

# Vergleich von Emissionsfaktoren bei zwangs- und freibelüfteten Ställen

**Karl-Heinz Krause**, Stefan Linke



Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald  
und Fischerei

Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik  
In Braunschweig



*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Vortragsgliederung

- ➔ 1. Messen, Analysieren und Bewerten
- 2. Emissionen von freien Oberflächen
- 3. Zur Methodologie der Emissionsmessung
- 4. Beispiel eines sog. Atlantic-Stalles
- 5. Das Ende



*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Anfänge

### Goethe, Faust

**Geschrieben steht: "Im Anfang war das Wort!** Hier stock ich schon!  
Wer hilft mir weiter fort? ...

**Geschrieben steht: Im Anfang war der Sinn.** Bedenke wohl die  
erste Zeile, dass deine Feder sich nicht übereile! ...

**Es sollte stehn: Im Anfang war die Kraft!**

Doch, auch indem ich dieses niederschreibe, schon warnt mich  
was, dass ich dabei nicht bleibe.

Mir hilft der Geist! Auf einmal seh ich Rat! Und schreibe getrost:

**Im Anfang war die Tat!**

**Erich Käster: Fabian. Die Geschichte eines Moralisten.**

**Es gibt nichts Gutes, es sei denn man tut es.**

*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Zielsetzung

Formuliert in DIN EN ISO 11771

Luftbeschaffenheit –

Ermittlung von zeitlich gemittelten Massenemissionen  
und **Emissionsfaktoren** –

Allgemeine Vorgehensweise (ISO 11771:2010);

Deutsche Fassung EN ISO 11771:220

|   |                  |  |
|---|------------------|--|
| DEUTSCHE NORM   |                  | April 2011   |
|   | DIN EN ISO 11771 |  |
| Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuchs Reinhaltung der Luft, Band 5 |                  |  |
| ICS 13.040.40   |                  |  |

*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## aus der DIN EN ISO 11771 – Teil 1

Diese Internationale Norm beschreibt auch die messtechnischen Verfahren, die zur Ermittlung von Emissionsfaktoren benötigt werden. Ein Emissionsfaktor ist ein Wert, der die Beziehung zwischen der Menge eines freigesetzten Schadstoffes und der Aktivität, die der Freisetzung des entsprechenden Schadstoffes zugeordnet ist, beschreibt. Emissionsfaktoren sind nützlich, wenn die Betriebsbedingungen und die Zeitspanne, für die sie repräsentativ sind, bekannt sind.

Emissionsfaktoren werden zur Berechnung und Mitteilung von Massenemissionen sowohl im Zusammenhang mit Emissionskatastern als auch für andere Zwecke verwendet. Die Verwendung im Zusammenhang mit Katastern kann folgendes beinhalten:

- Emissionshandel;
- Aufstellung von Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister;
- Ausbreitungsmodellierung; 
- Luftreinhaltung;
- Überprüfung der Einhaltung von nationalen Emissionsgrenzwerten.

**Fast 100 % aller Fälle beziehen sich auf Ausbreitungsrechnungen.**

## aus der DIN EN ISO 11771 – Teil 2

### 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt allgemeine Verfahren fest zur Ermittlung und Meldung von zeitlich gemittelten Massenemissionen einer bestimmten Anlage oder einer Gruppe von Anlagen (oder eines gemeinsamen Quellentyps) unter Verwendung von messtechnisch ermittelten Daten und durch Bereitstellung von:

- Emissionsmassenströme durch gleichzeitige Messung der Konzentration und des Gasvolumenstroms mit standardisierten manuellen oder automatischen Verfahren und die Schätzung der Unsicherheit der Messung;
- zeitlich gemittelten Emissionsmassenströme auf der Basis von Zeitreihen der Werte der Emissionsmassenströme, ihrer Unsicherheitskenngrößen und der Ermittlung der erweiterten Unsicherheit des Mittelwertes;
- zeitlich gemittelten Emissionsfaktoren für eine bestimmte Anlage oder Gruppe von Anlagen und ihre zugehörigen Unsicherheitskenngrößen;
- einem Qualitätsmanagementsystem zur Unterstützung der Qualitätssicherung und Überprüfung von Katastern.

### 4 Kurzbeschreibung

Der Emissionsmassenstrom  $\dot{m}$  wird durch Multiplikation der gemessenen (oder berechneten) Massenkonzentration  $\gamma_m$  mit einem gemessenen (oder auf der Basis von Messdaten berechneten) Volumenstrom  $\dot{V}$  des Abgases, die beide für dieselbe Zeitspanne **repräsentativ** sind, für dieselben Bezugsbedingungen (Temperatur, Druck, Wasserdampfgehalt und Sauerstoffgehalt) nach Gleichung (1) berechnet:

$$\dot{m} = \gamma_m \dot{V} \quad (1)$$

Der zeitlich gemittelte Emissionsfaktor  $F$  einer Messkomponente wird berechnet, indem der durch eine Aktivität hervorgerufene Emissionsmassenstrom  $\dot{m}$  durch ein Maß für die mit der Freisetzung verbundene Aktivität (Aktivitätsdaten  $a$ ) geteilt wird, wobei der Emissionsmassenstrom und die Aktivitätsdaten für dieselbe Zeitspanne repräsentativ sind. Gleichung (2) zeigt diesen grundlegenden Zusammenhang:

$$F = \frac{\dot{m}}{a} \quad (2)$$

## Mastschweineeställe mit Zwangslüftungen



## Überfirstlüftung im Gardemaß



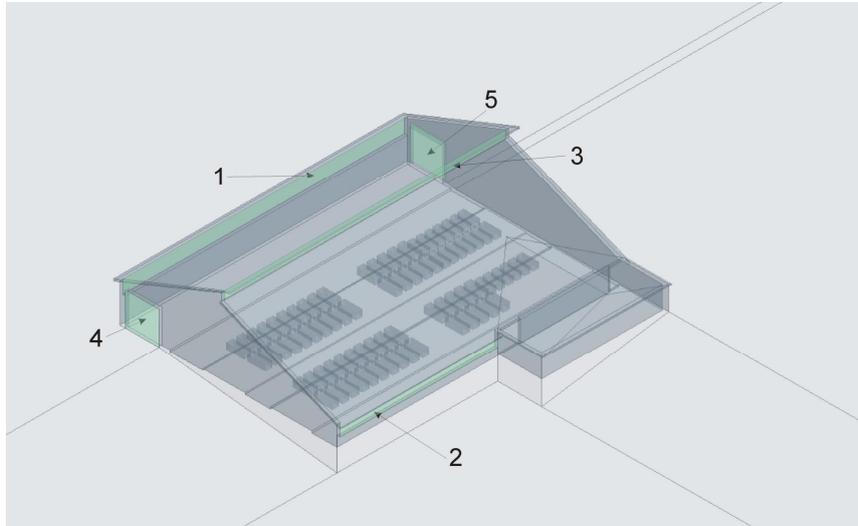
*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Überfirstlüftung im Gardemaß



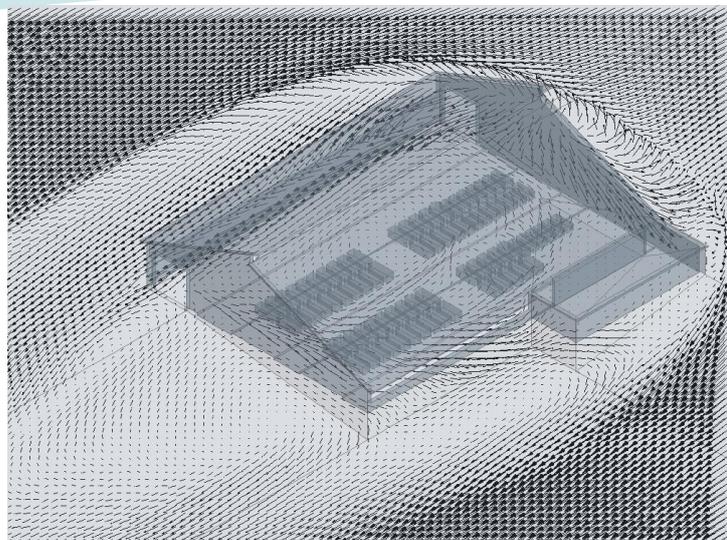
*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Geplanter Boxenlaufstall



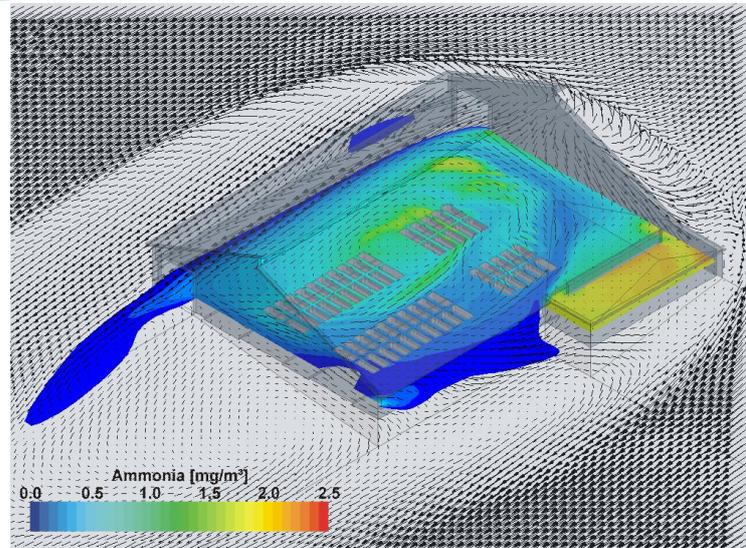
*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Windanströmung parallel zum Sheddach – Schnappschuss einer numerischen Simulation



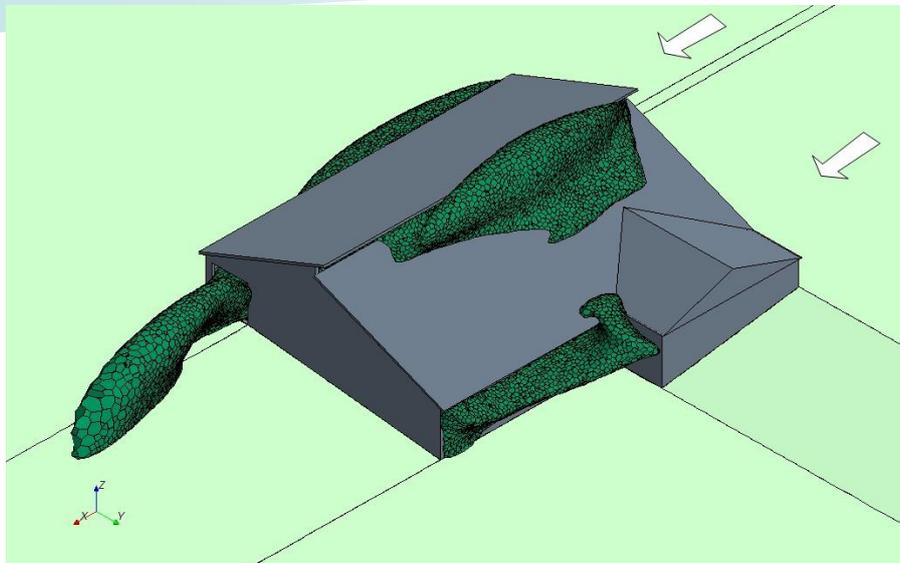
*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

## Ammoniakverteilung in einem Boxenlaufstall



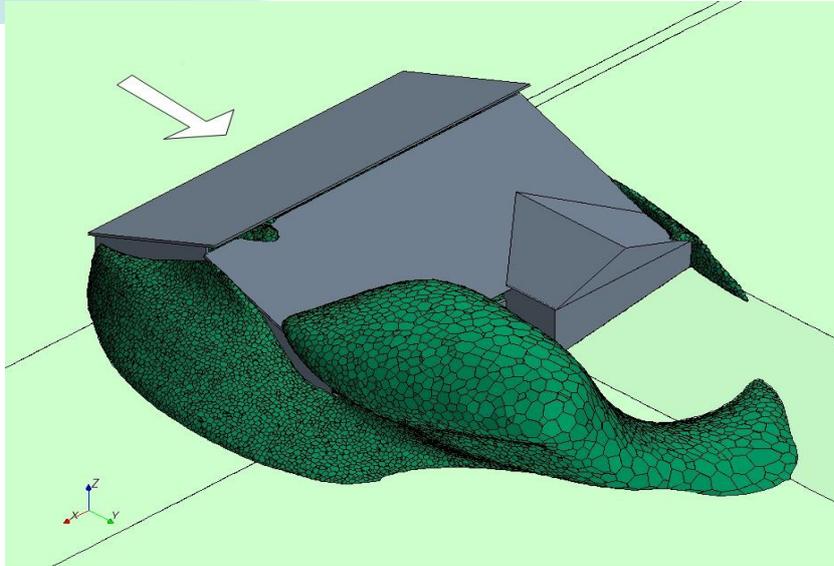
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Ammoniak mit Isokonzentrationsflächen von 1 ppm bei Wind aus dem 270°-Sektor mit $U = 4,5 \text{ m/s}$



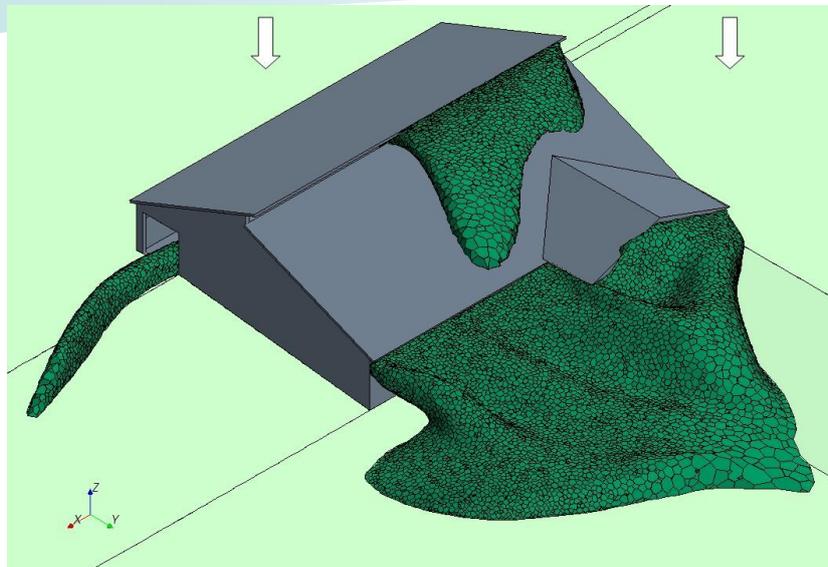
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

**Ammoniak mit Isokonzentrationsflächen von 1 ppm  
bei Wind aus dem 180°-Sektor mit  $U = 4,5$  m/s**



*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

**Ammoniak mit Isokonzentrationsflächen von 1 ppm  
bei Wind aus dem 225°-Sektor mit  $U = 4,5$  m/s**



*Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg*

### Stoffübergang an der Systemgrenze zwischen Stall und Umwelt

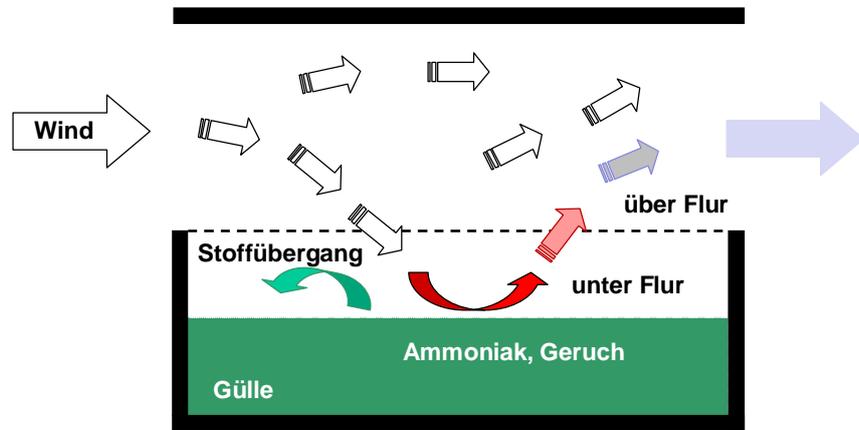
Abluftschächte als sog. Punktquellen  
Auslasszellen in Form von sog.  
Flächen- und Linienquellen

**Grundsatzfrage:**  
Emissionsbestimmung pro Quelle oder  
pauschal für die ganze Stallanlage

1. Messen, Analysieren und Bewerten
- ➔ 2. Emissionen von freien Oberflächen
3. Zur Methodologie der Emissionsmessung
4. Beispiel eines sog. Atlantic-Stalles
5. Das Ende



## Stofffreisetzungen von einer emittierenden Oberfläche



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Massenfluss

Allgemein in abstrahierter Form gilt

**Massenfluss = Diffusionskoeffizient x Potenzialgefälle**

$$\dot{m} = -D^* \frac{\partial C}{\partial z}$$

Integration zur messtechnischen Interpretierbarkeit

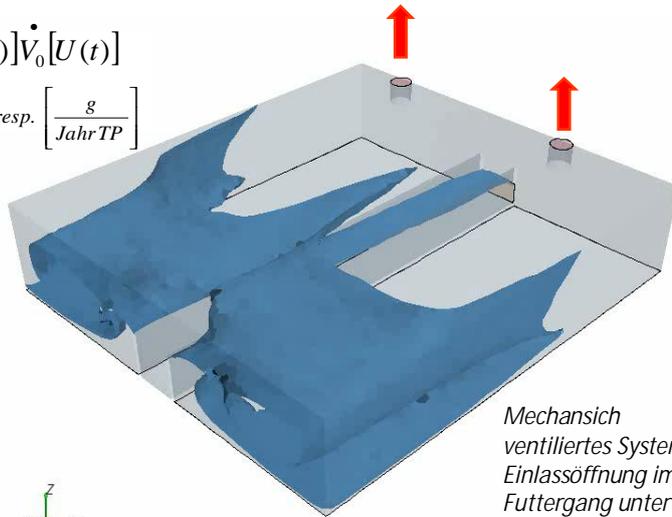
$$\dot{m} = D^* \frac{C(z_1) - C(z_2)}{z_2 - z_1} = D^* \frac{C_B - C_0}{\Delta h}$$

Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

**Massenstrom** am Beispiel von Ammoniak der Quelle „o“ .  
**Emissionsfaktor  $e_f$** : Massenstrom pro Tiermasse

$$\dot{M}_0(t) = C_0[U(t)]\dot{V}_0[U(t)]$$
$$e_f = \frac{\dot{M}_0(t)}{M_T} \text{ in } \left[ \frac{GE}{s\text{GV}} \right] \text{ resp. } \left[ \frac{g}{\text{JahrTP}} \right]$$

$$e_f = \frac{\dot{M}_0}{M_T}$$



Mechanisch  
ventiliertes System mit  
Einlassöffnung im  
Futtermgang unter der  
Ventilation

Emission

**Vortragsgliederung**

1. Messen, Analysieren und Bewerten
2. Emissionen von freien Oberflächen
- ➔ 3. Zur Methodologie der Emissionsmessung
4. Beispiel eines sog. Atlantic-Stalles
5. Das Ende



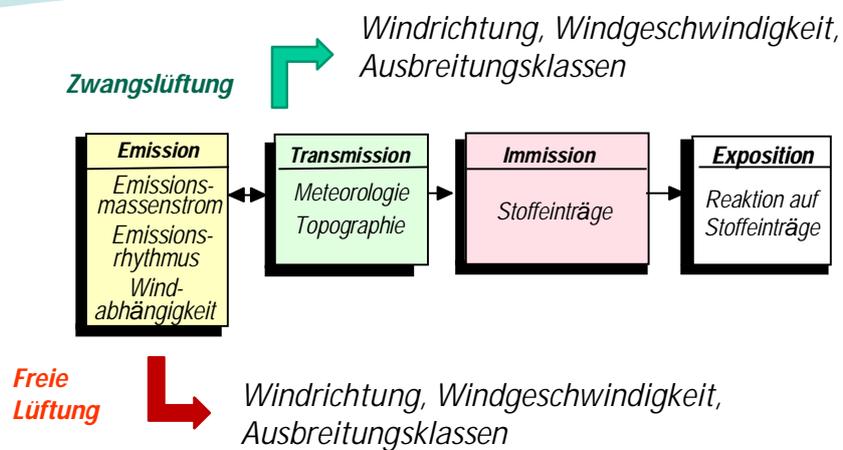
## Messumfang

Welche Größen müssen gemessen werden?  
Ein Massenstrom an Ammoniak bzw. Geruch ist direkt nicht messbar.

Behelfsweise werden zeit- und ortsgleich die Konzentration und der Volumenstrom gemessen.

Wie groß sind die Fehler bei der Messung und wie groß ist überhaupt der Messfehler in Bezug auf eine jahresrelevante Aussage?

## Grundsätzlicher Unterschied zwischen Zwangslüftung und freier Lüftung



## Einsatz von Emissionsdaten

Die Immissionskonzentration bestimmt sich wie folgt:

$$C(x, y, z) = C_0 \frac{\dot{V}_0(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmosph}} = C_0 D(\alpha, U, AK)$$

Im Jahresmittel erhält man durch die Summation (Integration, sprich Mittelung) aller Einträge den Jahresmittelwert

$$\overline{C(x, y, z)} = \overline{C_0(\alpha, U, AK) D(\alpha, U, AK)} = \sum_{\alpha, U, AK}^{36,9,6} H(\alpha, U, AK) C_0(\alpha, U, AK) \frac{\dot{V}_0(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmosph}(\alpha, U, AK)}$$

## Unzulässige Umformungen von Emissionsdaten - 1

Es gilt

$$\overline{C_0(\alpha, U, AK) D(\alpha, U, AK)} \neq \overline{C_0(\alpha, U, AK)} \overline{D(\alpha, U, AK)}$$

Beispiel für die Mittelung über drei Wertepaare:

$$\begin{aligned} \overline{(4 \cdot 3) + (2 \cdot 1) + (7 \cdot 5)} &\neq \overline{4 + 2 + 7} \cdot \overline{3 + 1 + 5} \\ \overline{12 + 2 + 35} &\neq \frac{13}{3} \cdot 3 \\ \frac{49}{3} &\neq 13 \\ 16,3 &\neq 13 \quad \text{q.e.d.} \end{aligned}$$

## Unzulässige Umformungen von Emissionsdaten - 2

Es gilt

$$\overline{C_0(\alpha, U, AK) D(\alpha, U, AK)} \neq \overline{C_0(\alpha, U, AK)} \overline{D(\alpha, U, AK)}$$

Dennoch wird von einer falschen Umformung Gebrauch gemacht

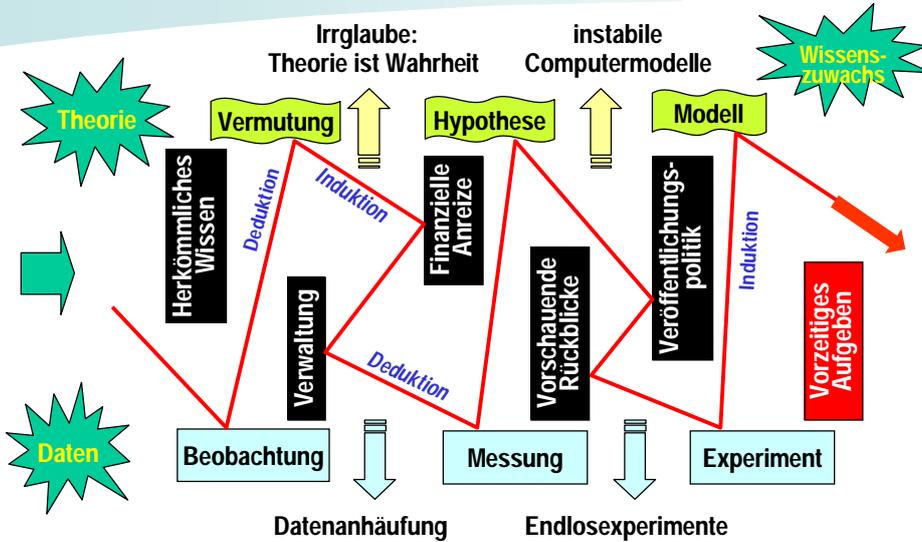
$$\sum_{\alpha, U, AK}^{36,9,6} H(\alpha, U, AK) C_0(\alpha, U, AK) \frac{\dot{V}_0(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmosph}(\alpha, U, AK)} =$$

$$\dot{M}_0 \sum_{\alpha, U, AK}^{36,9,6} \frac{H(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmosph}(\alpha, U, AK)} =$$

$$e_f \sum_{\alpha, U, AK}^{36,9,6} \frac{H(\alpha, U, AK)}{\dot{V}_{atmosph}(\alpha, U, AK)}$$

Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Über den gewundenen Pfad der Forschung nach Daniel Hillel



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Ansatz zur ganzheitlichen Betrachtungsweise

### Dimensionsanalyse

Volumenstrom  $\dot{V}$ ,  
Stallvolumen  $V$ ,  
Konzentration am Auslass  $C_0$ ,  
Konzentration am Boden  $C_B$ ,  
Tiermasse  $M_T$ ,  
Aufladezeit der Stallluft für luftfremde Stoffe:  $K^{-1}$

$$\frac{C_0 V}{M_T} = u_f e^{-A-B\frac{N}{K}} \text{ mit } \frac{N}{K} = \frac{C_B}{C_0} - 1 = X$$

## DEMAP

### Data based emission model of animal production

### Vorschlag für eine charakteristische Stallfunktion $e_{\text{spez}}$

$$e_{NH_3} = N e_{\text{spez}}$$

$$N = \dot{V}_0 / V \text{ and } e_{\text{spez}} = u_f e^{A+B\frac{C_B}{C_0}}$$

$$u_f = 5.0 \cdot 10^8 \frac{mg}{GV} \quad (\text{Umrechnung der Einheiten})$$

$e_{NH_3}$ : Emissionsmassenstrom

$N$ : Volumenstromrate

$A$  and  $B$ : Konstante

$C_B / C_0$ : Verhältnis der Konzentrationen am Boden und am Auslass

## Messen – Analysieren – Bewerten mit DEMAP

$$N = \frac{\dot{V}}{V} \quad K = \frac{\dot{k}}{V} \quad \frac{\dot{M}_0}{M_T} = \frac{C_0 \dot{V}_0}{M_T} = \dot{m}_0 = f_e$$

$$\frac{C_0 \dot{V}_0}{M_T} = N e^{-A-B \frac{N}{K}}$$

### DEMAP Datenbasiertes Emissionsmodell der Tierproduktion

|                     | Konstante A | Konstante B |
|---------------------|-------------|-------------|
| <b>Putenstall</b>   |             |             |
| Ammoniak            | 13,6533     | 0,1133      |
| Geruch              | 11,7474     | 0,0154      |
| <b>Rinderstall</b>  |             |             |
| Ammoniak            | 14,3096     | 0,1344      |
| Geruch              | 12,2386     | 0,0323      |
| <b>Schweinstall</b> |             |             |
| Ammoniak            | 14,0766     | 0,2251      |
| Geruch              | 10,4369     | 0,1466      |

Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

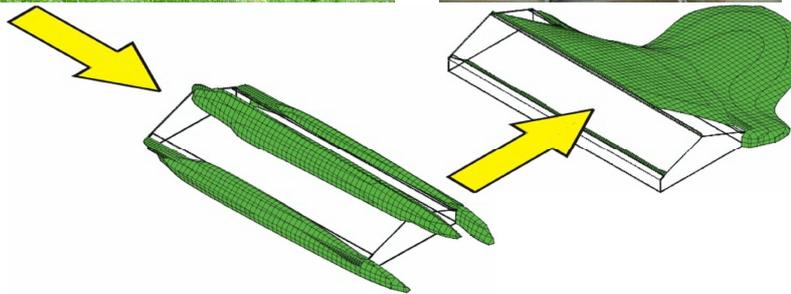
## Vortragsgliederung

1. Messen, Analysieren und Bewerten
2. Emissionen von freien Oberflächen
3. Zur Methodologie der Emissionsmessung
-  4. Beispiel eines sog. Atlantic-Stalles
5. Das Ende



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Offene Ställe: simulierte Ammoniakwolken in der Schweine- und Rinderhaltung



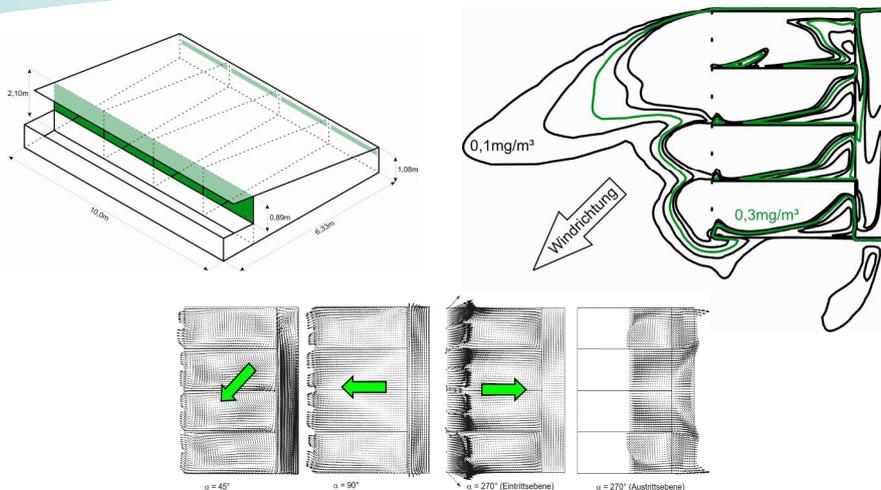
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Ableitung der Emissionen beim offenen Schweinestall niedriger Bauhöhe



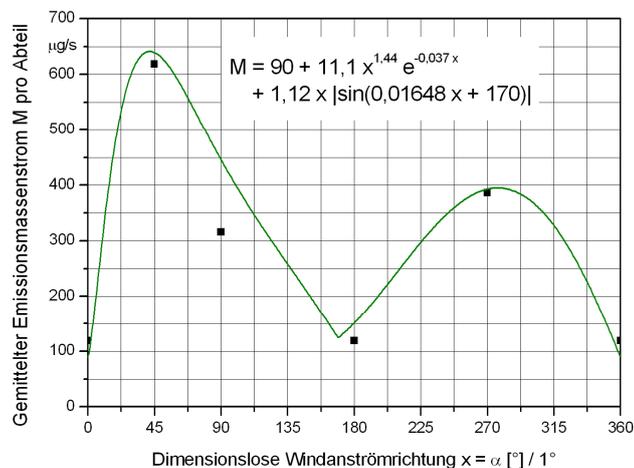
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Simulation unterschiedlicher Anströmbedingungen



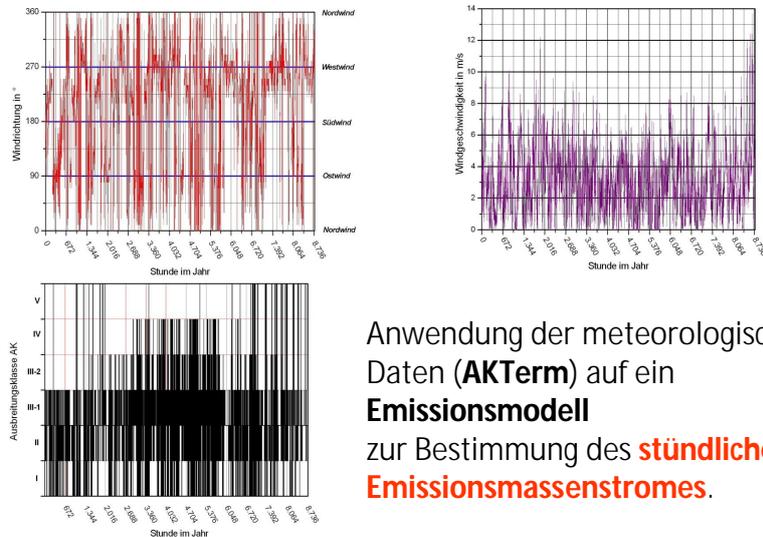
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Emissionsmassenstrom pro Abteil



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

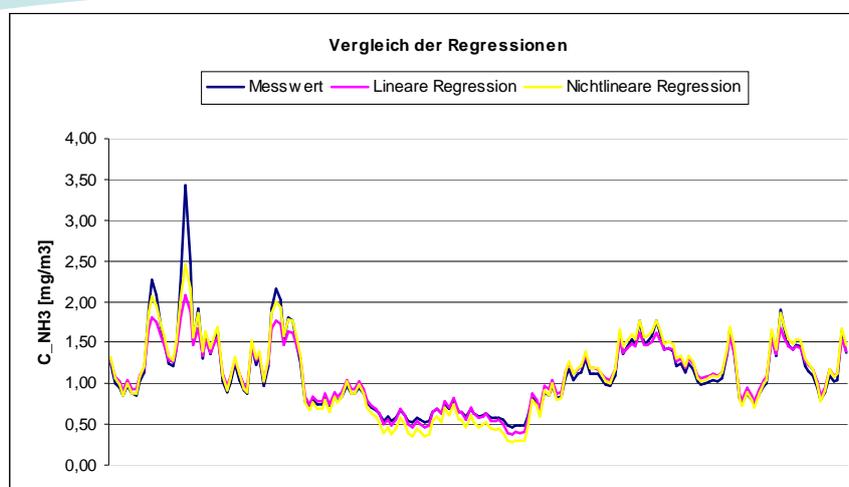
## Meteorologischer Einfluss (AKTerm) auf das Emissionsverhalten



Anwendung der meteorologischen Daten (AKTerm) auf ein Emissionsmodell zur Bestimmung des **stündlichen Emissionsmassenstromes**.

Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

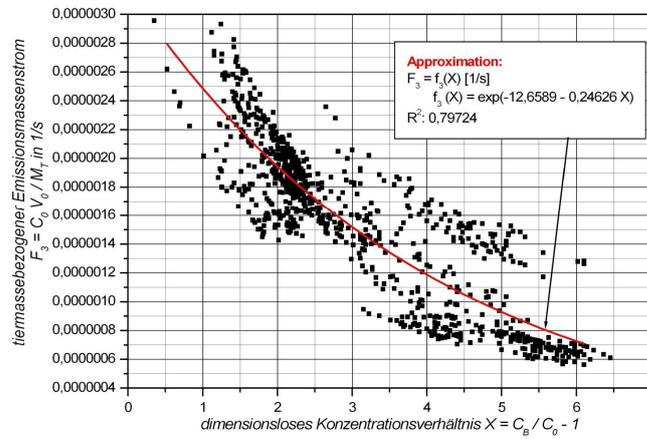
## Ammoniakzeitreihen



aus Rösler, Praktikumsbericht, siehe Begleittext zur Veranstaltung

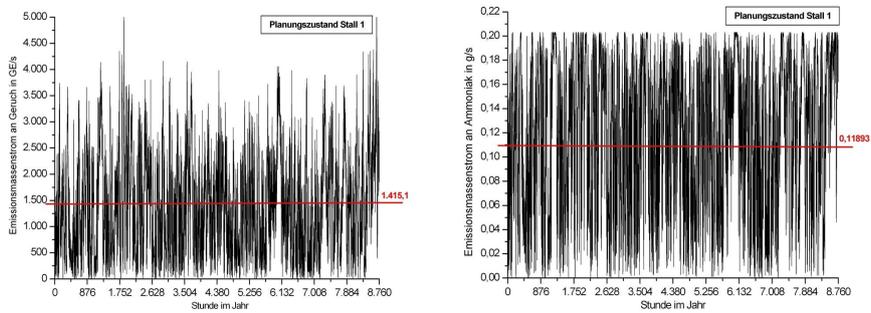
Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Tiermassebezogener Emissionsmassenstrom für Ammoniak in Abhängigkeit vom dimensionslosen Konzentrationsverhältnis X



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Emissionsmassenströme für Geruch und NH<sub>3</sub>



Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

## Vortragsgliederung

1. Messen, Analysieren und Bewerten
2. Emissionen von freien Oberflächen
3. Zur Methodologie der Emissionsmessung
4. Beispiel eines sog. Atlantic-Stalles
- ➔ 5. Das Ende



## Bocca della verita, Mund der Wahrheit, Rom.



Darstellung des italischen Gottes Faunus, der für die Einhaltung von Versprechungen zuständig war.

Legt man die Hand in den Mund, kann man den wahren Emissionsfaktor erfragen.

Man muss aber nicht bis nach Rom fahren, hier tut es auch eine Anfrage beim KTBL.

## Emissionsfaktoren nachgefragt

### Frage

Was muss man tun, wenn eine neue Stallkonzeption vorliegt?  
Welches Emissionsverhalten ist angesagt?

### Antwort

Man macht eine konservative Abschätzung, d.h. man orientiert sich an den Emissionsfaktoren, die bei der betreffenden Tierhaltung üblich sind.

Übersetzt: Man hat keine Ahnung. Man greift auf vorhandene Daten zurück. Man macht nichts falsch und trägt dafür noch nicht einmal Verantwortung.

## Unsere Sicht der Dinge

Hintergrund unserer Untersuchungen:

1. Erlangen von Emissionsdaten bei geschlossenen und offenen Stallanlagen durch Messungen und Simulationen.
2. Einbettung in das kausalanalytische Emissionsmodell DEMAP zur Bestimmung spezieller Emissionszustände.
3. Solange man auf der Emissionsseite bleibt (Kataster) kann man Daten mit beliebigen Statistiken produzieren. Man darf sie nur nicht für Ausbreitungszwecke verwenden.

„Um in die richtige Richtung zu gehen, kann man den Sachverhalt auch umdrehen. Es passt schon.“

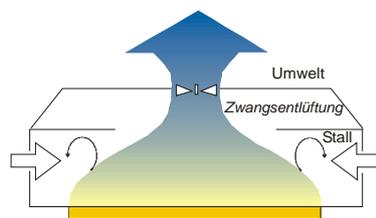


Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

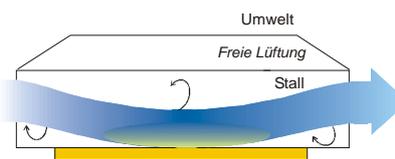
## Bestimmung von Emissionsfaktoren

**Emissionsfaktoren** lassen sich am ehesten noch für solche Quellen rechtfertigen, die nicht direkt äußeren Einflüssen ausgesetzt sind:

*Ställe mit Zwangslüftung*



**Emissionsfaktoren** direkt einsetzbar als Anfangswert bei einer Ausbreitungsrechnung



**Emissionsfaktoren** nur in Verbindung mit meteorologischen Parametern

Emissionen aus der Landwirtschaft – messen und bewerten – 22.09.2011 – Weser-Ems-Halle in Oldenburg

**Habe fertig.**

**Trappatoni**

