



## Ökoeffizienz des Maisanbaus – Maßstab nachhaltiger Intensivierung

**Friedhelm Taube**

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,  
Christian-Albrechts-Universität, Kiel

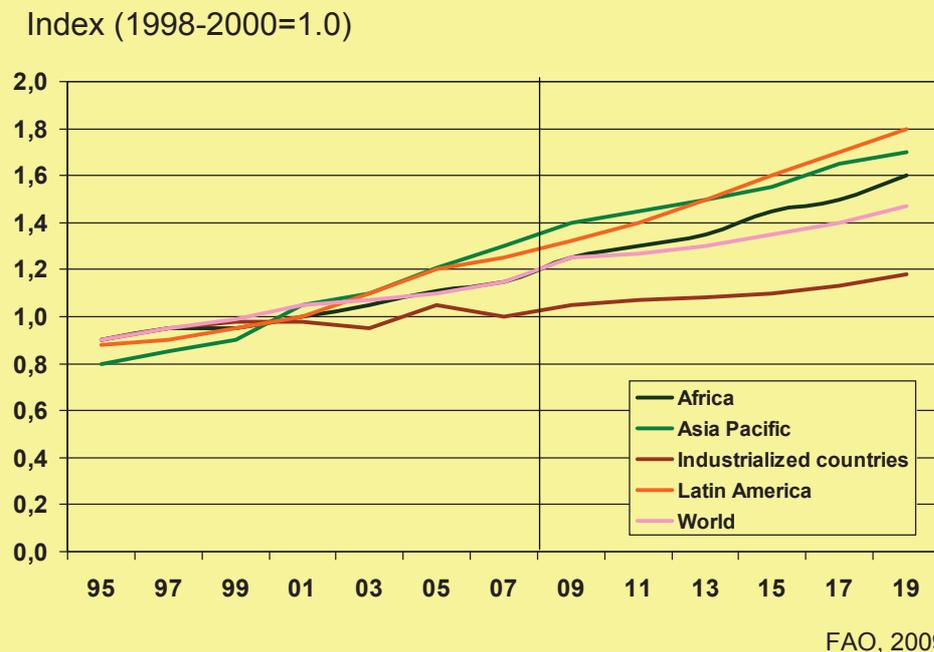
## Inhalt

- Warum "nachhaltige Intensivierung" – der globale Kontext
- Ökoeffizienz als Maßstab
- Lösungsansätze für verschiedene Landschaftsräume (Geest/Niedermoor)
- Fazit



## 1. Warum nachhaltige Intensivierung?

Long term trends in agricultural production, by region



Erwarteter zusätzlicher Bedarf an Nahrungs- und Futtermitteln: + 70% bis 2050 (FAO)

## Wandel Leitbild Landwirtschaft

- **Produktionsfunktion (Spätsteinzeit – 1980er Jahre)**

Landwirtschaftliche Bodenutzung zur Erfüllung der Produktionsfunktion (Nahrungs-, Futtermittel, Rohstoffe, Energie)

- **„Ökologisierung der Landwirtschaft“ (~ 1980 bis ~ 2005)**

Extensivierungsmaßnahmen, Aufforstungen, „20% Ökologischer Landbau“  
 Flächenstillegungen..., erste „Gülleverordnungen“; DVO 1996  
 Transferzahlungen an Landwirtschaft (CC) für Umweltverträglichkeit

- **„Nachhaltige Intensivierung“ (Royal Soc. London, 2009)**

Multifunktionalität der Landnutzung nach Effizienzkriterien

(Produktions-, Biodiversitäts-, Wasserschutz-, Klimaschutz-Funktion so gestalten, dass jeweils hohe Effizienz gegeben ist > Ökoeffizienz)

Übergeordnetes Ziel: Steigerung weltweite Nahrungsmittelproduktion + Reduktion Emissionen

**Maßstab: Reduktion Emissionen je Produkteinheit > Ökoeffizienz**

## Wie nachhaltige Intensivierung bewerten?

C | A | U

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



## Welche öffentlichen Umweltgüter sind zu berücksichtigen? (EU-Umweltpolitik; WTO)

- **Wasserschutz** (EU-WRRL; Nitratrichtlinie; Indikator: N-Salden)
- **Klimaschutz** (EU-Reduktionsziele) ... implizit Bodenschutz (Humusabbau, Erosion; Indikator: N-Salden > reaktive N-Verbindungen; THG-Emissionen)
- **Biodiversität** (Biodiversitätskonvention, Nachhaltigkeitsstrategie D...; Indikator: z.B. HNV Flächen)
- **Landschaftsbild,....**

## Wie nachhaltige Intensivierung bewerten?

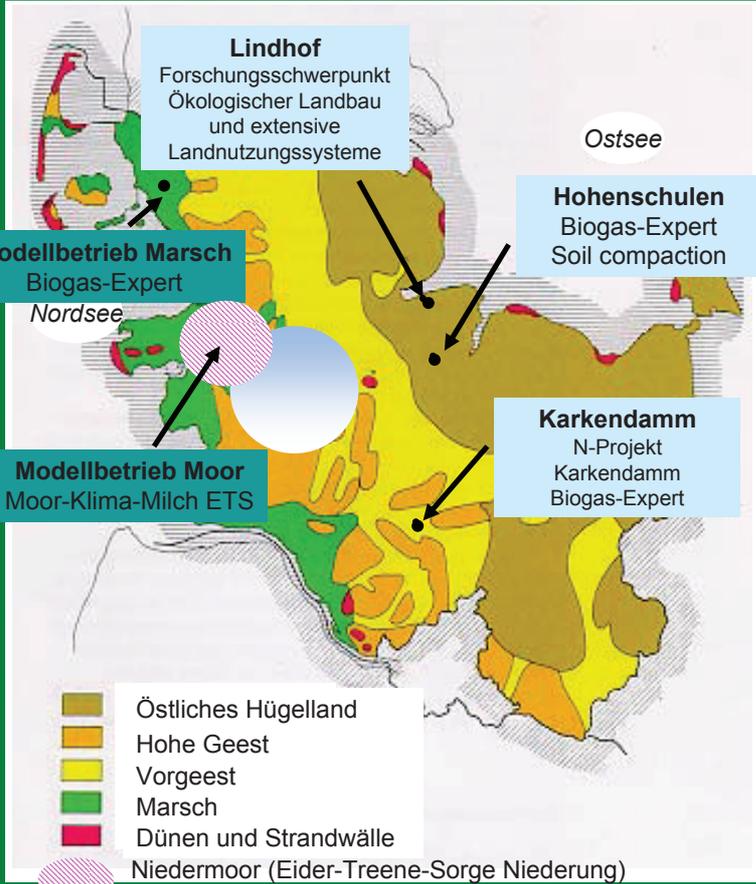
C | A | U

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



## Beispiele zur Landschaftsraum bezogenen Ökoeffizienz von Futterproduktionssystemen:

- Mais/Grünland auf sandigen Böden der Geest
- Alternativen zu Maismonokultur auf Sandböden:  
Futterbaufruchtfolgen
- Leguminosen - Mais Systeme?
- Mais/Grünland auf Niedermoor



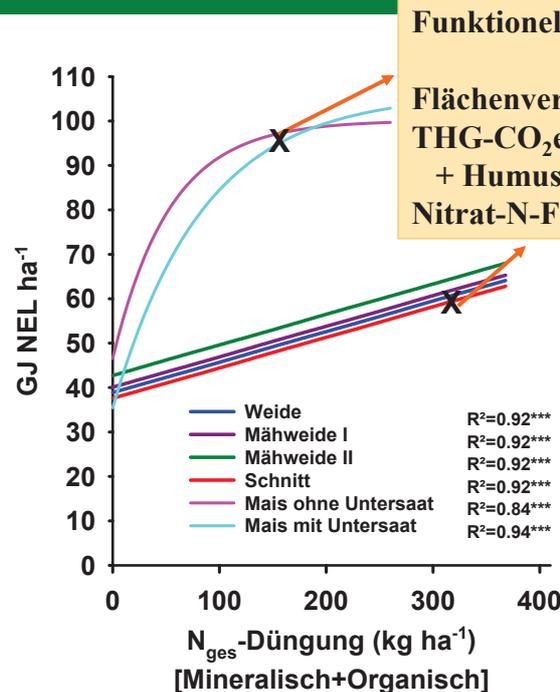
### Versuchsstandorte der CAU Kiel

Interdisziplinäre Projekte mit den Instituten:  
Landwirtschaftl. Verfahrenstechnik  
Abt. Acker- und Pflanzenbau,  
Pflanzenernährung und Bodenkunde,  
Agrarökonomie

Förderung u.a.:  
Kompetenzzentrum Biomasse,  
DFG, EU



### Ökoeffizienz I: Gras versus Mais Geest (Karkendamm): Flächenverbrauch + CO<sub>2</sub> eq/GJ NEL + Nitrat-N-Fracht/GJ NEL



Funktionelle Einheit: je GJ NEL

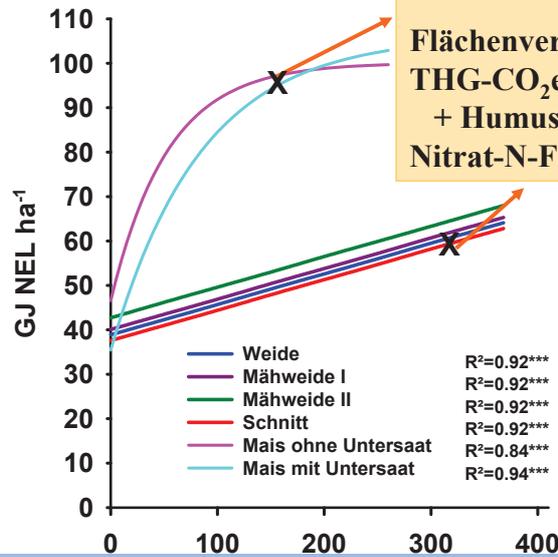
	Mais	Gras
Flächenverbrauch (m <sup>2</sup> )	95	152
THG-CO <sub>2</sub> eq (kg)	12	34
+ Humuswirkung CC	17	24
Nitrat-N-Fracht (g)	285*	45

\* Unterhalb Trinkwassergrenzwert,  
Allerdings landwirtschaftl. Praxis:  
➢ 70% der Maisbestände zu hohe  
N-Versorgung

Marginal yield  
grassland: 0.08 GJ  
NEL/kg Nges

- Quellen:  
Trott et al., 2004  
Büchter et al., 2003  
Volkers et al. 2005  
Senbayram et al. 2010  
Svoboda, 2011

# Ökoeffizienz I: Gras versus Mais Geest (Karkendamm): Flächenverbrauch + CO<sub>2</sub> eq/GJ NEL + Nitrat-N-Fracht/GJ NEL



Funktionelle Einheit: je GJ NEL

	Mais	Gras
Flächenverbrauch (m <sup>2</sup> )	95	152
THG-CO <sub>2</sub> eq (kg)	12	34
+ Humuswirkung CC	17	24
Nitrat-N-Fracht (g)	285*	45

\* Unterhalb Trinkwassergrenzwert, Allerdings landwirtschaftl. Praxis: >70% der Maisbestände zu hohe N-Versorgung

Marginal yield grassland: 0.08 GJ NEL/kg Nges

Quellen:

## Fazit:

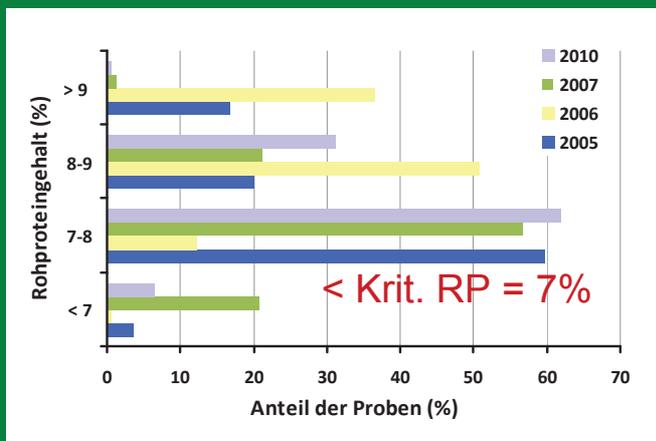
Je nach Primärziel ist entweder Mais (Klimaschutz; Flächenverbrauch) oder Gras (Wasserschutz) in der Ökoeffizienz überlegen.

Notwendigkeit der Hierarchisierung von Schutzzielen.

Gunststandort Mais/Milch-Produktion > sig. Reduktion Mais > ILUC

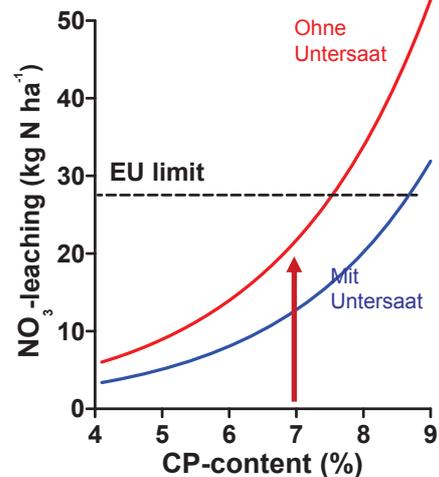
# Ökoeffizienz I: Gras versus Mais Geest

## Aber: Defizite der Umsetzung in der Praxis des Maisanbaus S-H (N-Düngung)



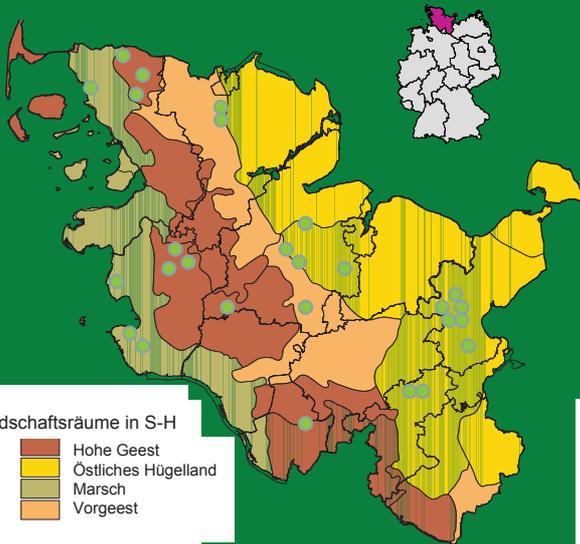
„Kritischer Rohproteingehalt“ in Maissilagen als ex-post Indikator der gP der Düngung (max. 7% RP) (Herrmann und Taube, 2005):

Mehr als 70% der Maissilagen S-H zeigen Überversorgung mit Stickstoff an (Techow, 2011)



Enge Beziehung „Kritischer RP“-Gehalt und Nitrat auswaschung (Herrmann et. al., 2008)

## Einfluss der Landnutzung auf Gehalt und Menge organisch gebundenen Kohlenstoffs in Böden unterschiedlicher Naturräume Schleswig-Holsteins (Tode et al., 2011)



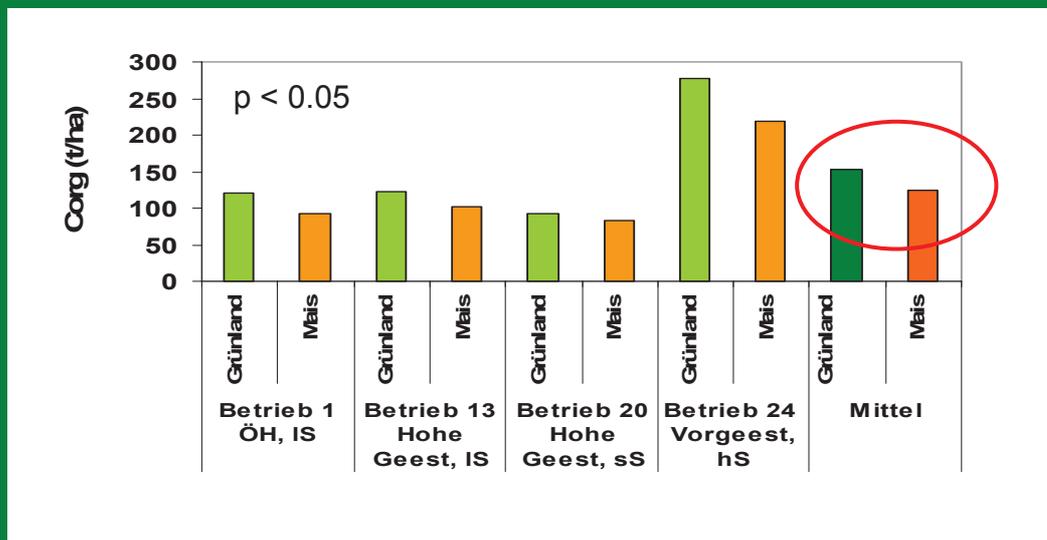
Landschaftsräume in S-H

- Hohe Geest
- Östliches Hügelland
- Marsch
- Vorgeest

- Monitoring auf 27 Betrieben in den vier Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins (85 Flächen)
- Dauergrünland, Maismonokultur, Mais in Fruchtfolge, Ackerkulturen
- Entnahme Bodenproben auf 60 cm
- Analyse Corg- und N-Gehalte, Ermittlung Lagerungsdichte
- Statistische Auswertung: t-test für verbundene Stichproben

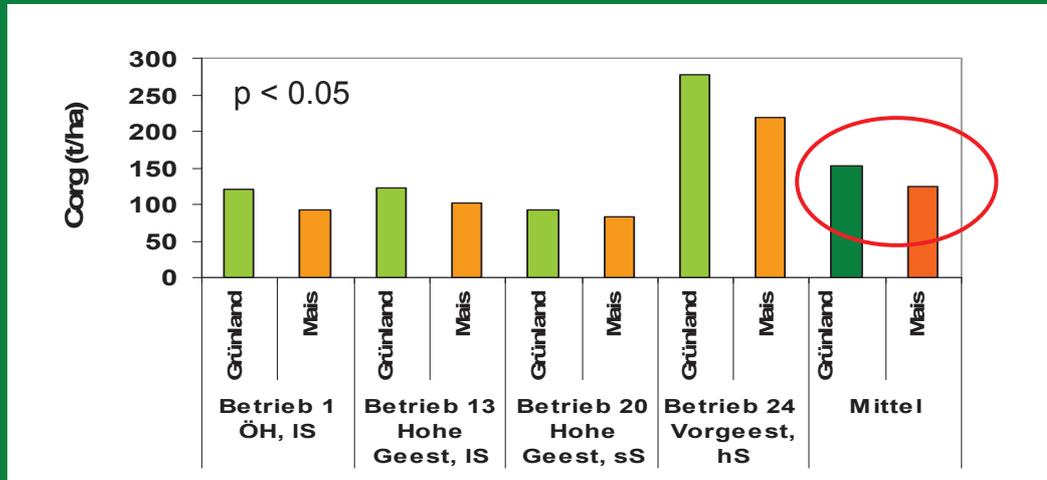
## Effekte der Landnutzung auf Corg-Mengen (t ha<sup>-1</sup>) in Ober- und Unterboden (0-60 cm)

Dauergrünland (> 40 Jahre) versus langjährige Maismonokultur (> 20 Jahre)



# Einfluss langjährigen Maisanbaus auf die Corg-Mengen des Bodens

**Effekte der Landnutzung auf Corg-Mengen ( $t\ ha^{-1}$ ) in Ober- und Unterboden (0-60 cm) Dauergrünland (> 40 Jahre) versus langjährige Maismonokultur (> 20 Jahre)**



## Fazit:

- Auf nicht Grundwasser beeinflussten Mineralböden (Geest) rel. geringe (10 - 20%) Unterschiede in der Boden-C-Speicherung unter Dauergrünland und Acker
- keine Unterschiede unter Acker zwischen Mono-Mais und anderen Ackerkulturen
- Humusgehalte in keinem Fall unter CC-Grenzwert

# Alternative: Fruchtfolge?

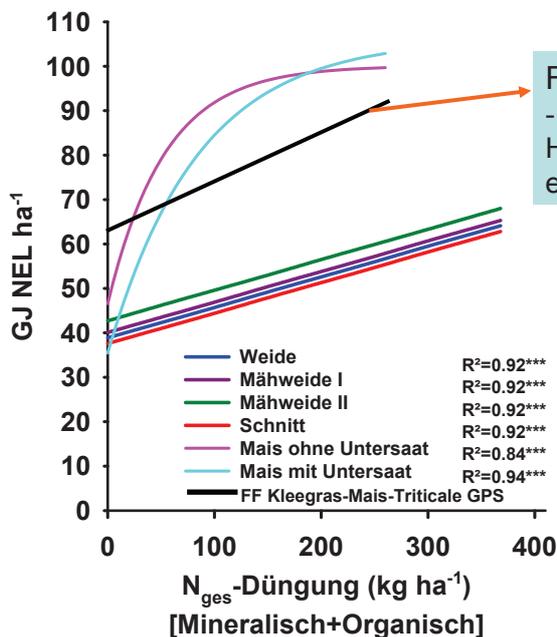


**Fruchtfolgeexperiment N-Projekt Karkendamm (2000 – 2002):**

**Weißklee gras – Mais – Triticale-GPS**

**Warum heute relevant? Kulturartendiversität; N-Verwertungseffizienz**

Daten: N-Projekt Karkendamm



Fruchtfolge:  
-17% Ertrag zu Mais-Mono  
Hohe Erträge mit geringer  
externer N-Zufuhr

Quellen:  
Trott et al., 2004  
Büchter et al., 2003  
Volkers et al. 2005  
Ingwersen, 2001

Abb. 2: Leistungen Mais in Fruchtfolge nach Klee-gras im Vergleich zu Monokultur

## Energie-Ertrag

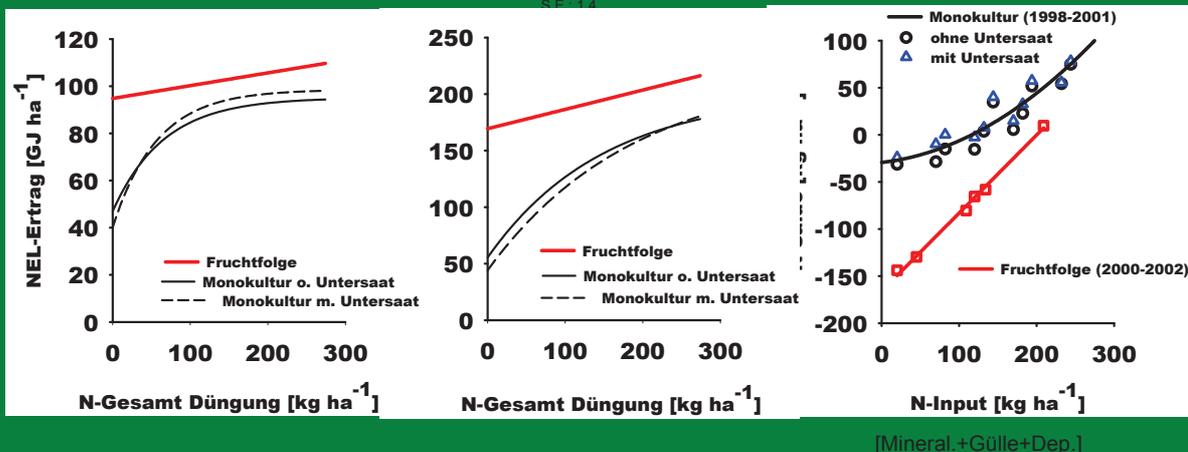
~ 15% höhere Erträge durch Maisanbau in FF!

## N-Ertrag

N-Nachlieferung aus Vorfrucht > 100 kg N/ha!

## N-Saldo

Reduktion des N-Saldos!



N-Input: Gülle-N  
Minerald.-N  
Deposition  
N-Output: N-Ertrag  
N-Saldo: N-Input - N-Output

Volkers, 2004

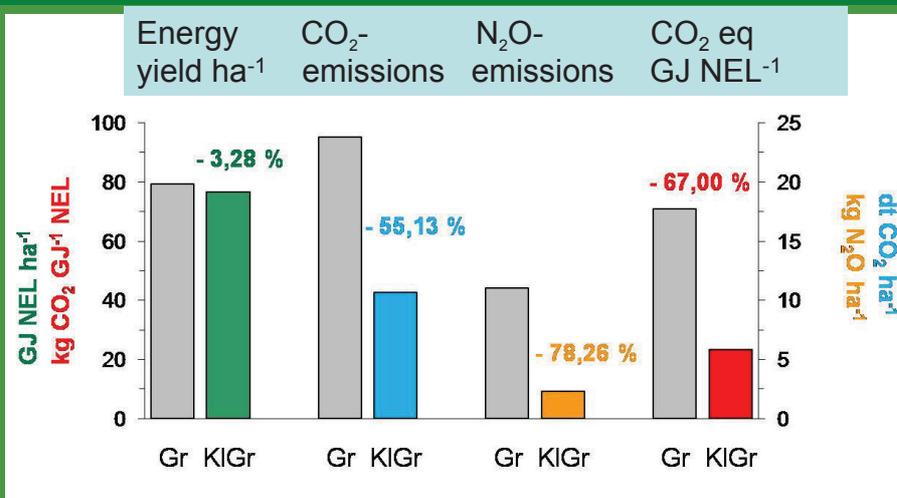
# Zwischenfazit Fruchtfolge:

- Rel. geringe Ertragseinbußen zu Mais-Mono (langfristig?)
- Keine Verschärfung Problem Pathogene Mais (Fusarien; DON)
- Rotklee-/Luzernegrass statt Weißklee gras  
(Ökologische Vorrangflächen...?)
  - + hohe N-Fixierung (> 200 kg N/ha)
  - + hohe N-Nachlieferung für Mais
  - + Klee gras überwintert 2x > N-Auswaschung < 5kg/ha
  - + Ertragssicherheit in Trockenperioden
  - + im Vergleich zu Gras erhöhte nXP-Anteile; erhöhte Futteraufnahme
- „Pufferpflanze“ GPS Triticale > Gülleverwertung
- N-Verwertungseffizienz in FF im Vgl. zu Grünland/ Mais-Mono deutlich erhöht (kalkulierte externe N-Zufuhr für max. Ertrag: ~ 50 kg N/ha)
- Fazit: Grünlanderhaltung auf Geeststandorten nicht sinnvoll > historisch Ackerstandorte > rel. geringes C-Speicherpotential
- ... Ökoeffizienz Leguminosen-Gras Systeme?

## Ökoeffizienz (THG Emissionen) von Gras- und Leguminosen-Gras-Systemen

### Product carbon footprint (PCF)

Grass swards fertilized (Gr) versus non-fertilized alfalfa/clover-grass (KIGr) + soil compaction (Hohenschulen (2006 – 2008))



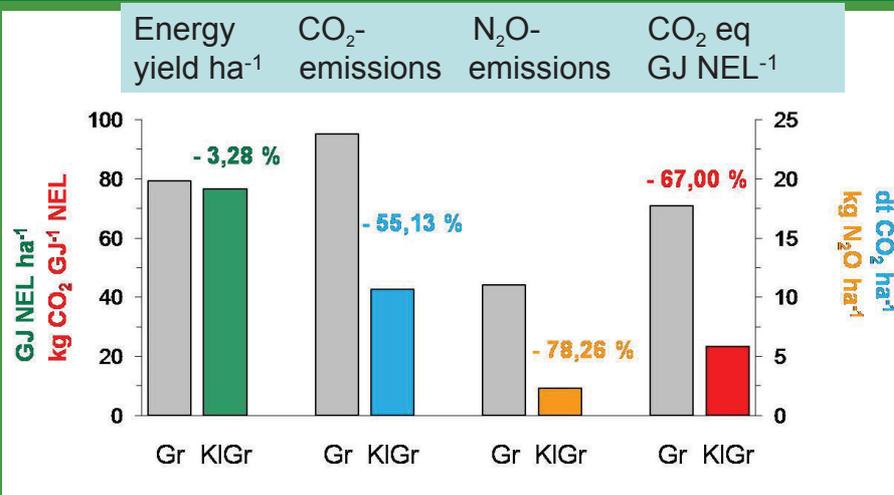
Potential für US amerikanische Futterbausysteme: Mais – Luzerne!  
 + NUE  
 + WUE  
 + PCF  
 + Wärmenutzung  
 Biogasanlage > Luzernetrocknung

Site Management  
 Gr  
 KIGr  
 Experimental farm Hohenschulen (sandy loam )  
 3 cuts per year  
 Grass sward, 360 kg N ha<sup>-1</sup> mineral fertilizer (KaS)  
 alfalfa/clover-grass sward, no mineral N fertilizer

Schmeer et al., 2012, submitted

## Ökoeffizienz (THG Emissionen) von Gras- und Leguminosen-Gras-Systemen

Product carbon footprint (PCF)  
Grass swards fertilized (Gr) versus non-fertilized alfalfa/clover-  
grass (KIGr) + soil compaction (Hohenschulen (2006 – 2008))



Fazit: Großes Potential von Futterleguminosen zur Vermeidung von THG - Emissionen!

Potential für US  
amerikanische  
Futterbausysteme:  
Mais – Luzerne!  
+ NUE  
+ WUE  
+ PCF  
+ Wärmenutzung  
Biogasanlage >  
Luzernetrocknung

Schmeer et al., 2012,  
submitted

## Zwischenfazit Mineralböden

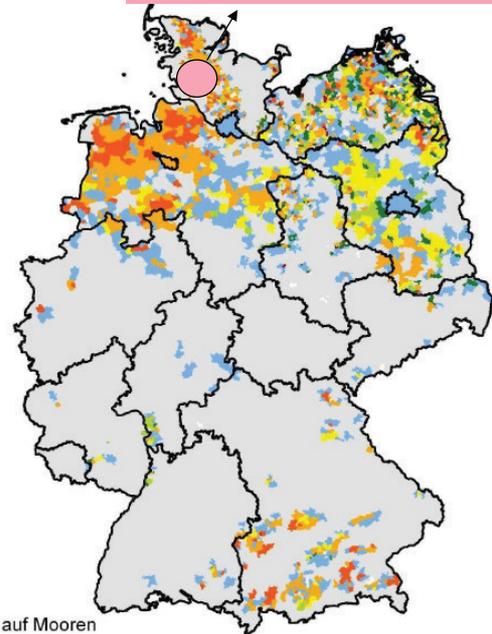
- Dauergrünlanderhaltung auf Grundwasser fernen Standorten im norddeutschen Tiefland nicht ökoeffizient
- Futterbaufruchtfolgen mit Mais/ Futterleguminosen: Potential höchster Ökoeffizienz
- Mais weist auch im Bereich Bioenergie die höchste Ökoeffizienz auf
- ... Situation Niedermoorstandorte?

## Landwirtschaft auf Moorflächen

(Intensität Futterbau: Milchquote / ha Hauptfutterfläche)

- ca. 8% der LF
  - 5% der Ackerfläche
  - 14% der Grünlandfläche
- $\geq 75\%$  futterbauliche Nutzung
- 11% der Rinderhaltung (2007)
- 11% der Milchproduktion (2005)

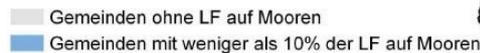
Projekt Moor-Klima-Milch



Milchquote to pro ha HFF (2005)

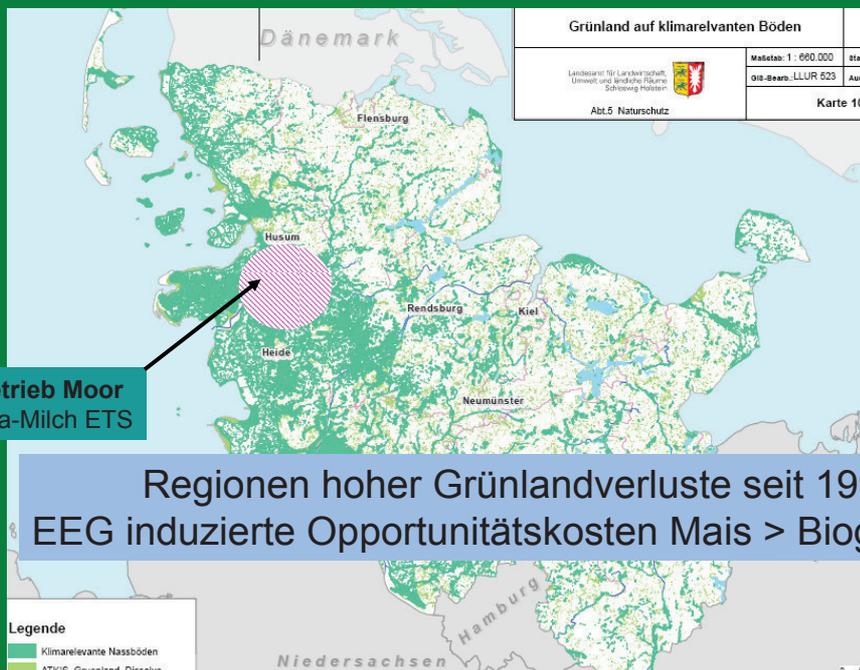


Gebietskulisse



Osterburg, 2011

## Klimarelevantes Grünland S-H



Modellbetrieb Moor  
Moor-Klima-Milch ETS

Regionen hoher Grünlandverluste seit 1990  
EEG induzierte Opportunitätskosten Mais > Biogas hoch

Legende  
 Klimarelevante Nassböden  
 ATKIS\_Gruenland\_Dissolve

# Bedeutung Moorgrünland - Wiesenvogelschutz

## Wiesenvogel ETS



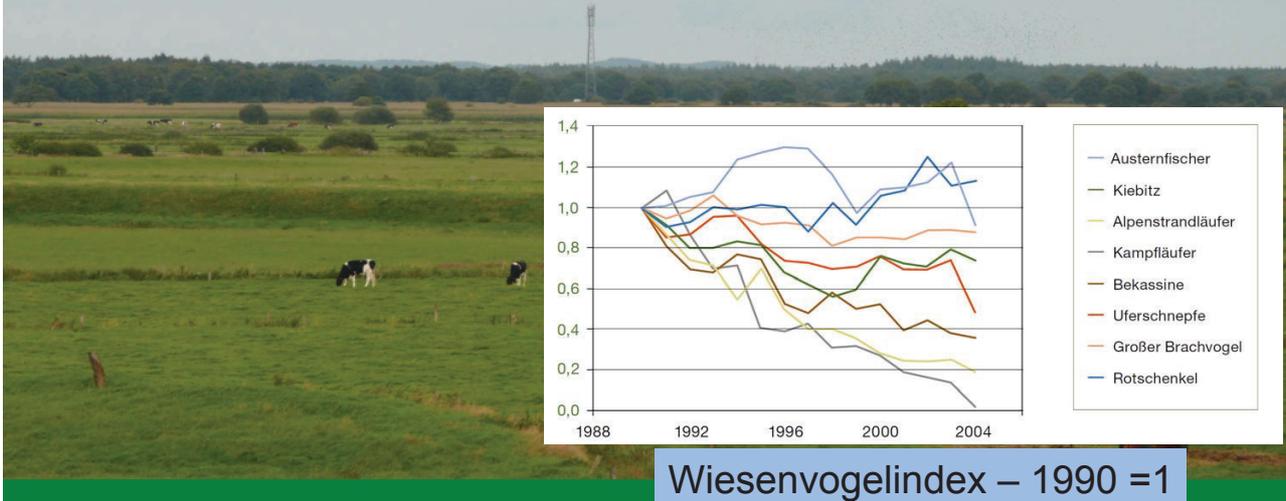
Rotschenkel



Kiebitz



Uferschnepfe

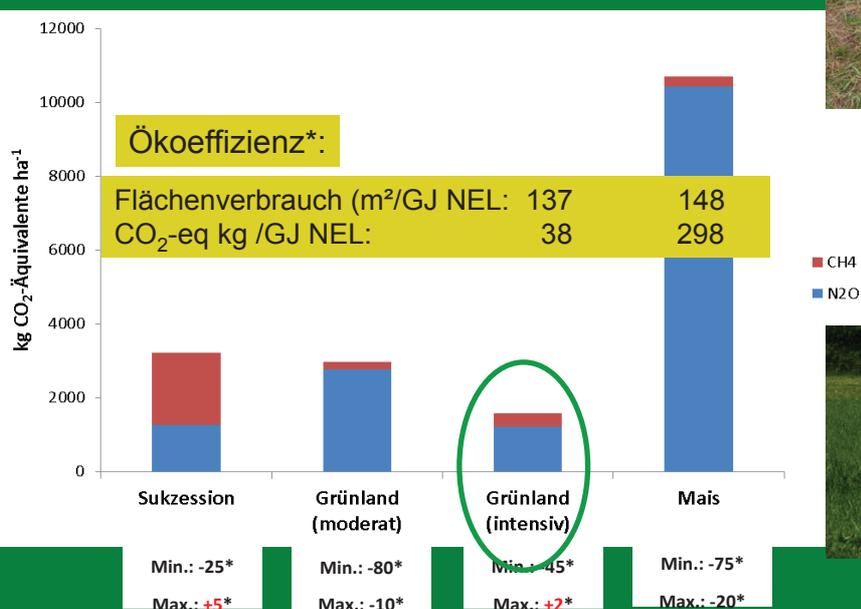


Wiesenvogelindex – 1990 = 1

# Ökoeffizienz II: Gras versus Mais - Moor

Vorläufige Daten (1.4. – 30.11.2011)

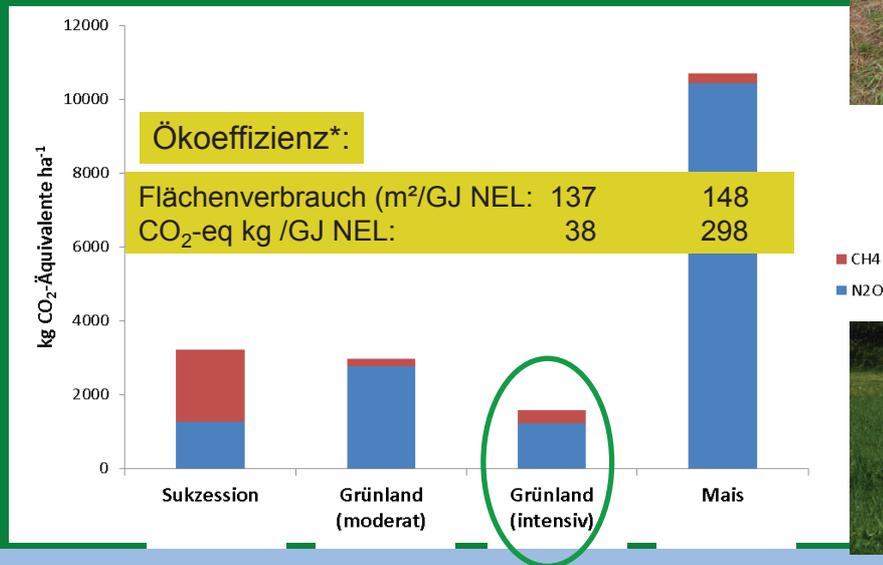
\* vorläufige Kalkulation ohne CO<sub>2</sub> hochgerechnet auf 365 Tage



Kumulierte N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen für den Untersuchungszeitraum (01.04.2011 – 25.11.2011) dargestellt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. \*Minimale und maximale Grundwasserstände unter (-) bzw. über (+) Flur während des Untersuchungszeitraums.

## Ökoeffizienz II: Gras versus Mais - Moor

Vorläufige Daten (1.4. – 30.11.2011)  
\* vorläufige Kalkulation ohne CO<sub>2</sub> hochgerechnet auf 365 Tage



### Fazit:

Ackernutzung auf Niederungsstandorten verursacht um den Faktor ~ 20 erhöhte THG-Emissionen/GJ NEL im Vergleich zur Geest (Mais)!

Win-win-win Situation: Milch aus Gras, Biodiversität, Klimaschutz

Hohe Opportunitätskosten Ackerfläche (EEG) verhindern großflächige Umsetzung

## Zwischenfazit Niedermoor

- Dauergrünlanderhaltung ebenso evident wie Umwandlung Acker in Grünland - ökoeffizient
- Landwirtschaftliche Grünlandnutzung mit hohen Grundwasserständen notwendig zur Sicherung der Biodiversitätsfunktion
- Mais (oder andere Ackerfrüchte) zur Biogasproduktion auf Niedermoor sichert keine CO<sub>2</sub>-Vermeidung, sondern emittiert zusätzliche CO<sub>2äq</sub> in der Größenordnung von 2-5 t/ha/Jahr

## Fazit:



- Nachhaltige Intensivierung der Futterproduktion zur Milch-/ Biogaserzeugung mit dem Ziel höchster Ökoeffizienz erfordert ...
- Gebietskulissen bezogene Optimierungsmodelle
- Geo-referenzierte Differenzierung in „absolute“ und „fakultative“ Grünlandstandorte
- Politische Instrumente zur Zielerreichung (nicht AUM 2. Säule)  
Gebietskulissenansätze: Aufhebung Grünlandumbruchverbot > fakultatives Grünland; Umwandlung Acker in Grünland > absolutes Grünland; Anreize Anbau Futterleguminosen. Generell: Adjustierung DVO; Reduktion N-/ P-Salden
- ... all diese Maßnahmen tragen zur Sicherung der objektiven Überlegenheit der Kulturpflanze Mais in der Ökoeffizienz bei

# Vielen Dank

Weitere Informationen: [ftaube@email.uni-kiel.de](mailto:ftaube@email.uni-kiel.de)  
bzw. [www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de](http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de)

