

## Atmosphäre, Klima, Luft

### Diskussionsbeitrag

# Ansätze zur regionalen Quantifizierung von Methan aus Pflanzen \*

Susanne Draxler<sup>1\*</sup> und Frank Keppler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technisches Büro für Technische Chemie, Alßmayergasse 31/37, A-1120 Wien

<sup>2</sup>Max-Planck Institut für Chemie, J.J. Becherweg 27, D-55128 Mainz

\* Korrespondenzautorin (mail@technischesbuero.co.at)

Otto Fränzle zum 75. Geburtstag gewidmet

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2007.08.209>

**Bitte zitieren Sie diesen Beitrag wie folgt:** Draxler S, Keppler F (2008): Ansätze zur regionalen Quantifizierung von Methan aus Pflanzen. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20 (1) 75–79

#### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Methan hat als klimawirksames Gas bei der Ermittlung der Reduktionslasten nach dem Kyoto-Protokoll eine große Bedeutung. Je genauer regionale anthropogene und biogene Vorkommen ermittelt werden können, desto zielstrebigere Maßnahmen zur Eindämmung gesetzt werden. Direkte Emissionen von Methan aus Pflanzen dürften einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Gesamtemission leisten, der bislang in Emissionsbilanzen nicht berücksichtigt wurde.

**Methoden.** Hier soll der Versuch vorgestellt werden, mit Hilfe der ersten Messergebnisse ein Berechnungsmodell der aeroben Methanemissionen für einen abgegrenzten Zeitraum in regionaler Auflösung am Beispiel Niederösterreichs aufzustellen und die Ergebnisse in Relation zu bekannten Quellen zu setzen.

**Ergebnisse und Diskussion.** Erste Resultate aus dem Berechnungsmodell zeigen die Bedeutung der freigesetzten Methanmengen aus Pflanzen in Bezug auf die Emissionsmengen bereits bekannter Quellen.

**Ausblick.** Die Unsicherheiten in Bezug auf Messergebnisse und Quantifizierung werden durch weitere Studien minimiert werden müssen.

**Schlagwörter:** Biogene Emissionen; Klimaänderung; Kyoto-Protokoll; Methan aus Pflanzen; Quantifizierung von Methan aus Pflanzen

#### Abstract

#### Attempts to regionally quantify methane from plants

**Background.** Methane as a gas influencing our climate is of high importance according to the Kyoto-Protocol. The more precisely we can determine anthropogenic and biogenic sources, the more effective measures we can take to reduce the gas. Direct emission of methane from plants apparently contributes significantly to the total emission but has not been accounted for in emission balances until now.

**Methods.** A model was created to calculate methane emission for a short time period in regional resolution for Lower Austria and to relate the results to known literature.

**Results and Discussion.** First model results suggest that the amount of methane released from plants in relation to emissions from other known sources are of importance.

**Perspectives.** The uncertainties associated with both measurements and quantification require reduction by further research.

**Keywords:** Biogenic emissions; global warming; Kyoto-Protocol; methane from plants; quantification of methane from plants

#### Abkürzungen

BOVOC	Biogenic other volatile organic compounds (biogene, organische Emissionen, die keinen Isopren- bzw. Terpenträger aufweisen)
E	Einstein (Energieäquivalent eines Mols Photonen, wellenlängenabhängig)
IPCC	International Panel on Climate Change
NÖ	Niederösterreich

### 1 Problemstellung

Nach aktuellen Erkenntnissen vermögen Pflanzen, aber auch frisches bzw. getrocknetes Pflanzenmaterial, Methan unter aeroben Bedingungen zu emittieren [1]. Bislang wurde angenommen, dass biogenes Methan ausschließlich durch anaerobe bakterielle Zersetzung von organischem Material, etwa wie beim Reisanbau, in wasserüberdeckten Zonen [2] oder in Mooren entsteht und in Emissionsbilanzen so berücksichtigt wird. Weitere Berücksichtigung fanden die Bodensenke für Methan sowie Emissionen von Tieren und Menschen. In Österreich wurden zu den bislang bekannten Quellen und Senken erstmals Versuche zur regional detail-

lierten bottom-up-Quantifizierung unternommen [3], die aktuell fortgeführt werden [4]. Die neu gefundene Emissionsquelle soll im Rahmen dieser Arbeit zumindest ansatzweise erfasst werden. Bislang existiert noch kein bottom-up-Berechnungsmodell eines Methanemissionsschemas, das für diese Zwecke herangezogen werden könnte. Daher wird an dieser Stelle versuchsweise auf ein bereits bekanntes Emissionsschema aus dem pflanzlichen Bereich zurückgegriffen.

\* **ESS-Submission Editor:** Prof. Dr. Henner Hollert (hollert@uni-heidelberg.de)

Direkte Emissionen von Methan aus Pflanzen (nachfolgend auch als 'aerobes Methan' bezeichnet) dürften nach ersten Erkenntnissen deutlich temperatur- und lichtabhängig verlaufen. Damit zeigt sich eine Parallele zu den bereits gut beschriebenen Isopren-Emissionen aus Pflanzen [5]. Unter der Annahme, dass ein ähnlicher Mechanismus vorliegt, kann versucht werden, durch Übertragung und Anpassung des Berechnungsschemas auf aerobe Methanemissionen zu diskussionswürdigen Ergebnissen zu gelangen.

**2 Methode**

Nach [3] und [5] kann bei Isopren-Emissionen aus Pflanzen zwischen drei Zuständen unterschieden werden: Emissionen unter Einwirkung direkten Sonnenlichts, Emissionen zu bewölkten Tageszeiten und Emissionen in der Nacht (in der Nacht kann die Isopren-Emission gleich Null gesetzt werden). Von entscheidender Bedeutung bei der Quantifizierung dieser drei Teilemissionsmengen sind die dabei eingesetzten Parameter. Besonders zu betonen ist bei Isopren-Emissionen der Einfluss der Temperatur mit einer Steigerung von etwa 25% bei einer Temperaturerhöhung von 2°C. Der Einfluss der photosynthetisch aktiven Strahlung dürfte bei weitem nicht so ausgeprägt sein, ein Mittel über ganz Österreich erbrachte eine Abweichung von 1% [3].

Das herkömmliche Berechnungsschema für Isopren setzt sich wie folgt zusammen:

$$I_{ges.} = I \cdot h \cdot b \tag{1}$$

$$I = I_S \cdot C_L \cdot C_T \tag{2}$$

$$C_L = (\alpha \cdot c_{L1} \cdot L) / \sqrt{1 + \alpha^2 \cdot L^2} \tag{3}$$

$$C_T = \exp(c_{T1} \cdot [T - T_S] / \{R \cdot T_S \cdot T\}) / (1 + \exp(c_{T2} \cdot [T - T_M] / \{R \cdot T_S \cdot T\})) \tag{4}$$

Mit:

- $I_{ges.}$  Isoprenemissionsrate pro Tag und Fläche [ $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
- $I$  Isopreneinzelemissionsrate bei T und L [ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ]
- $h$  Stunden Tageslicht pro Tag [ $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ]
- $b$  Biomassedichte [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
- $I_S$  Standard-Isoprenemissionsrate für 303 K und 1.000  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  [ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ]
- $C_L$  Korrekturfaktor für die Strahlung [-]
- $C_T$  Korrekturfaktor für die Temperatur [-]

- $\alpha, c_{L1}, c_{T1}, c_{T2}$  systemimmanente Konstanten [-]
- $L$  photosynthetisch aktive Strahlung [ $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $T$  Blattoberflächentemperatur [K]
- $T_S$  303 [K]
- $T_M$  314 [K]
- $R$  Gaskonstante 8,3144 [ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

Das System basiert auf standardisierten Emissionswerten bei 303 K und 1.000  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , die es erlauben, mit Hilfe der jeweils vor Ort auftretenden klimatologischen Faktoren Globalstrahlung und Temperatur auf die regionalen Emissionsraten pro Tag und Flächeneinheit zu schließen.

Bislang wurde in Österreich auf Monats- und Regionsbasis genau gerechnet, wobei für die einzelnen betrachteten Spezies Biomassekurven auf Monatsbasis generiert wurden, die sich an den bekannten Eckdaten von Aussaat bzw. Blattwachstum und Ernte bzw. Laubfall orientieren und die maximalen Biomassedichten der Literatur mit einbeziehen. Die Biomassedichten von Laub- und Nadelbäumen entsprechen ihren Mengen an Blattwerk bzw. Nadeln. Weiterhin liegen die gewünschten Temperatur- und Globalstrahlungswerte, sowie die Tages-, Nacht- und Sonnenstunden datenbankerfasst auf dieser Ebene vor [3,6].

Die Bildung von Methan aus Pflanzen wird in der Fachwelt noch immer kontrovers diskutiert [7] und deshalb sollten die veröffentlichten Emissionsraten mit der nötigen Vorsicht weiter verwendet werden. Die Untersuchungen wurden unter Laborbedingungen und in Pflanzenkammern durchgeführt und sind somit nur eingeschränkt und mit nicht quantifizierbaren Unsicherheiten auf Gegebenheiten im offenen Freiland umzulegen. Trotzdem können die in [1] genannten Methan-Emissionsraten mit entsprechendem Hinweis auf die vorliegende Unschärfe als Standard-Emissionsraten in das Modell eingebracht werden. Diese Vorgehensweise ist bei der Ermittlung biogener Emissionen nach dem bottom-up-Ansatz verbreitet und rechtfertigt sich mit der Begründung, dass im März bis Mai, also in der Zeit der Versuchsreihen, in der Region Heidelberg ansatzweise mit Standardbedingungen von 1.000  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  zu rechnen ist. Für die Monate April und Mai stimmen diese Annahmen nach Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes [8] im Bereich der Globalstrahlung gut überein. Im fraglichen Zeitraum herrschten in der Umgebung von Heidelberg die in **Tab. 1** erfassten Parameter.

**Tab. 1:** Klimadaten aus der Umgebung von Heidelberg für die Monate März, April und Mai 2005

			März 2005	April 2005	Mai 2005
<b>Photosynthetisch aktive Strahlung</b>	sonnig	$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{mon}^{-1}$	31.000	42.000	52.700
	bewölkt	$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{mon}^{-1}$	27.900	39.000	55.800
	sonnig	$\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	683	926	1.162
	bewölkt	$\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	615	860	1.230
<b>Tagstundenmittel</b>	sonnig	°C	11,6	17,4	21,4
	bewölkt	°C	6,6	11,5	15,2
	sonnig	K	285	291	295
	bewölkt	K	280	285	288
<b>Nachtstundenmittel</b>		°C	1,7	6,0	9,0
		K	275	279	282

Daraus ist aber auch ersichtlich, dass eine gewisse Unsicherheit in Bezug auf die Standard-Temperatur gegeben ist, die sich in der Messzeit etwas unter der normierten Bezugsgröße von 303 K befunden hat. Allerdings wurde die tatsächlich bei den Experimenten herrschende Temperatur aufgezeichnet und mit einer Spanne von 25 bis 30°C (298 bis 303 K) angegeben. Die Annahme der ansatzweisen Übereinstimmung der geforderten Standardparameter mit den tatsächlich vorherrschenden kann daher vertreten werden.

Eine Abschätzung kann nur für eine Region und einen bestimmten Zeitraum versucht werden, die in den benötigten Parametern vollständig beschrieben sind. Im vorliegenden Fall wurde das Bundesland Niederösterreich im Monat Mai ausgewählt und folgende Annahmen getroffen:

Photosynthetisch aktive Strahlung:	an Sonnentagen 1.200 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (gerundet) an bewölkten Tagen 1.000 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (gerundet)
Tagstundenmittel:	sonnig 21,0°C bewölkt 19,8°C
Nachtstundenmittel:	9,5°C (beim Isoprenschemata nicht in die Quantifizierung mit einbezogen)
Sonnenstunden:	200 h.mon <sup>-1</sup> (gerundet)
Nicht-Sonnenstunden:	300 h.mon <sup>-1</sup> (gerundet)
Nachtstunden:	220 h.mon <sup>-1</sup> (gerundet, bei Isopren nicht in die Quantifizierung mit einbezogen)

Es konnten folgende Spezies betrachtet werden (Biomassedichte im Mai):

Weizen:	85,1 g.m <sup>-2</sup>
Mais:	83,2 g.m <sup>-2</sup> (Wert aus Juni, da im betrachteten Gebiet im Mai noch nicht zu berücksichtigen)
Grasland:	372,1 g.m <sup>-2</sup>
Fichten:	1.500 g.m <sup>-2</sup>

Aus [1] wurden folgende Emissionsraten als Standard-Emissionsraten für Methan herangezogen.:

Weizen:	0,317 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Mais:	0,428 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Grasland:	0,140 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (gemittelt aus den vorliegenden Daten)
Fichten:	0,081 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

An dieser Stelle soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den hier angegebenen Werten um die kleinsten Werte der in [1] publizierten Emissionsraten handelt. Die Obergrenze der Methan-Emissionen aus Pflanzen übersteigt die Untergrenze oftmals um den Faktor drei bis fünf. Deshalb kann der hier gewählte Ansatz als eher konservative Abschätzung betrachtet werden. Aufgrund der oben genannten Unsicherheiten wurde davon abgesehen, Berechnungen mit einer Emissionsspanne (Minimal- und Maximalwert) und der damit verbundenen Fehlerangaben durchzuführen.

In Niederösterreich liegen folgende Flächen [9,10] vor (1 ha entspricht 10.000 m<sup>2</sup>):

Weizen:	173.568 ha
Mais:	70.821 ha (Summe aus Silo- und Körnermais)
Grasland:	174.694 ha (ein- und mehrmähdig)
Fichten:	279.200 ha

Vernachlässigt man die deutliche Lichtabhängigkeit der Methanemissionen untertags und betont dafür die nachgewiesenen Ausgasungen unter Dunkelbedingungen – wobei unter Dunkelbedingungen nur eingeschränkt tatsächliche Dunkelheit gemeint ist, vielmehr wurden die meisten Versuche dazu unter Laborbedingungen mit Raumbeleuchtung durchgeführt (das Frequenzspektrum unter diesen Bedingungen ist allerdings eingeschränkt) – bietet sich auch an, das ebenso in [5] angeführte, einfachere Berechnungsschema für Monoterpen- bzw. BOVOC-Emissionen anzuwenden. Dabei werden Tag- und Nachtemissionen nur unter Temperaturabhängigkeit betrachtet.

Dieses Schema lautet wie folgt:

$$M_{\text{ges.}} = M \cdot h \cdot b \quad (5)$$

$$M = M_{\text{S}} \cdot \exp(\beta \cdot [T - T_{\text{S}}]) \quad (6)$$

Mit:

$M_{\text{ges.}}$	Monoterpen/BOVOC-Emissionsrate pro Tag und Fläche [ $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$M$	Monoterpen/BOVOC-Einzelemissionsrate bei T [ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ]
$h$	Stunden Tageslicht bzw. Nacht pro Tag [ $\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ ]
$b$	Biomassedichte [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$M_{\text{S}}$	Standard-Monoterpen/BOVOC-Emissionsrate für 303 K [ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ], aufgrund [1] tag-/nachtspezifisch
$\beta$	systemimmanente Konstante [-]
$T$	Blattoberflächentemperatur [K]
$T_{\text{S}}$	303 [K]

Analog zum Isoprenschemata beziehen sich die Emissionsraten auf 303 K. Als Referenztemperatur wird für die Blattoberflächentemperatur der Wert für nicht-sonnige Tage herangezogen, um Extrema zu vermeiden. Ansonsten wurden bei dieser Abschätzung dieselben Parameter wie beim Isoprenschemata verwendet. Die ursprüngliche Standard-Emissionsrate bezieht sich in diesem Modell auf die Summe der Terpene und BOVOC, im adaptierten Modus wurden wiederum die Emissionsraten aus [1] konservativ mit dem kleineren Wert der angegebenen Spannweite angesetzt:

Für den Tag wie oben bereits angeführt, und für die Nacht:

Weizen:	0,123 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Mais:	0,055 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Grasland:	0,040 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (gemittelt aus den vorliegenden Daten)
Fichten:	0,012 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

Alle anderen einfließenden Parameter wurden analog zum Isoprenschemata verwendet. Bei der Berechnung wurden mit Hilfe dieser Werte ein Tag- und ein Nachtzyklus generiert, die allein temperaturabhängig sind.

**Tab. 2:** Berechnungsergebnisse für Methanemissionen aus vier verschiedenen Pflanzenspezies

Spezies	Isopren-Schema:			Monoterpen/BOVOC-Schema:		
	Sonnenanteil $\mu\text{g}\cdot\text{mon}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	Nicht-Sonnenanteil $\mu\text{g}\cdot\text{mon}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	Summe NÖ $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$	Taganteil $\mu\text{g}\cdot\text{mon}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	Nachtanteil $\mu\text{g}\cdot\text{mon}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	Summe NÖ $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$
Weizen	1.719,8	2.153,0	6,7	5.458,0	368,8	10,1
Mais	2.270,7	2.842,7	3,6	7.206,4	161,2	5,2
Grasland	3.312,4	4.146,8	13,0	10.512,3	528,4	19,3
Fichten	7.747,7	9.699,4	48,7	24.588,2	634,3	70,4
<b>Zwischensumme</b>			<b>72,0</b>			<b>105,0</b>

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Für das Land Niederösterreich können somit im Mai nach dem Isoprenschema und dem Monoterpen/BOVOC-Schema die in Tab. 2 genannten Berechnungsergebnisse für Methanemissionen aus vier verschiedenen Pflanzenspezies ausgewiesen werden.

Möglich ist auch eine Kombination beider Berechnungsschemata in der Art, dass die zu erwartenden Tagesemissionen dem Isoprenschema, die Nachtmissionen dem Monoterpen/BOVOC-Schema entnommen werden. Damit würden sich die nachstehenden Ergebnisse für Niederösterreich bilden:

Weizen:	7,4 $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$
Mais:	3,7 $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$
Grasland:	14,0 $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$
Fichten:	50,5 $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$
Zwischensumme:	75,6 $\text{t}\cdot\text{mon}^{-1}$

Möglicherweise kommt diese dritte Variante den tatsächlichen Gegebenheiten am nächsten. Zu den Tagesemissionen wären dann noch rund 5% Nachtanteil zusätzlich erfasst. Die drei Berechnungsvorgänge unterscheiden sich somit in der Gewichtung der beeinflussenden Parameter. Während im ersten Fall die Lichtabhängigkeit stark betont wird, kommt im zweiten Versuch nur die Temperatur zum Tragen. In der dritten Variante werden Licht und Temperatur zugleich für Tag- und Nachtzyklus berücksichtigt. Welche Vorgangsweise der Natur am nächsten kommt, wird sich erst endgültig klären, wenn der Mechanismus des Entstehens und das Verhalten von Methanemissionen aus Pflanzen bekannt sind.

Die Ergebnisse der ersten zwei Varianten unterscheiden sich markant. Es scheint, dass der Temperatureinfluss im verwendeten Modell überproportional größer als der Lichteinfluss ist. Weiterhin entstehen unter Temperatureinfluss untertags deutlich mehr Emissionen als in der Nacht. Somit weichen die Ergebnisse der Varianten eins und drei nicht sehr weit voneinander ab, rechtfertigen aber die Annahme einer Dunkelreaktion.

Die Ergebnisse bewegen sich in einer Größenordnung, die ansonsten im biogenen Bereich üblich ist. Zum Vergleich seien bislang bereits bekannte Methanausweisungen an dieser Stelle angeführt [4]. Niederösterreich weist auf Basis 2004 eine Emission aus Mooren und Feuchtgebieten von rund  $60 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$  und eine Bodensenke von etwa  $290 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$  auf. Aus der Wildtierpopulation stammen ca.  $960 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ , aus dem Nutzvieh  $38.950 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$  und aus der Bevölkerung rund  $70 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ . In Summe werden somit aus dem Bereich Natur/Landwirtschaft

$39.750 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$  Methanemission zu erwarten sein. Betrachtet man nur den Mai, ergeben sich in Summe etwa  $3.250 \text{ t}\cdot\text{mon}^{-1}$  aus landwirtschaftlicher Tätigkeit und ca.  $60 \text{ t}\cdot\text{mon}^{-1}$  aus der Natur, in Summe also  $3.310 \text{ t}\cdot\text{mon}^{-1}$  Methan [4].

Mit diesen Vergleichswerten liegt der Schluss nahe, dass die bislang unbekannt Quelle aeroben Methans aus Pflanzen auch in regionalen Betrachtungen nicht unberücksichtigt bleiben sollte. Der derzeit für das Land Niederösterreich angeführte Wert von ca. 60 t Methan aus natürlichen, anaeroben Quellen im Monat Mai wird allein durch die Berechnung der Emissionen aus den angeführten vier Spezies um – je nach Berechnungsmethode – 72, 76 bzw. 105 t in diesem Monat erhöht. Das entspricht mehr als einer Verdopplung des Zahlenwertes durch die bislang zu berücksichtigenden aeroben Quellen. Unter der Voraussetzung, dass mit den angeführten Modellen die Wirklichkeit hinlänglich abgebildet werden kann, wird die Summe über alle Spezies weit höher anzusetzen sein und die Bodensenke möglicherweise überkompensiert werden.

### 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es ist derzeit nicht abschätzbar, welchen endgültigen Beitrag aerobes Methan zu den bislang bekannten natürlichen Emissionen bildet, da in der Zwischensumme nur vier von standardmäßig 38 betrachteten Spezies bzw. Gruppen [3,4] enthalten sind. Allerdings zeigen sich bereits die Zwischensummen deutlich größer als der bislang ausgewiesene, biogene Wert. Es ist zu erwarten, dass mit markanten Erhöhungen in diesem Sektor zu rechnen sein wird, was in Hinblick auf die Kyoto-Problematik (Methan weist nach dem IPCC [11] aus dem Jahre 2001 den 21-fachen Wirksamkeitsfaktor bezogen auf  $\text{CO}_2$  auf!) und deren Zielperiode 2008–2012 zur Erreichung der Reduktionsziele nicht unerheblich ist.

Die in dieser Arbeit angeführten Methoden zur regionalen Abschätzung aerober Methanemissionen wurden erstmalig durchgeführt. Sie weisen erhebliche Unsicherheiten auf, da einerseits bislang nicht bekannt ist, nach welchem Mechanismus die Emissionsfreisetzung stattfindet und andererseits gesicherte Messdaten zu anderen Spezies noch fehlen. Die Unsicherheiten in Bezug auf die Hochrechnung sind weiterhin kaum abschätzbar, da nur die in [1] angeführten Spannen der Messergebnisse mit einbezogen werden könnten, wobei, wie bereits erwähnt, der Fehler im Übertrag von Laborbedingungen auf Freilandbedingungen nicht quantifizierbar ist. Die Fehlerintervalle der darüber hinaus verwendeten statistischen und meteorologischen Datenbasen sind unbekannt und stehen somit für eine Fehleranalyse nicht zur Verfügung.

Aus diesen Gründen wurde auf die Angabe der Fehlerspannen verzichtet. Um dennoch erste Ergebnisse ausweisen zu können, wurde für die vorliegenden Berechnungen ein konservativer Ansatz am unteren Ende der Spanne der Messergebnisse aus [1] gewählt. Bislang ist nach [7] selbst in globalen Maßstäben noch ungeklärt, in welchen Größenordnungen sich aerobe Methanemissionen bewegen. Ein vorsichtiger Umgang mit den vorliegenden Emissionsraten ist daher ebenfalls dringend angezeigt. Erst weitere Feldstudien können hier zu einer Präzisierung führen.

Die Abhängigkeit der Emissionen von Temperatur und Sonnenlicht wurde bereits erkannt, was den Schluss auf eine Adaptierung des Isopren-Berechnungsschemas zulässt. Möglicherweise erweisen sich aber die Methanemissionen als licht- und temperaturempfindlicher als die des Isoprens. Jedenfalls dürfte im Gegensatz zu Isopren eine deutliche Dunkelreaktion auftreten, was die Anwendung des Monoterpen/BOVOC-Berechnungsganges bzw. die Kombination beider rechtfertigt. Zukünftige Messreihen werden die Datensituation in diesem Bereich deutlich verbessern.

Bislang wird ein Ansteigen der atmosphärischen Methankonzentration beobachtet [12,13], auch wenn seit etwa 2000 die Methan-Konzentration der Atmosphäre nur noch geringfügig zunimmt [14]. Allerdings geht man davon aus, dass die Methan-Konzentration in der Atmosphäre in Zukunft weiter ansteigt [7]. Trotz der großen Unsicherheiten kann bereits festgestellt werden, dass Methanemissionen aus Pflanzen, wenn sie sich in den bislang vermuteten Größenordnungen bestätigen, nicht zu vernachlässigende Beiträge zu den bislang bekannten Treibhausgasemissionen liefern, die zukünftig im Blickpunkt der für die Emissionsreduktionen verantwortlichen Personen liegen werden. Regionale Erfassungen als möglichst genaue Wiedergabe der tatsächlich vorliegenden Gegebenheiten können dabei einen wertvollen Beitrag als Entscheidungsgrundlage für Reduktionsmaßnahmen liefern.

## Literatur

- [1] Keppler F, Hamilton JTG, Braß M, Röckmann Th (2006): Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439, 187–191
- [2] Gebert J, Köthe H, Gröngroft A (2006): Prognosis of methane formation by river sediments. *J Soils Sediments* 2, 75–83
- [3] Draxler S (1998): Abschätzung biogener und geogener Emissionen in Österreich in der Zeitreihe. Diplomarbeit an der TU Wien
- [4] Forschungsinstitut für Energie- und Umweltplanung, Wirtschaft und Marktanalysen FIEU GmbH, Projekt: TAQI, Transnational Air Quality Improvement; laufendes EU-Projekt und eigene Berechnungen dazu; Informationen unter [www.taqi.info](http://www.taqi.info) bzw. [www.chemdata.at](http://www.chemdata.at), ongoing
- [5] Geron C, Guenther A, Pierce Th (1994): An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States. *J Geophys Res* 99, D6, 12.773–12.791
- [6] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, Klimadaten von Österreich 1971–2000, CD-ROM, 2002
- [7] Schiermeier Qu (2006): The methane mystery, special report. *Nature* 442, 730–731
- [8] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes unter [www.dwd.de](http://www.dwd.de)
- [9] Schadauer Kl, Schieler K (2004): Österreichische Waldinventur 2000/2002, Bundesamt für Wald, Wien
- [10] Statistik Austria GmbH STATA, Land- und forstwirtschaftliche Betriebe und Flächen am 1. Juni (1999), 2005
- [11] Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Nogueur M, Van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (2001): *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press
- [12] Klöpffer W (1990): Atmosphärisches Methan als Treibhausgas – Quellen, Senken und Konzentration in der Umwelt. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 3, 163–169
- [13] Hegerl G, Veerkamp W, Wolff C (1996): Greenhouse gas induced climate change. *Env Sci Pollut Res* 2, 91–95
- [14] Dlugokencky EJ, Houweling S, Bruhwiler L, Masarie KA, Lang PM, Miller JB, Tans PP (1992): Atmospheric methane levels off: Temporary pause or new steady state? *Geophys Res Lett* 30 (19), DOI: 10.1029/2003GL018126, 2003

Eingegangen: 12. Dezember 2006

Akzeptiert: 24. August 2007

OnlineFirst: 25. August 2007

**UWSF – Z Umweltchem Ökotox 2 (3) 163–169 (1990)**

## Atmosphärisches Methan als Treibhausgas – Quellen, Senken und Konzentration in der Umwelt

Walter Klöpffer

LCA Consult & Review, D-60435 Frankfurt /M. ([walter.kloepffer@t-online.de](mailto:walter.kloepffer@t-online.de))

### Zusammenfassung

Methan (CH<sub>4</sub>) gehört neben Wasser(dampf), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N<sub>2</sub>O), Ozon (O<sub>3</sub>) und den Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) zu den sog. Treibhausgasen, von denen man mit großer Sicherheit annimmt, dass sie durch IR-Absorption die von der Erde ausgehende Wärmestrahlung in den Weltraum hemmen. Dieser sog. Treibhauseffekt (d.h. der zusätzliche, über den natürlichen hinausgehende) ist eng mit der Ozonproblematik verknüpft (Zunahme des Ozongehalts in der Troposphäre, Schwund in der Stratosphäre):– die Ozonvermehrung in der Troposphäre sowie der Abbau in der Stratosphäre verstärken den Treibhauseffekt;– die FCKW, die zum Abbau des stratosphärischen Ozongehalts beitragen, sind auch Treibhausgase;– Methan soll in größeren Höhen (ca. 45 km) über den OHX-Zyklus ebenfalls zum verstärkten Ozonabbau beitragen. In diesem Beitrag werden die zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Reduktion des Treibhauseffektes als gravierender bezeichnet, da die CO<sub>2</sub>-Emission eine direkte Folge der vorherrschenden Energienutzung ist (Verbrennung fossiler Brennstoffe, vor allem Erdöl und Kohle). Methan (ein Nebenprodukt des biologisch-geologischen Kohlenstoffzyklus, dessen atmosphärisches Hauptprodukt CO<sub>2</sub> ist) trägt quantitativ weniger CO<sub>2</sub> zum berechneten zusätzlichen

Treibhauseffekt bei, stammt jedoch weitgehend aus natürlichen oder mit der Nahrungskette gekoppelten Prozessen. Rasche Lösungen zur Emissionsminderung sind hier nicht in Sicht. Methan ist auf Grund seiner langen chemischen Lebensdauer und der troposphärischen Aufenthaltszeit von rd. 10 Jahren gleichmäßig in der Troposphäre verteilt. In dieser Arbeit werden die natürlichen sowie anthropogenen Quellen des atmosphärischen Methans aus der Literatur zusammengestellt, wobei auch zwischen fossilem und 'jungem' Methan (im biologischen Kreislauf mit CO<sub>2</sub> gebildetem) unterschieden wird. Die Senken werden dargestellt, von denen die wichtigste der Methanabbau durch OH-Radikale in Troposphäre und Stratosphäre ist. Die Umwandlungsprodukte des Methans – Formaldehyd, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid – werden hinsichtlich ihrer Mitwirkung am Treibhauseffekt behandelt. Da die Methankonzentration steigt, müssen die Quellen stärker sein als die Senken. Weiterhin ansteigende Emissionen der Treibhausgase – so die Ansicht der meisten Atmosphärenforscher – werden zu einer mittleren Erwärmung der Erdoberfläche um einige Grade führen.

**Schlagwörter:** Atmosphäre; Fluorchlorkohlenwasserstoffen; Methan; Treibhauseffekt; Troposphäre