

N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels

P. J. Crutzen^{1,2,3}, A. R. Mosier⁴, K. A. Smith⁵, and W. Winiwarter^{3,6}

¹Max Planck Institute for Chemistry, Department of Atmospheric Chemistry, Mainz, Germany

²Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, USA

³International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria

⁴Mount Pleasant, SC, USA

⁵School of Geosciences, University of Edinburgh, Edinburgh, UK

⁶Austrian Research Centers - ARC, Vienna, Austria

Received: 28 June 2007 – Published in Atmos. Chem. Phys. Discuss.: 1 August 2007

Revised: 20 December 2007 – Accepted: 20 December 2007 – Published: 29 January 2008

Warum N₂O?

- Distickstoffmonoxid ist ein starkes Treibhausgas (Potential zur globalen Erwärmung ca. 300 mal so hoch wie für CO₂)
- Emissionen zu einem großen Teil (~70%) als Konsequenz der Stickstoffdüngung aus mikrobiellen Prozessen in Böden
- Ähnlich den anderen Treibhausgasen sind deutliche Konzentrationserhöhungen seit Beginn der Industrialisierung zu beobachten

Vier Schritte zu einer globalen Bewertung

- Globale N_2O Emissionen aus atmosphärischen Konzentration und der stratosphärischen Photolyserate
- Globale Angaben zur Fixierung von N_2 als Aktivität ergeben einen Emissionsfaktor
- „eingesparter Kohlenstoff“ aus dem Kohlenstoffgehalt der Pflanzenmasse und der Kohlenstoffbilanz der Herstellung von Biotreibstoff
- „emittierte Kohlenstoff-Äquivalente“ aus dem Stickstoffgehalt und dem Verwertungsgrad von eingesetztem Stickstoff

Schritt 1: Globale Emissionen

- Masse der Atmosphäre: $5,2 \times 10^{18}$ kg
- Gleichgewichtskonzentration von N_2O (vorindustriell):
270 ppb = $2,1 \times 10^{12}$ kg N_2O
- Atmosphärische Lebenszeit: 135 Jahre (photochemische Senke)
- Globale Senke = globale Quelle: 10,2 Tg $\text{N}_2\text{O-N}$

Emissionen aus Böden

- Vorindustriell (Fall 1):
nur Landquellen
→ 6,2 – 7,2 Tg N₂O-N/yr
- Inkrement durch industrielle Landwirtschaft (Fall 2):
gegenwärtige Bildung als Kompensation des
photochemischen Zerfalls (bei 315 ppb), und des
jährlichen Zuwachses 0,8 ppb/yr
= 3,9+11,9 Tg N₂O-N/yr
- Davon abziehen: natürliche Emissionen,
chemische Industrie = 4,3-5,8 Tg N₂O-N/yr

Schritt 2: Emissionsfaktor

$E = EF * A$, A aus statistischen Daten

- Hier: A ... Fixierung atmosphärischen Stickstoffs
(>99% des N ist als N₂ nicht pflanzenverfügbar)
- Vorindustriell (Fall 1):
N₂ Fixierung durch Leguminosen
- Industriell (Fall 2):
Haber-Bosch Prozess,
Verbrennung fossiler Brennstoffe
- Emissionsfaktor (EF): 3-5%



Schritt 3: eingesparte CO₂-Emission

- Massenanteil des pflanzlichen Materials, das als C in Biotreibstoffe geht, bestimmt die Effizienz der Umwandlung (hier nicht energiebezogen!)
- Energiedichte von Biotreibstoffen pro Einheit C entspricht jenen fossiler Treibstoffe (Ethanol – Benzin; RME – Diesel, alle etwa 50 MJ/g C)
- CO₂-Emissionen von Biotreibstoffen entsprechen dem vermiedenen fossilen CO₂

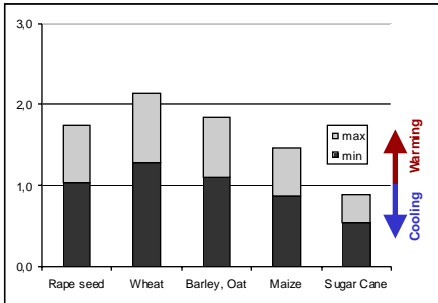
$$M = rC * \mu_{CO_2} / \mu_C * c_v$$

Schritt 4: N₂O- (CO₂-eq) Emissionen

- N in der Pflanzenmasse kommt aus dem Düngemiteleinsatz
- Stickstoff-Nutzungsgrad bezeichnet die Menge an erforderlichem Dünger, um Pflanzenstickstoff zu erhalten
- N₂O Emissionen in Zusammenhang mit der Biotreibstoffproduktion werden aus dem Emissionsfaktor berechnet (auch wenn die Emissionen räumlich entfernt stattfinden)

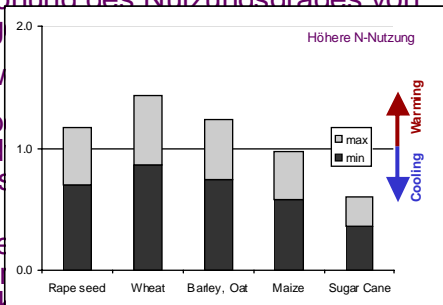
$$Meq = rN * y * \mu_{N_2O} / \mu_{N_2} * GWP / e$$

Ergebnis: Verhältnis Meq/M



Sensitivitätsuntersuchung

- Erhöhung des Nutzungsgrades von eing...
- Anw...
- Neb...
- land...
- Emis...
- gener...
- Biot...
- Stick...



en N₂O

em

Vergleich zu IPCC Emissionsfaktor

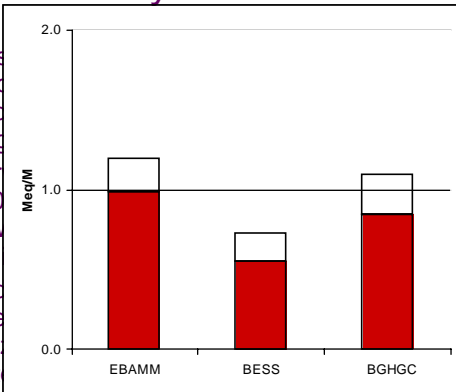
- IPCC default N_2O Ausbeute (Versuchsfeld):
ca. 1% (0,3 – 3%)
- IPCC default N_2O Ausbeute (indirekt):
ca. 0,5% (0,1 – 3 %)
- vergleiche: IPCC default 1,5% (vom N Einsatz)
 hier: $y=4\% \pm 1\%$ (von der N Fixierung)
- IPCC („Versuchsfeld“, „indirekt“) nicht gut abgesichert
- Viehhaltung und Güllemaangement werden hier nicht mehr behandelt
- IPCC zielt darauf, quellenspezifisch vorzugehen, während hier alle Quellen gemeinsam erfasst sind

Weitere Entwicklungen

- Politik:
EU-Direktive zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Vorschlag der Kommission vom 23.1.2008):
Biotreibstoffe müssen wenigstens 35% Einsparung bei Treibhausgasen nachweisen
(U.S.: neue Anlagen müssen 20% einsparen: Energy Independence and Security Act)
- Wissenschaft:
Einsatz von Prozessmodellen (JRC, RIVM):
→ Biotreibstoffe haben tendenziell höhere N_2O Emissionen als nach IPCC Faktoren erwartet
(allerdings sind „indirekte“ Effekte von geringer Bedeutung)

Life Cycle Assessment

- Most Mod wird eing
- Ver 200 bzw We
- Bed Ene Effiz Unt



LCA-
(en), variiert
auf 3-5% des

rrell et al.,
aus Mais,
l aus

find
produkten,
spezifische

Mosier et al., International Journal of Technology and Globalization, eingereicht

Stickstoffdünger zur globalen Nahrungsmittelproduktion

- Erisman et al. (2008) untersuchen die Bedeutung von Stickstoff für die globale Ernährungssituation, in der Vergangenheit wie in der Zukunft.
- Trotz angenommener Verbesserungen der agronomischen Praxis (Erhöhung der Effizienz des Stickstoffeinsatzes) ist mit einer weiteren leichten Zunahme der Freisetzung von N in die Umwelt zu rechnen.
- Lediglich ein „Biofuel“-Szenario lässt einen drastischen Anstieg des erforderlichen Stickstoffeinsatzes erwarten – mit den damit verbundenen ökologischen Problemen.

Erisman et al., Nature Geoscience, Oktober 2008

Schlussfolgerungen

- Unter realen Bedingungen können wichtige Biotreibstoffe der ersten Generation soviel und mehr an Treibhausgasen (hier: N_2O) wie fossile Treibstoffe emittieren
- Bilanzen sind meist Differenzen sehr unsicherer Zahlen
- LCA im Einzelfall erforderlich, aber Ergebnisse sind abhängig von den Annahmen
- Vermehrter Stickstoffbedarf – und die damit zusammenhängende Umweltprobleme – ist bei Forcierung von Biotreibstoff auch in Zukunft zu erwarten