthropogen fos. Energieträger		Anteil aus der Landnutzung		davon anthropogen Intensivierung	
	/Jahr x 10 ⁶ t		/Jahr x 10 ⁶ t	%	/Jahr x 10 ⁶ t	%	/Jahr x 10 ⁶ t	%	/Jahr x 10 ⁶ t	%
NH ₃	63		6,3	10,0	0,63	1,0	56,7	90,0	53,9	85,0
N ₂ O	23		14,5	63,0	1,00	4,2	8,5	37,0	6,9	81,0
NO _x	164		127,9	73,0	42,64	26,0	36,1	22,0	12,6	35,0
CH ₄	650		377,0	58,0	12,35	2,0	273,0	42,0	191,1	70,0
CO	2.430		1.652,5	68,0	582,20	24,0	777,5	32,0	404,4	52,0
CO ₂	25.620		20.115,0	78,5	15.843,50	79,0	5.505,0	21,5	1.156,1	21,0

Die Kohlendioxidemission von 25.620 Mio. Tonnen entspricht etwa 2,7 % des jährlich über die biogenen Kreisläufe umgesetzten Kohlendioxid in der Höhe von 753.000 Mio. Tonnen (= 753 Gt CO₂ bzw. 205 Gt C).

Die Landnutzung ist also z. Z. mit 85 % bei Ammoniak, 81 % bei Lachgas, 35 % bei Stickstoffmon- und -dioxid, 70 % bei Methan, 52 % bei Kohlenmonoxid und 21 % bei Kohlenmonoxid an den anthropogen verursachten Emissionen beteiligt. Bei Kohlendioxid ist die Anhebung des CO₂-Pegels in der Atmosphäre durch die erhöhte Biomassenproduktion nicht enthalten.

Literatur

- BOXBERGER, J., Th. AMON und H. DISSEMOND, 1994: Biogene Emissionen der Landwirtschaft. In: CH₄-Emissionen in Österreich. Akademie für Umwelt und Energie, BM f. Umwelt, Jugend und Familie und Österr. CO₂-Kommission (ACC), R. Dokumentation, Bd. 6, Laxenburg-Wien.
- CHAMEIDES, W. L., R. S. KASIBHATLA, J. YIENGER and H. LEVY, 1994: Growth of Continental-Scale Metro-Agro-Plexes, Regional Ozone Pollution and World Food Production. *Science* 264, 74-76.
- CHEMIELEWSKI, P. und P. HUPFER, 1991: Zur Auswirkung der Klimaschwankung. In: Das Klima der Erde. Akademie-Verlag
- HARTUNG, J., 1988: Tentative calculations of gaseous emissions from pig houses by way of the exhaust air. In: NIELSEN, V. C. and P. L. HERMITE (eds.): Volatile emissions from livestock farming and sewage operations. Elsevier Applied Science, London, pp. 54-58.
- HARTUNG, J. and V. R. PHILLIPS, 1994: Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *J. Agric. Engn. Res.* 57, 173-189.
- ISERMANN, K., 1994: Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. *Environmental Pollution* 83, 95-111.
- KHALIL, M. A. K., R. A. RASMUSSEN and R. GUNAWARDENA, 1993: Atmospheric Methyl Bromide: Trends and Global Mass Balance. *J. Geophys. Res.* 98, D2, 2887-2896.
- KRAFFENBAUER, A., 1992: Ozonzerstörung in der Stratosphäre und UV-B-Strahlung. Eigenverlag, Wien.
- KREILEMAN, G. J. J. and A. F. BOUWMAN, 1994: Computing land use emissions of greenhouse gases. *Water, Air, and Soil Pollution* 76, 231-258.
- KROETZE, C., 1994: Nitrous oxide and global warming. *The Science of the Total Environment* 143, 193-209.
- LAMB, B., A. GÜNTHER, D. GAY and H. WESTBERG, 1987: A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions. *Atmospheric Environment* 21, 1695-1705.
- NOVAK, J. H. and Th. E. PIERCE, 1993: Natural emission of oxidant precursors. *Water, Air, and Soil Pollution* 67, 57-77.

- ORTHOFFER, R., 1991: Abschätzung der Methanemission in Österreich. Hrsg. ÖFZ Seibersdorf, Hauptabteilung Umweltplanung.
- ÖSTAT, 1993: Österreichisches Statistisches Jahrbuch, Österreichische Staatsdruckerei.
- ROULET, N. T. and W. S. REEBURGH, 1993: Formation and consumption of methane. In: KHALIL, M. A. K. (ed.): „Atmospheric methane“: Sources, sinks and role in global change. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg.
- SÖDERLUND, R. and B. H. SVENSSON, 1976: The global nitrogen cycle. In: SVENSSON, B. H. and R. SÖDERLUND (eds.): Nitrogen, phosphorus and sulphur – global cycles. SCOPE Report 7.22 Stockholm, 23–75.
- STEINLECHNER, E., H. BERGHOLD, F. M. CATE, G. JUNGMEIER, J. SPITZER und Ch. WUTZL, 1994: Möglichkeiten der Vermeidung und Nutzung anthropogener Methanemissionen. Forschungsbericht des Instituts für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Graz, im Auftrag des BM für Umwelt, Jugend und Familie.

(Manuskript eingelangt am 7. März 1995, angenommen am 18. Mai 1995)

Anschrift der Verfasser:

Em. o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Anton KRAPPENBAUER und Cand. Ing. Karin WRIESSNIG,
Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82,
A-1190 Wien