



Energie- und Treibhausgasbilanzen verschiedener Bioenergieformen

Workshop „Bioenergie“
VDLUFA-Kongress, Jena, 2008

Dr. Jürgen Küsters und Dr. Frank Brentrup
Institut für Pflanzenernährung und Umweltforschung, Hanninghof
Yara GmbH & Co.KG
Dülmen



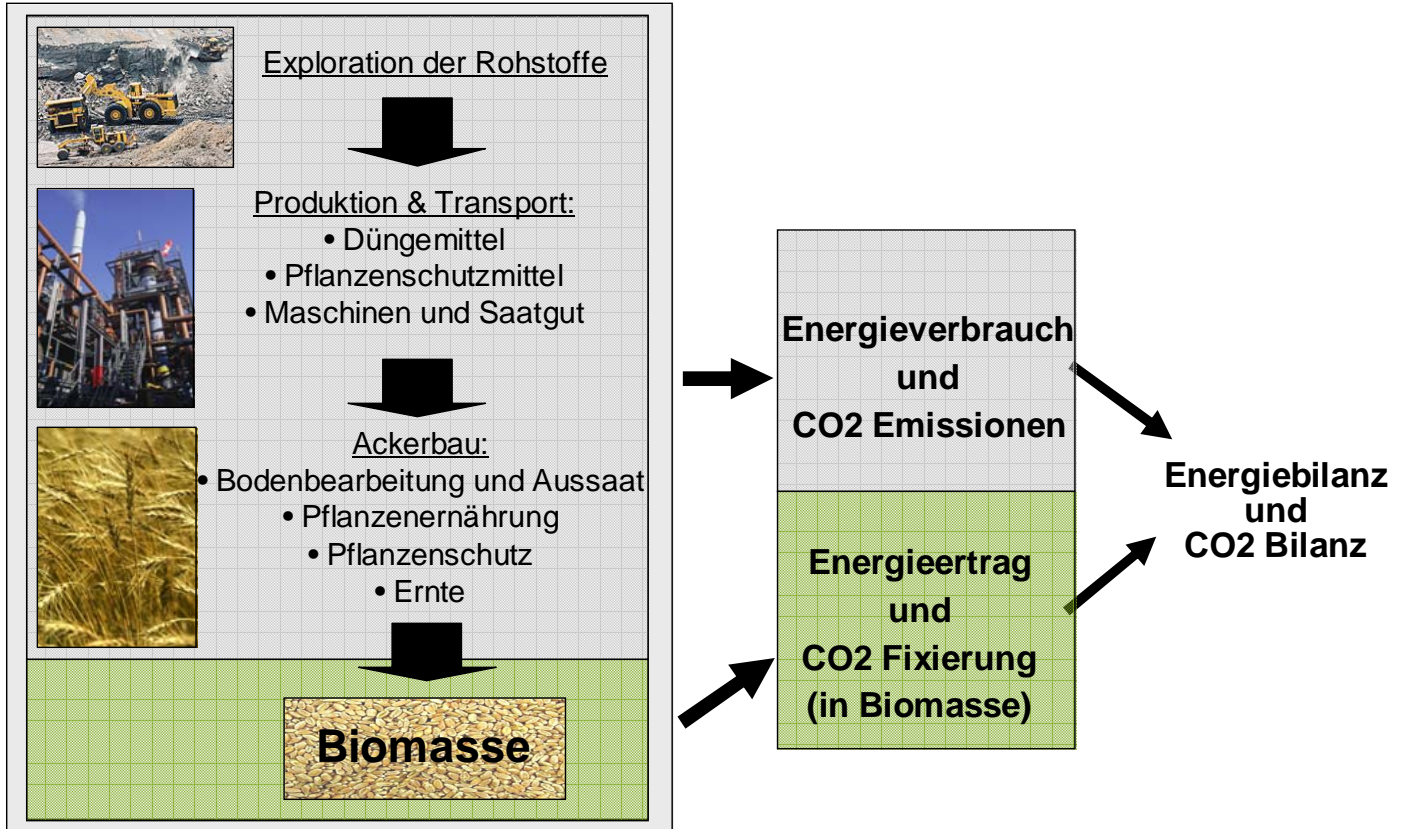
Gliederung

- Methodik der Bilanzierung.
- Energie- und CO₂-Bilanz des Ackerbaus.
- Energie- und CO₂-Bilanz verschiedener Bioenergieformen.



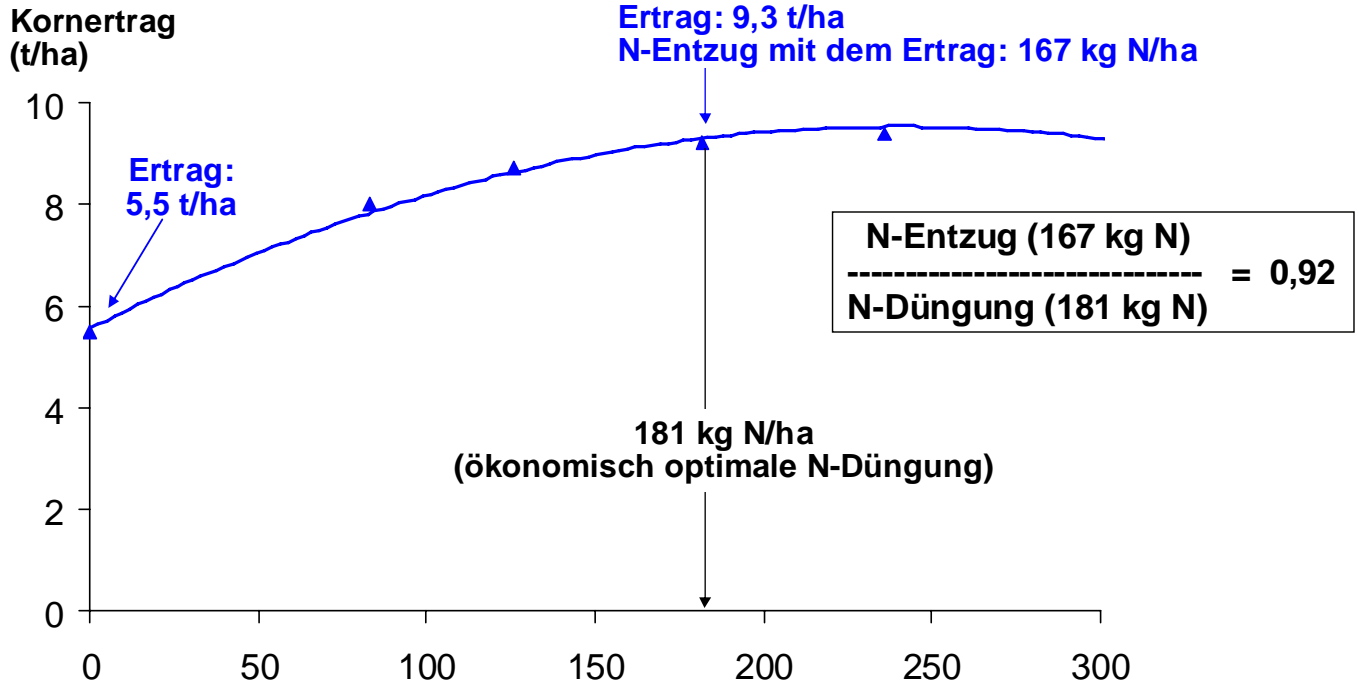
Energie- und CO2-Bilanz im Ackerbau

- Lebenszyklusanalyse (LCA): Systemdefinition und Systemgrenzen



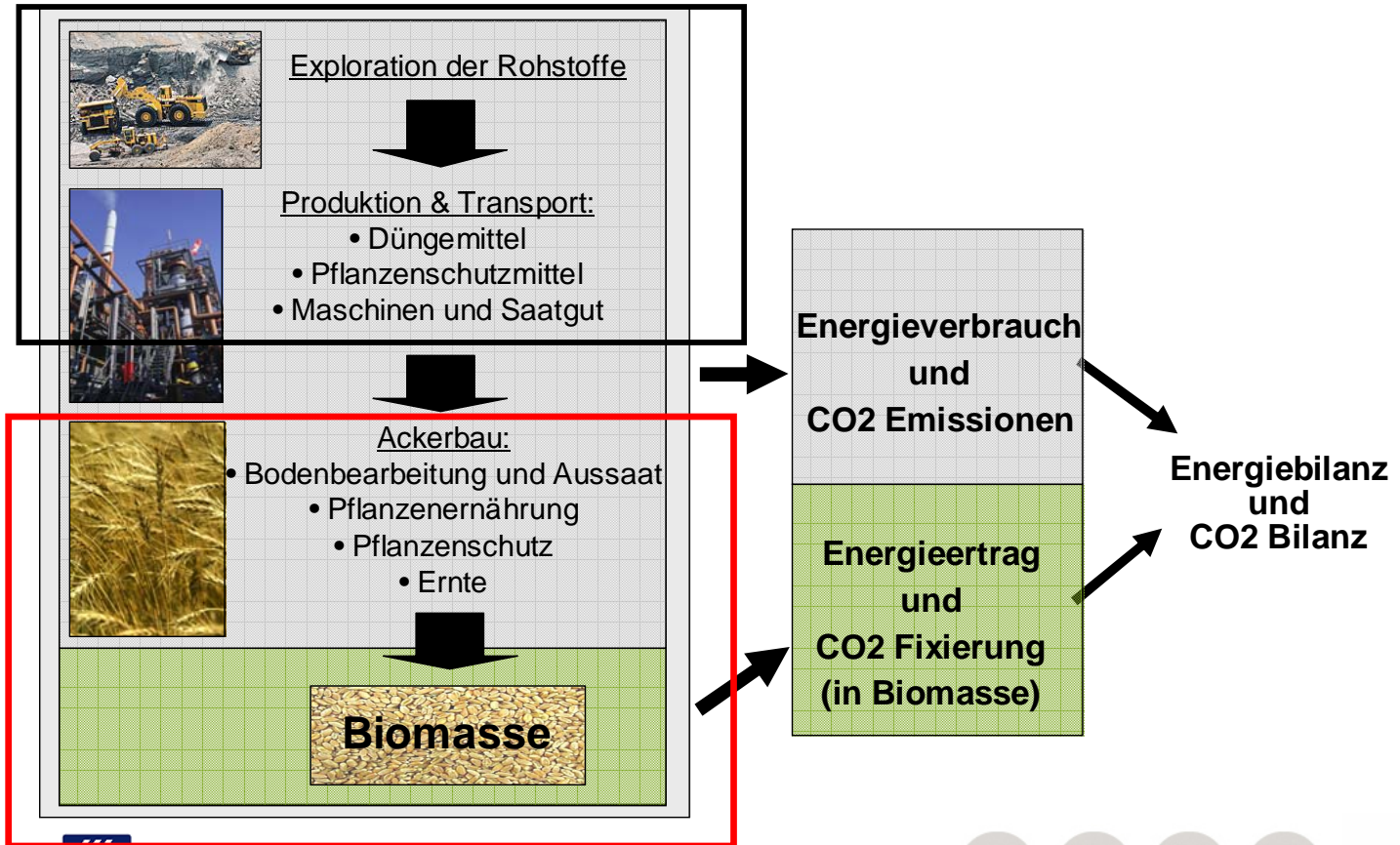
Ableitung von ökonomisch optimalem Kornertrag und N-Entzug von Weizen aus Feldversuchen

- Durchschnitt aus 139 einjährigen Feldversuchen, Yara 1996 - 2007



Energie- und CO2-Bilanz im Ackerbau

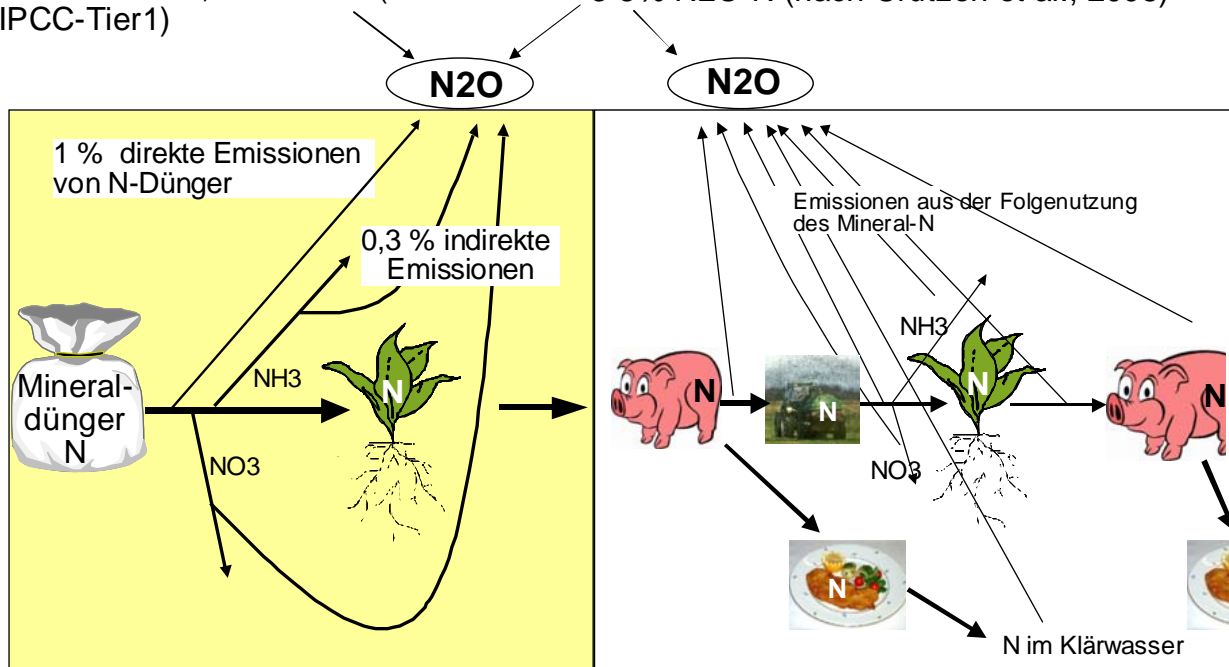
- Lebenszyklusanalyse (LCA): Systemdefinition und Systemgrenzen



N₂O Emissionen ausgehend von der wiederholten Nutzung des Stickstoffs in landwirtschaftlichen Produktionssystemen

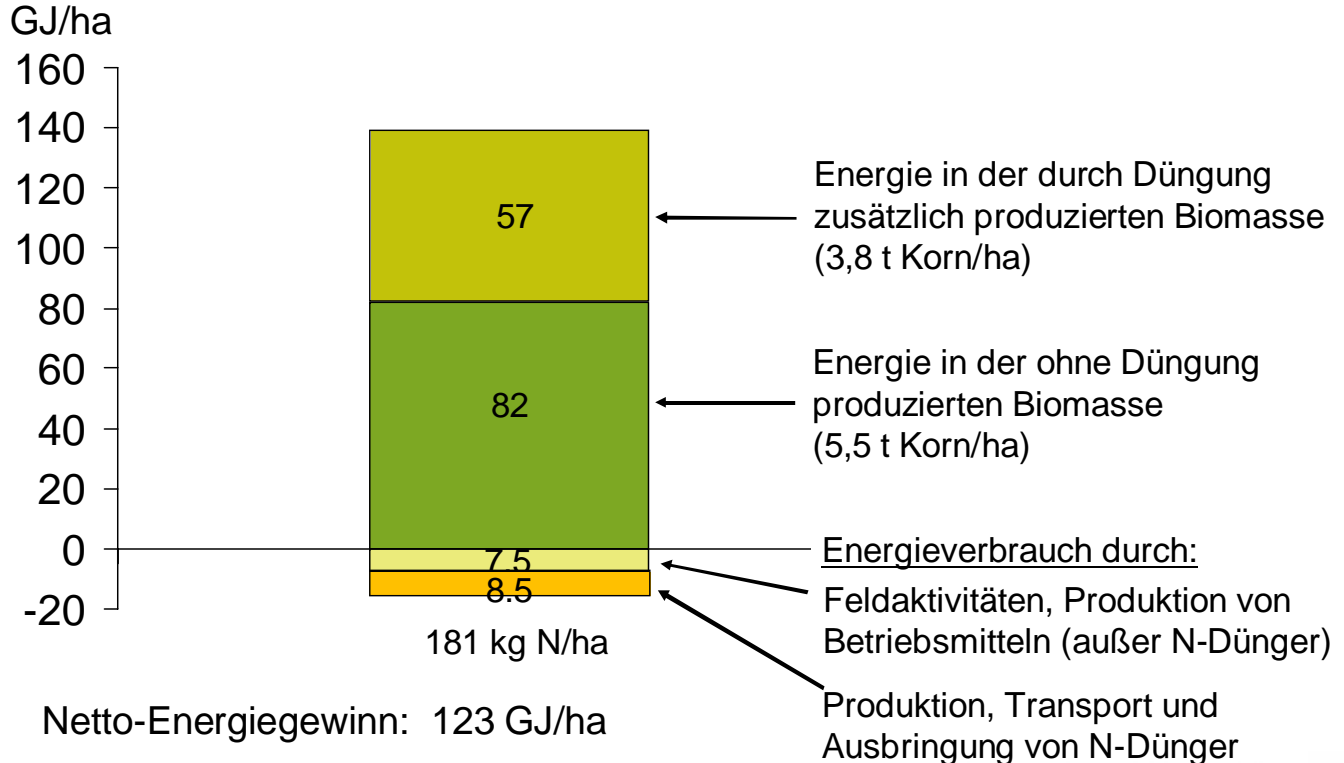
Dem Mineraldünger zugeschriebene Emissionen: 1,3% N₂O-N (nach IPCC-Tier1)

Dem Mineraldünger zugeschriebene N₂O Emissionen: 3-5% N₂O-N (nach Crutzen et al., 2008)



Energiebilanz der Weizenproduktion bei optimalem Mineraldüngereinsatz

- Ertrag: 9,3 t/ha, N-Form: KAS, Daten von 139 Yara Feldversuchen

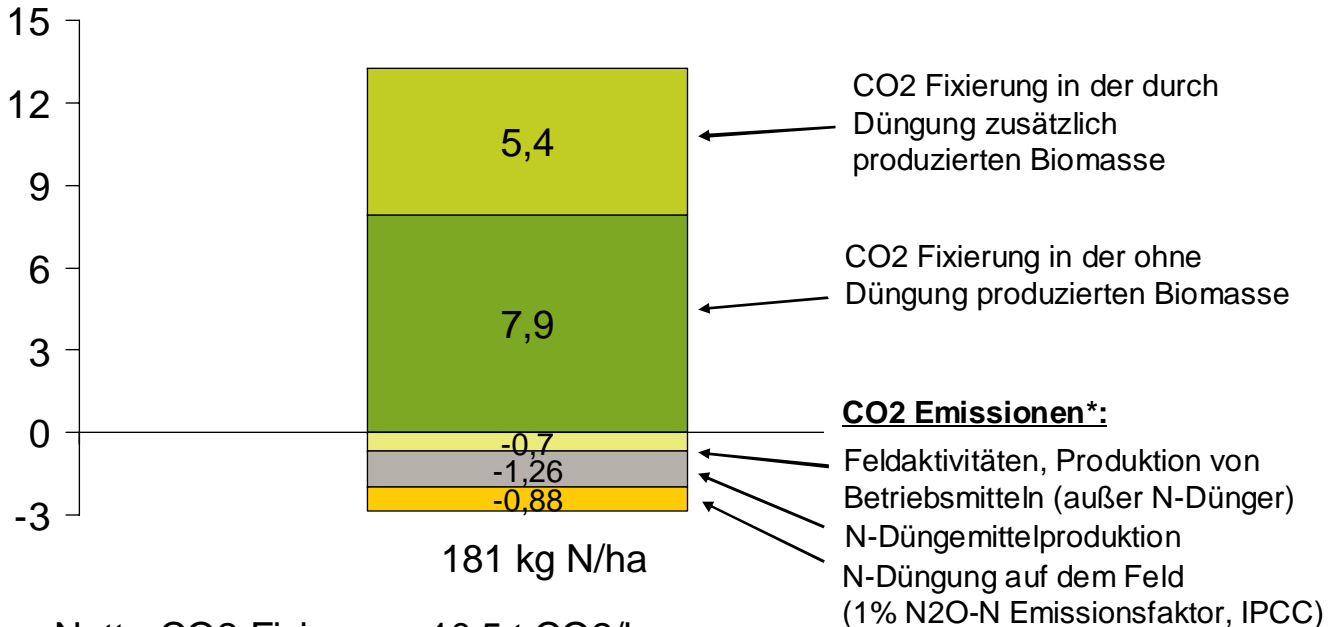


CO₂-Bilanz der Weizenproduktion bei optimalem Mineraldüngereinsatz

- Ertrag: 9,3 t/ha, N-Form: KAS, Daten von 139 Yara Feldversuchen,

Je Tonne Weizen (FM) werden ca. 1,42 Tonnen CO₂ fixiert.

t CO₂/ha



Netto-CO₂-Fixierung: 10,5 t CO₂/ha



* inkl. N₂O (1 kg N₂O = 310 kg CO₂)

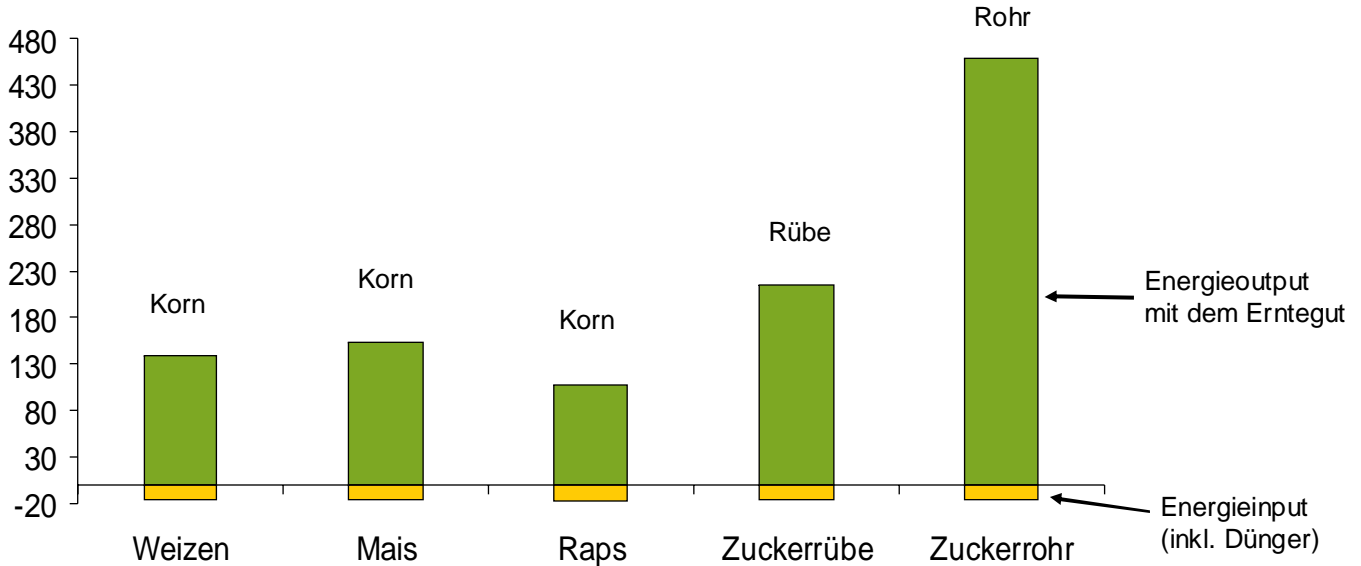
Gliederung

- Methodik der Bilanzierung.
- Energie- und CO₂-Bilanz des Ackerbaus.
- Energie- und CO₂-Bilanz verschiedener Bioenergieformen.



Die Energiebilanz der Pflanzenproduktion ist positiv, variiert aber mit der angebauten Kultur.

GJ/ha

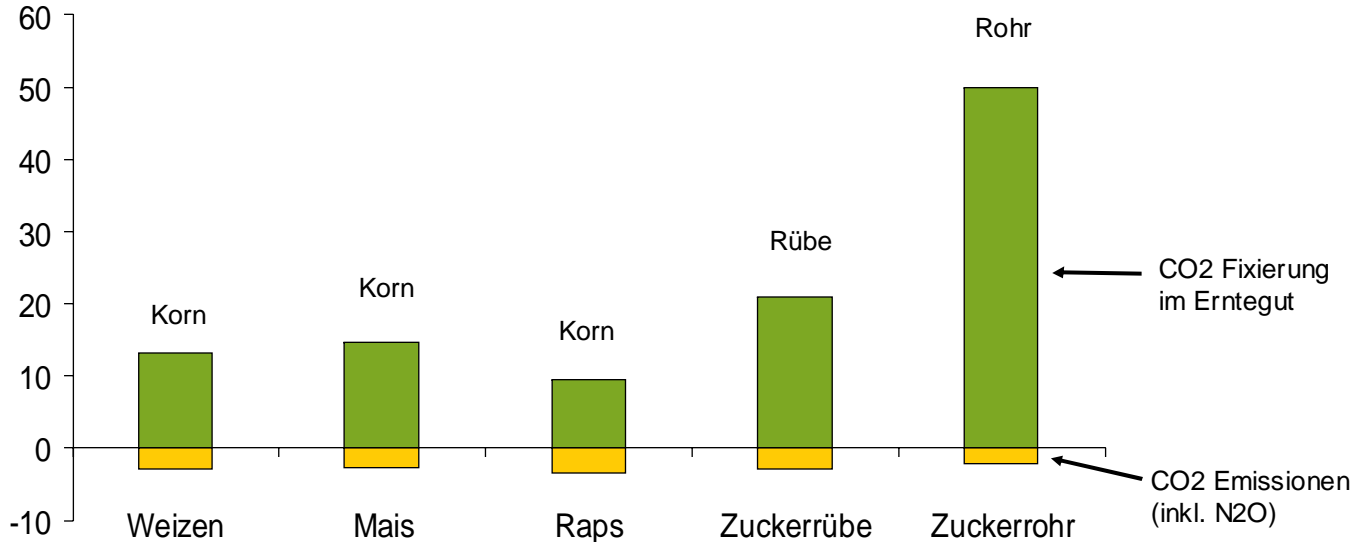


Quelle: Kalkulationen auf der Basis von Feldversuchen und Literatur



Auch die CO₂-Bilanz der Pflanzenproduktion ist positiv, aber ebenfalls abhängig von der Kultur.

t CO₂/ha



(1 kg N₂O = 310 kg CO₂)

Quelle: Kalkulationen auf der Basis von Feldversuchen und Literatur



Gliederung

- Methodik der Bilanzierung.
- Energie- und CO₂-Bilanz des Ackerbaus.
- Energie- und CO₂-Bilanz verschiedener Bioenergieformen.



Brutto-Bioenergieerträge von Biokraftstoffen der ersten Generation

- in l Kraftstoffäquivalente/ha

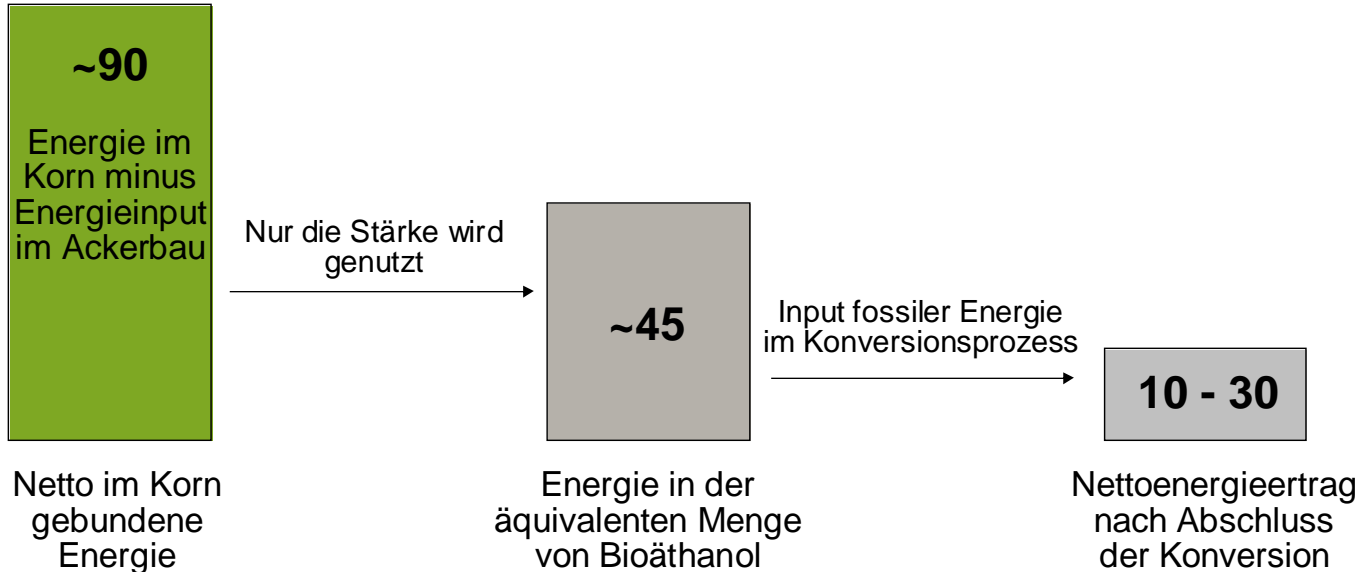
	Ertrag (t/ha)	Kraftstoffäquivalente (l/ha)
Biodiesel		
Raps	3 – 5 t Korn	1250 – 2100
Ölpalme	16 – 25 t FFB*	2500 – 4000
Bioäthanol		
Getreide	6 – 10 t Korn	1500 – 2500
Zuckerrübe	50 – 70 t Rüben	3500 – 4900
Zuckerrohr	70 – 110 t Rohr	4000 – 6300

* FFB = Fresh fruit bunches

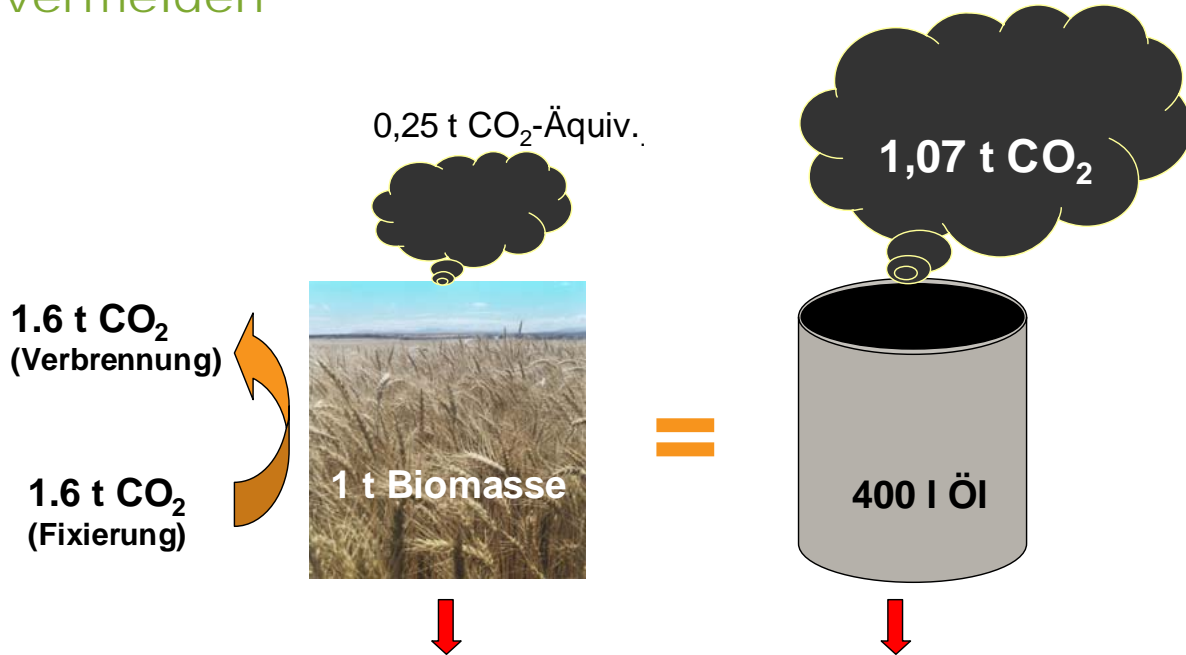


Ergebnis der Energiebilanz bei der Produktion von Bioäthanol aus Weizen

- relativ, Bruttoenergie im Korn = 100



CO2 Bilanz des Einsatzes von Biomasse um fossile Energie zu ersetzen und CO2 Emissionen zu vermeiden



Netto-Vermeidung: (1,07 minus 0,25) = 0,82 t CO₂ (76%) je t Biomasse



Das Potential zur Einsparung von fossiler Energie und von CO2 Emissionen hängt vom gewählten Pfad und von der Kultur ab

	Energieeinsparung (in %, im Vgl. zum fossilen Energieträger)	Einsparung von CO2 (in %, im Vgl. zum fossilen Energieträger)
Bioäthanol - Getreide (Mais, Weizen) - Zuckerrohr	10 – 35 % 70 – 85 %	max. ~ 30 % 70 – 80 %
Biodiesel - Raps - Ölpalme	40 - 60 % 55 - 75 %	30 – 50 % 50 – 70 %
Verbrennung (Getreide, Stroh, Holz) - Wärme oder KWK	70 – 85 %	70 – 80 %
Biogas (Maissilage) - KWK (Wärme + Strom)	70 – 80 %	~ 70 %



Zusammenfassung

- Die Produktion von Biomasse in der Landwirtschaft weist eine positive Energie- und CO₂-Bilanz auf, die durch den optimalen Einsatz von Mineraldüngern weiter verbessert wird.
- Die Energie- und CO₂-Bilanz der Biokraftstoffproduktion hängt von der Art und dem Entwicklungsstand der Konversionstechnologie ab.
- Bioäthanol aus Zuckerrohr oder die Gewinnung von Wärme und Strom aus der Verbrennung von Biomasse oder Biogas haben das größte Potential, fossile Energie einzusparen bzw. CO₂ Emissionen zu vermeiden.



Backup slides



Effizienz der Stickstoffdüngung in der Weizenproduktion in Westeuropa

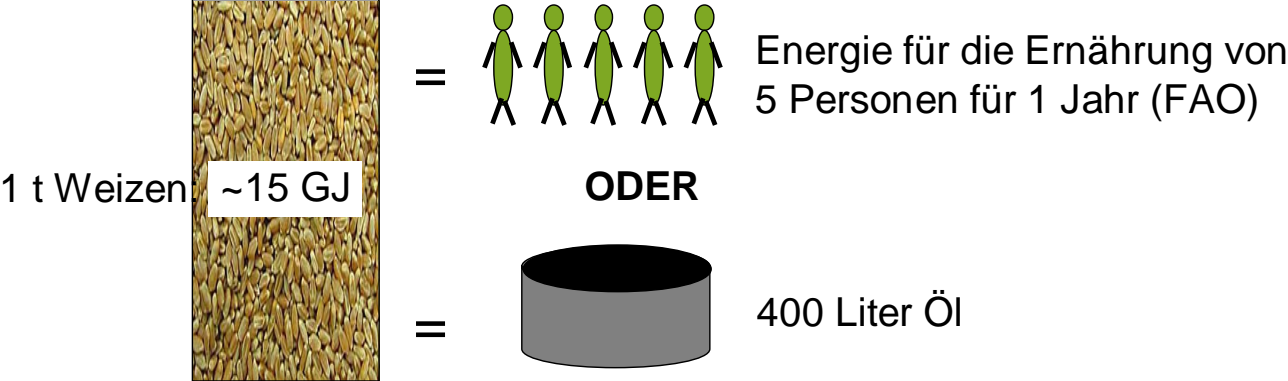
	Durchschnitt 139 Feldversuche*	Durchschnitt EU27**
Kornertrag (t/ha)		
- Frischmasse (FM)	9,3	5,3
- Trockenmasse (TM)	8,0	4,5
N-Gehalt im Korn (% TM)	2,09	2,00
N-Entzug mit dem Korn (kg N/ha)	167	99
N-Düngung (kg N/ha)	181	111
N-Deposition (kg N/ha)	20	20
N-Ausnutzungseffizienz (N-Entzug/N-Düngung) * 100	83 %	69 %

Zusätzlich werden 20 bis 30 kg N/ha vom Stroh aufgenommen.

Quelle: * Yara 1996-2007, ** Efma 2006/07



Bioenergie und Nahrungsmittelproduktion konkurrieren um Ackerfrucht und Ackerfläche



Im Erntegut ist viel Energie enthalten

- Beispiel Weizenkorn

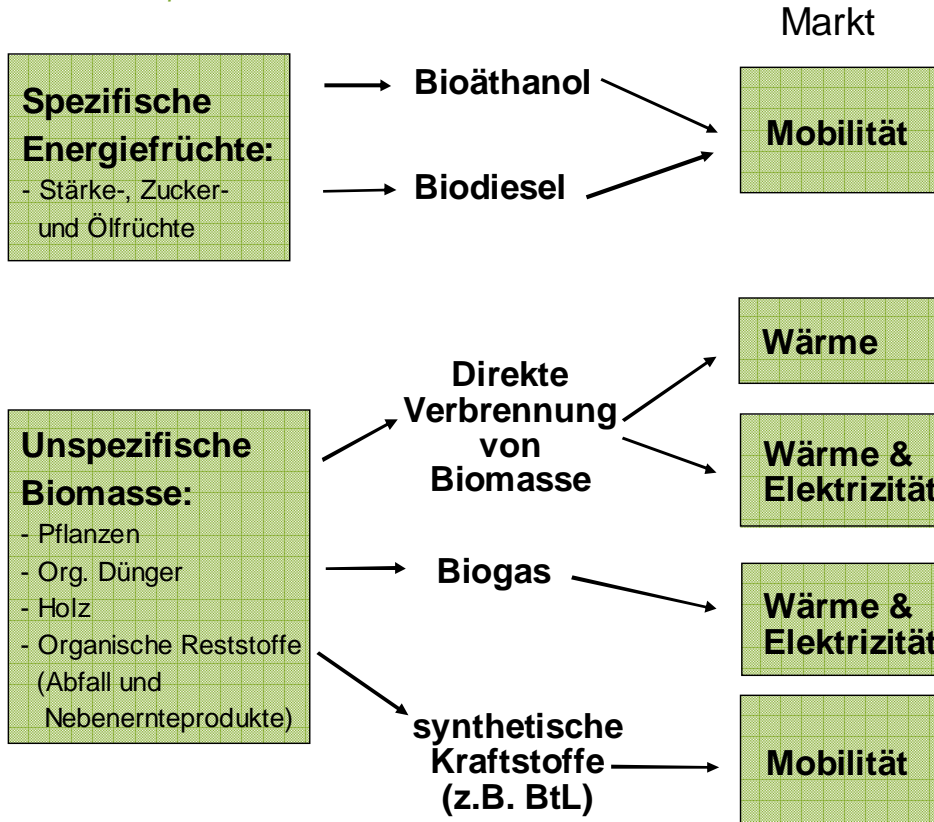
Energieertrag von 1 t Weizen:

15 GJ	~ 400 l Öl	~ 4400 kWh
-------	------------	------------



Pfade der Bioenergieproduktion

- Überblick, vereinfacht



Crutzen et al. schlagen einen "neuen" (höheren) N₂O Emissionsfaktor für N-Dünger vor

- IPCC (2007) empfiehlt eine Emissionsrate von 1-2% N₂O-N bezogen auf den gesamten Stickstoffinput (mineralisch und/oder organisch).
- Crutzen et al. empfehlen eine wesentlich höhere Emissionsrate von 3-5% N₂O-N des gesamten Stickstoffinputs (mineralisch und/oder organisch).

=> Aber: IPCC und Crutzen et al. unterscheiden sich nur in der Allokation der N₂O Emissionen zu den landwirtschaftlichen Subsystemen.



Die von Crutzen et al. für den Ackerbau verwendete Stickstoffausnutzungseffizienz (NUE) ist zu niedrig

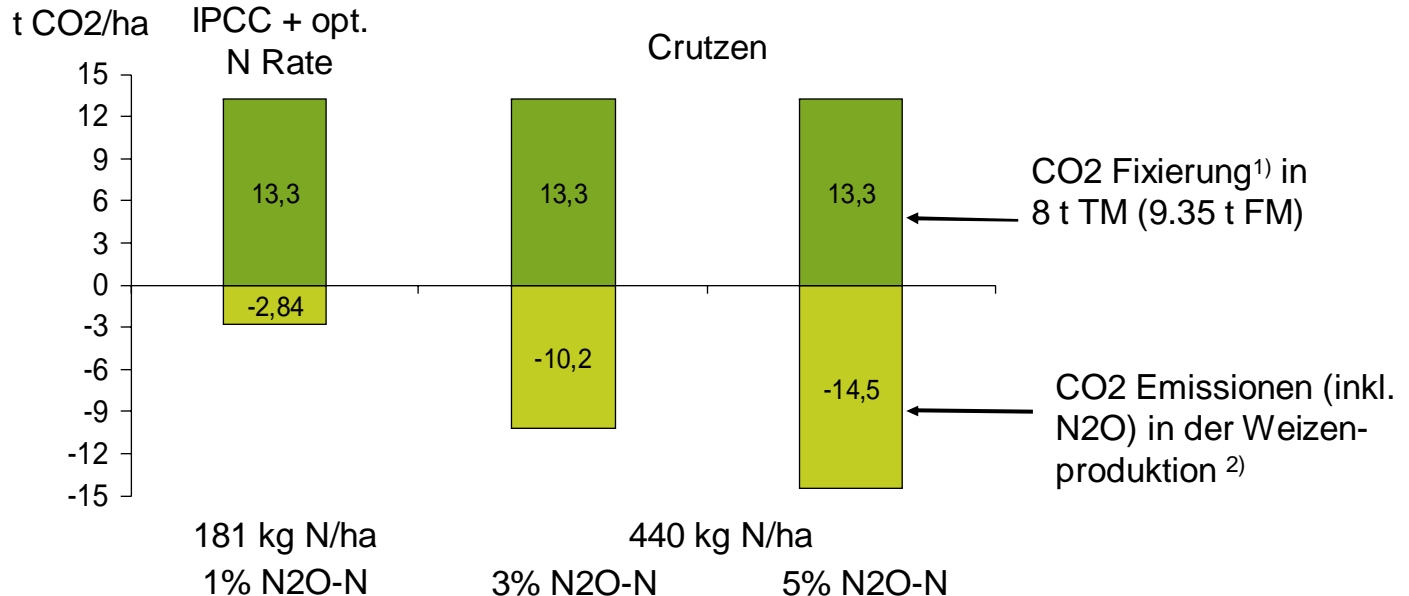
- NUE = Nitrogen Use Efficiency

- Nach Crutzen et al. beträgt die NUE nur 40%.
- Ansatz der Autoren: $\text{N-Düngerbedarf} = \text{N-Gehalt in der Frucht} / \text{NUE}$
- Anwendung der “Crutzen Formel (Beispiel: Weizenproduktion):
 - Parameter: N-Gehalt = 22 kg N/t TM; Ertrag = 8 t TM/ha; 40% NUE
 - Resultierender N-Düngerbedarf: 440 kg N/ha
- Die gegenwärtige NUE in der europäischen Getreide- und Rapsproduktion liegt etwa bei 70% (60–80 %).



Eine niedrige NUE und ein hoher N₂O-Faktor können zu einer negativen Klimabilanz im Ackerbau führen

- Beispiel: Weizenproduktion; N₂O-Emissionsfaktor nach IPCC (1%) und Crutzen et al. (3% bzw. 5%)

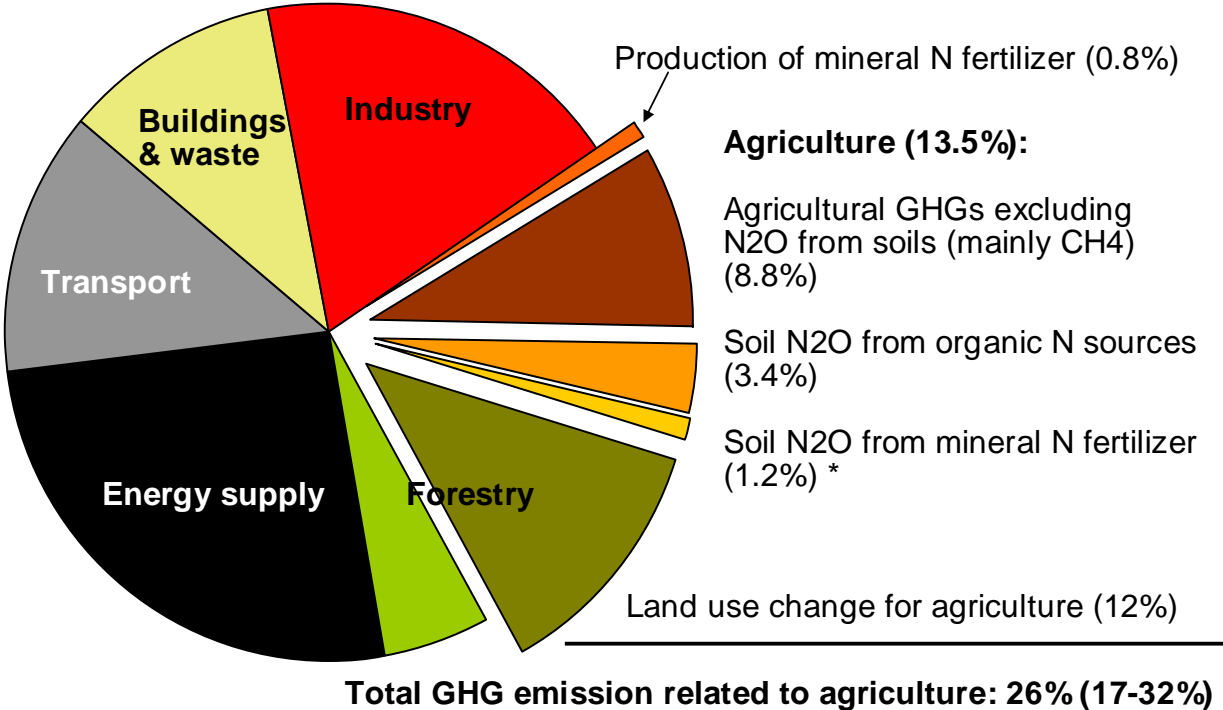


1) Jede Tonne Weizenkorn (TM) fixiert ca. 1,6 t CO₂.

2) Inklusive Produktion und Transport der Betriebsmittel (Saatgut, Dünger, Traktoren etc.), Düngerausbringung und alle anderen Feldaktivitäten (Aussaat, Pflanzenschutz, Ernte etc.)



The global greenhouse gas emission budget in 2004

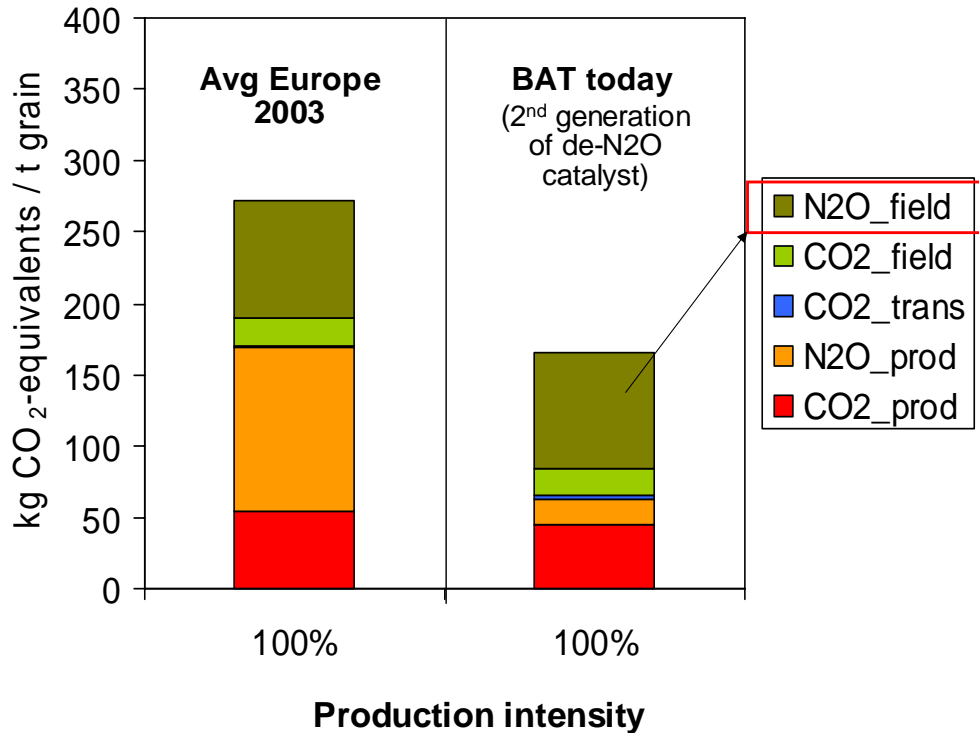


Based on IPCC (2007), Bellarby et al. (2008), *own calculation



Impact of full implementation of the on the carbon footprint of crop production

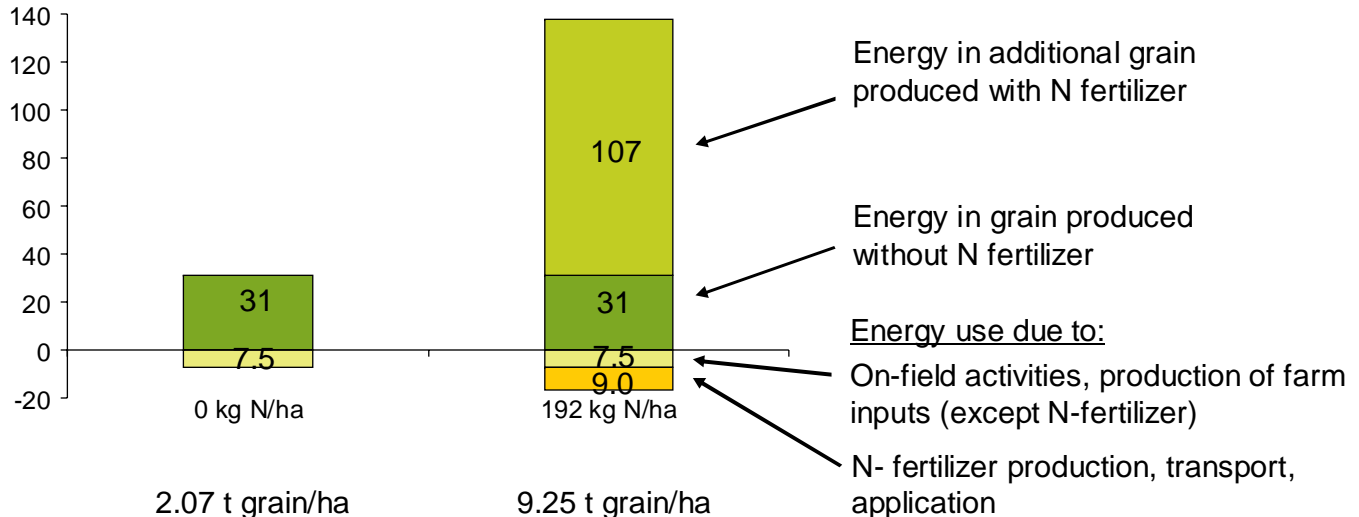
Based on a long-term field trial with winter wheat (UK), N source = Ammoniumnitrate



The positive energy balance of crop production is further enhanced by mineral fertilizer application

- Data from a long term field trial, N-Form: AN

GJ/ha



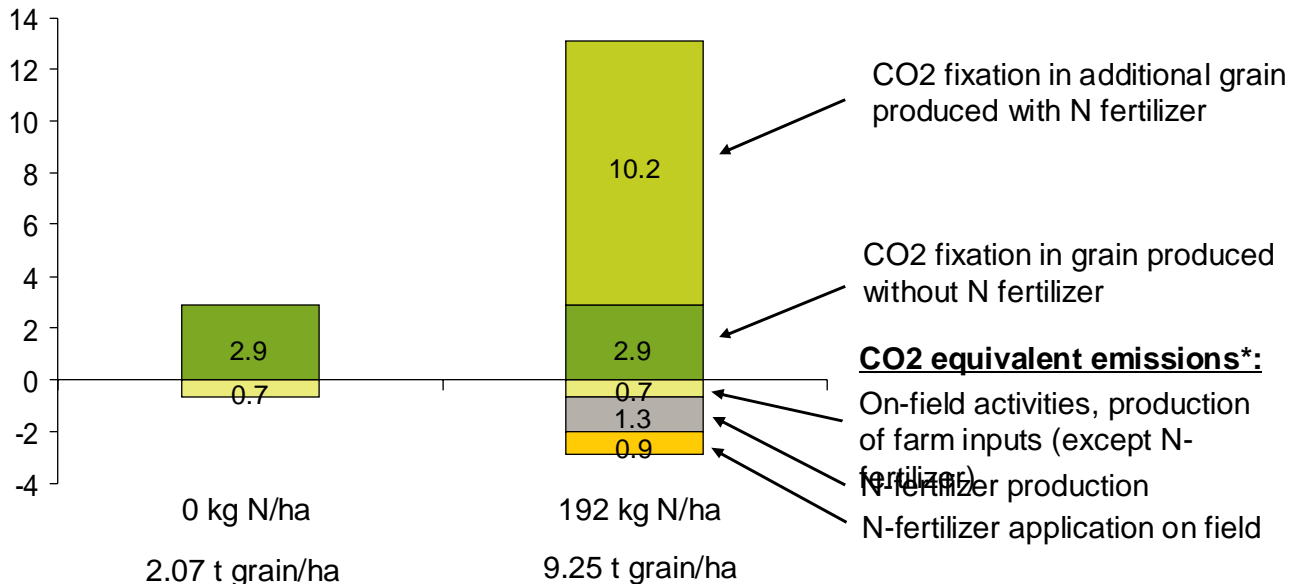
One ton of grain (f.m.) contains 14.9 GJ.



Positive CO2 balance of wheat production, mineral N fertilizer enhances the effect

- Data from a long term field trial, N-Form: AN

t CO2/ha

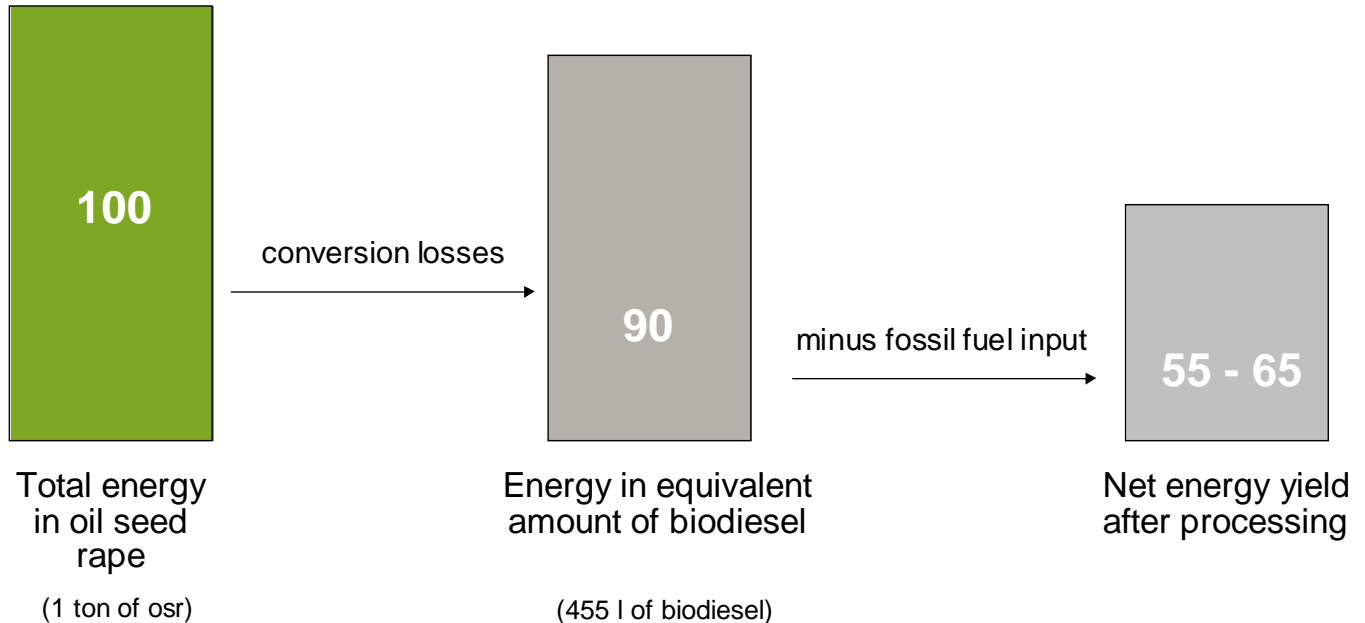


* incl. N2O (1 kg N2O = 310 kg CO2)

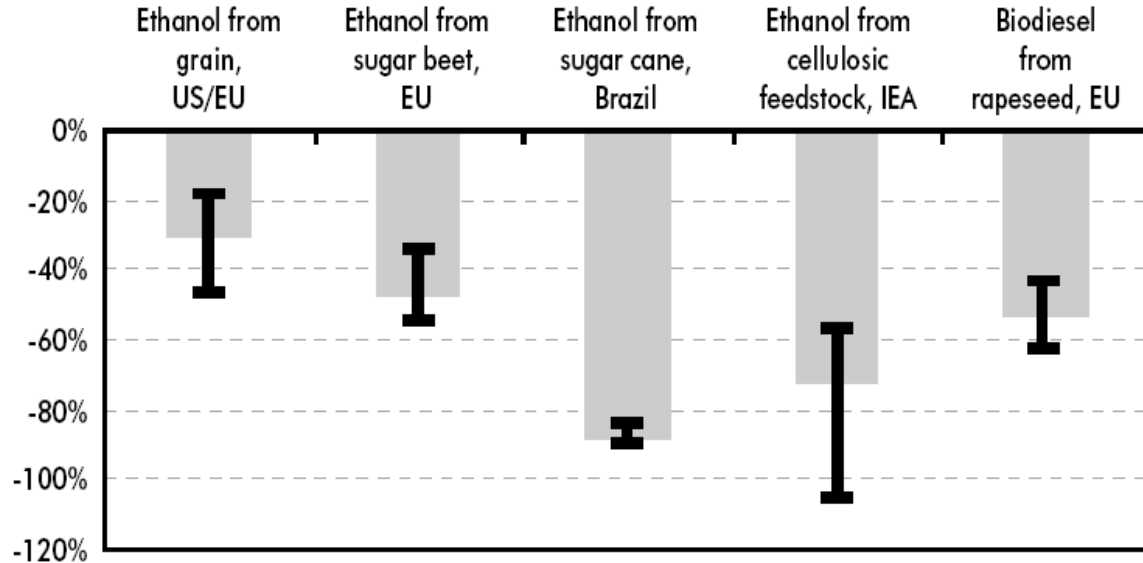
One ton of grain (f.m.) fixes around 1.42 tons of CO2.



Energy yield of the biodiesel production from oil seed rape (relative)



Reduction in CO2-emissions



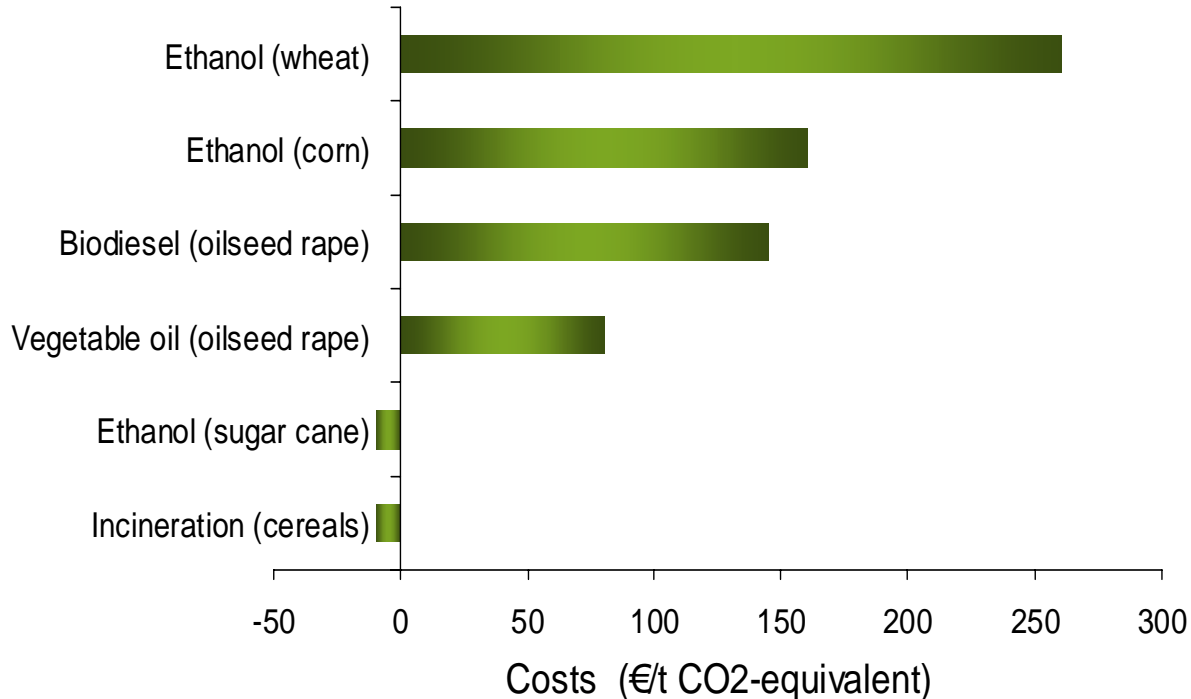
Assumption: "well-to-wheels"
perspective compared to fossil fuel

Source: IEA Biofuels for Transport



CO2 avoidance costs of different bio-energy routes

The avoidance of one ton of CO2 is most expensive if bio-ethanol from sugar beet is used. There are no costs for the society if cereals are incinerated or bio-ethanol is made from sugar cane.



Summary

- From a global perspective, 3-5% N₂O emission from N fertilizer input is realistic, if all subsequent emissions of the N cycle in several sub-systems such as crop production, animal husbandry, and human nutrition are considered.
- Compared to the IPCC data, the authors have not “discovered” an additional source of N₂O, but have taken a global perspective for their calculation.
- To assess a specific system such as crop production for bio-fuels, only those N₂O emissions should be accounted, that are actually attributable to this system.
- Actual NUE in cereal and rapeseed production in Europe is around 70% (60–80 %), and not 40% as proposed by Crutzen et al..
- A too low factor for NUE leads to an overestimation of N fertilizer inputs and related GHG emissions.
- The GHG balance of bio-fuels is in most cases positive, if realistic N fertilizer application rates are taken for the calculation.

