

Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?

02. Februar 2008
KG II, HS 2004

Gero Becker
Tobias Cremer, Benjamin Engler, Christian Suchomel

Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien - Warum? -

Gesellschaftliches Interesse:

- Klimaveränderung, Kyoto-Protokoll
- Atomausstieg (in Deutschland bis 2021 vollzogen ?)
- Endlichkeit und Folgeschäden fossiler Energieträger
- Geopolitische Abhängigkeit

Wirtschaftliches Interesse:

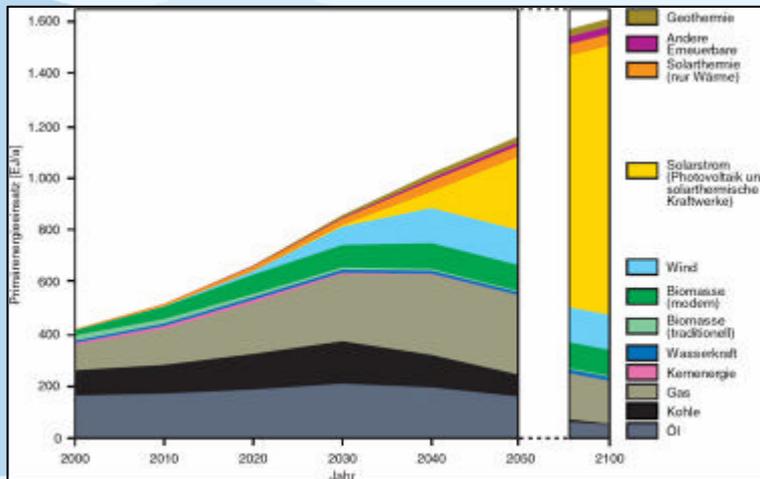
- Energiekosten sparen
- Neue Geschäftsfelder
- Regionale Wertschöpfung
- Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze



Neue Geschäftsfelder

- Erzeugung erneuerbarer Energien
- Lieferung von Technologie, Anlagen, Know-how
- Handel mit erneuerbaren Energien
- Joint-Implementation Maßnahmen
- Handel C-Zertifikaten

Primärenergieeinsatz weltweit bis 2100



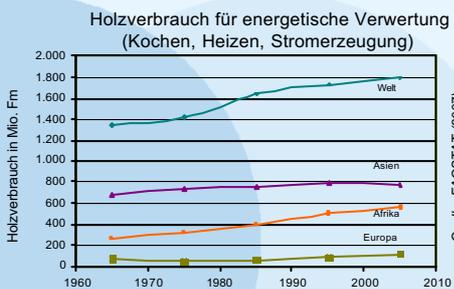
Exa = 10^{18}
1 Exajoule = 34,12 Mio. t SKE

Quelle: www.wgbu.de (2003)

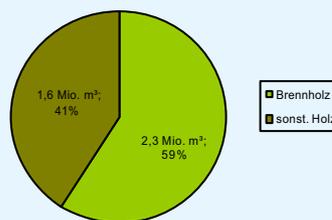
„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

3

Weltweiter Brennholzeinsatz



Holzeinsatz weltweit



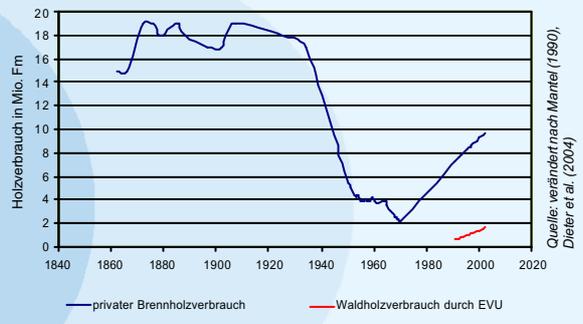
Quelle: verändert nach FAO (2007)



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

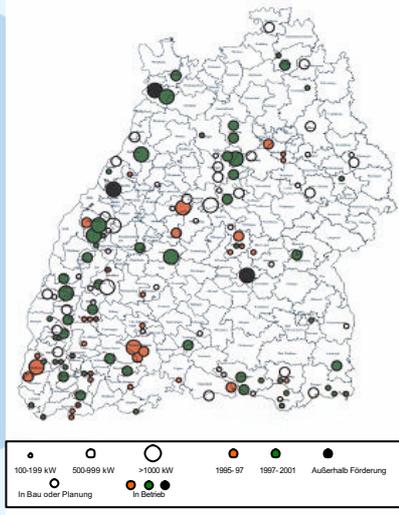
4

Holzeinsatz zur Energieerzeugung in Deutschland



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 5
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Holzheizwerke in Baden-Württemberg



Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (2002)

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 6
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

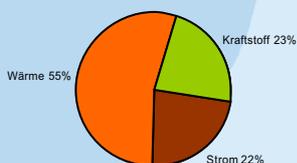
Energieverbrauch Deutschland 2006



Primärenergieverbrauch 2006

(= Gesamtenergieverbrauch)

Energiemenge (Input), die mit den verschiedenen Energieträgern zur Verfügung steht



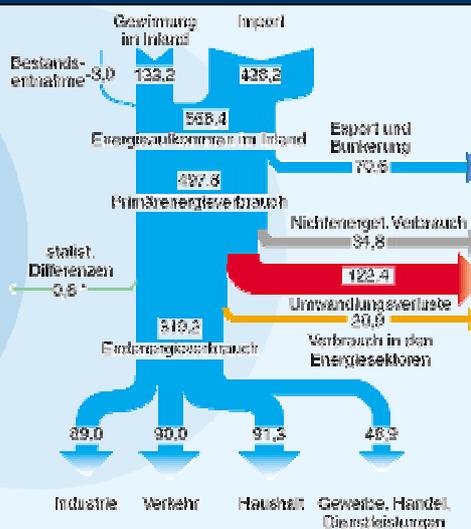
Endenergieverbrauch 2006

Energiemenge, die dem Verbraucher/Nutzer nach verschiedenen Umwandlungen als nutzbare Energie in unterschiedlicher Form (Strom, Wärme, Kraftstoff) zur Verfügung steht

Vgl. AGEB 2007, SIBA 2008, FNR 2007

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Wohin geht die Energie? Energiefluss in Deutschland 2006



Angaben in Mio. t Steinkohleeinheiten (SKE)
1 SKE ~ 30 PJ

Quelle: AG Energiebilanzen 2007

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Klimaschutzziele

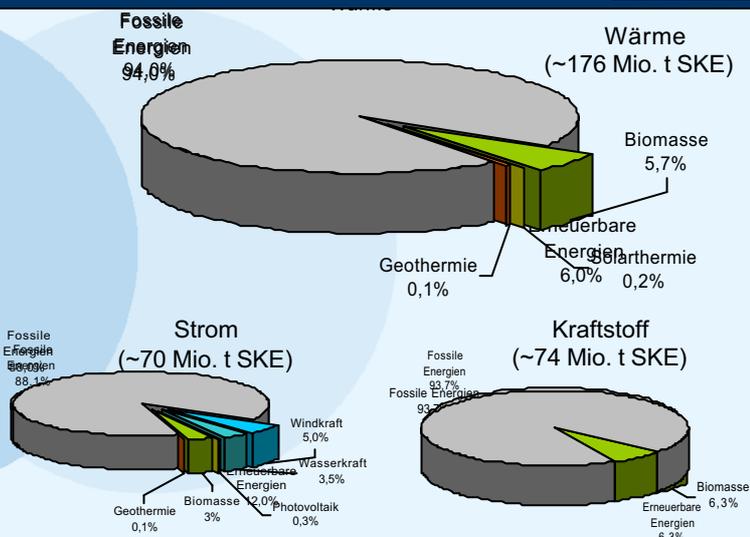


	Ziele EU	Ziele Deutschland	Stand Deutschland 2006
Senkung der Treibhausgas-Emission (Bezugsjahr 1990)	- 30 % (2020)	- 40 % (2020)	- 18 %
Kyoto weltweite Reduzierung um 21 % bis 2012 gegenüber 1990			
Erhöhung des Anteils EE am Primärenergieverbrauch	20 % (2020)	20 % (2020)	5,8 % allein Biomasse: 3,9 %
Erhöhung des Anteils EE an der Stromerzeugung	21 % (2010)	25 – 30 % (2020)	11,8 %
Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch	10 % (2020)	17 % nach Energieinhalt 20 % nach Volumen (2020)	6,3 % insgesamt (4,0 % Biodiesel, 1,8 % Pflanzenöl, 0,6 % Ethanol)
Erhöhung des Anteils EE an der Wärmeerzeugung	---	14 % (2020)	6,0 %

Vgl. Meseberger Beschlüsse August 2007, EU Commission Januar 2008, FNR 2007

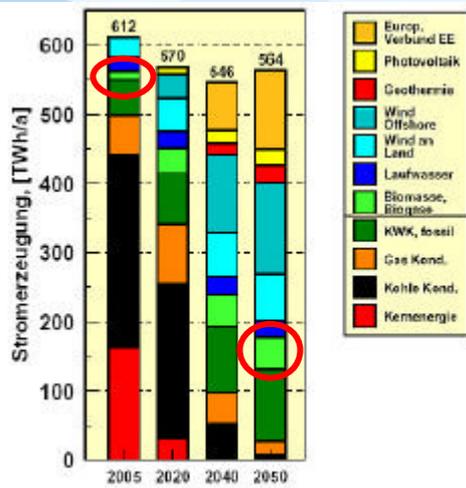
„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Anteile Erneuerbare Energien am Endenergieverbrauch 2006



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Entwicklung der **Strom**erzeugung bis zum Jahr 2050



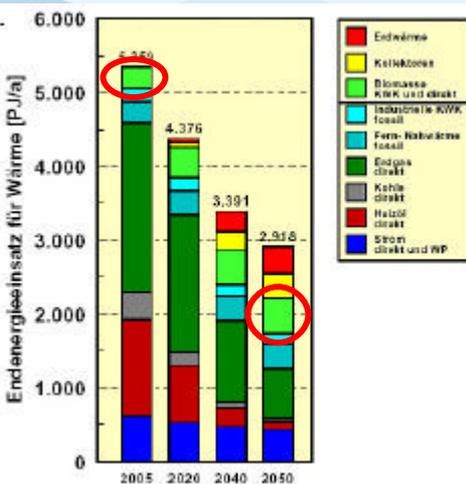
Struktur der Brutto**strom**erzeugung nach Energiequellen¹

Einsparziel	2020:	7 %
	2050:	8 %
Anteil Biomasse	2020:	5,8 %
	2050:	7,7 %

¹ in 2040 und 2050 werden 22 bzw. 60 TWh/a Strom zur Wasserstoffbereitstellung eingesetzt

Quelle: BMU 2007: „Leitstudie 2007“

Entwicklung der **Wärme**bereitstellung bis zum Jahr 2050

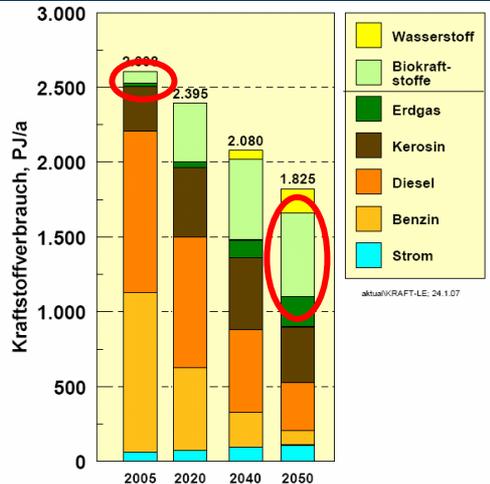


Energieeinsatz zur **Wärme**bereitstellung nach Energieträgern

Einsparziel	2020:	18 %
	2050:	46 %
Anteil Biomasse	2020:	9,3 %
	2050:	17,2 %

Quelle: BMU, 2007: „Leitstudie 2007“

Entwicklung der Energieeinsatzes im Verkehr bis zum Jahr 2050



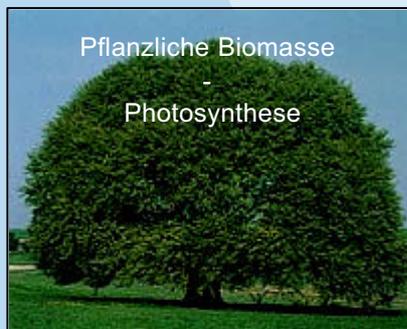
Energieeinsatz im Verkehr, getrennt nach Kraftstoffarten

Einsparziel	2020:	8 %
	2050:	30 %
Anteil Biomasse	2020:	16,7 %
	2050:	29,7 %

Quelle: BMU, 2007: „Leitstudie 2007“

Formen der Biomasse

Biomasse: sämtliche Stoffe organischer Herkunft, d. h. kohlenstoffhaltige Materie



Biomasse und Klimaschutz

- nachwachsender Rohstoff
- weitgehend geschlossener CO₂-Kreislauf

- Öl $3 \text{ CH}_3\text{-OOC-R}^{1,2,3}$
- Zucker $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$
- Cellulose $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$
- Lignin $\text{C}_9\text{H}_8 \text{ O}_2,4(\text{OCH}_3)0,9$



Grafik: <http://www.kachelofenzentrum-hinke.de>

Nachhaltigkeit in diesem Kontext:

- Eingesetzte Biomasse < Zuwachs
- Emissionierte CO₂-Menge = vorher gebundener CO₂-Menge

Formen der Biomasse

Halmgutartige Biomasse (Öl, Zucker, Stärke)

- Energiepflanzen aus der Landwirtschaft
- Stroh und andere Erntereste aus der Landwirtschaft
- Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie
- Landschaftspflege, z.B. Grünschnitt, Biotoppflege (Cellulose)



Holzartige Biomasse (Lignocellulose)

- Durchforstungs- und Waldrestholz
- Landschaftspflegeholz (Straßenbegleitgrün, Gehölze der freien Landschaft, Schwemmholz)
- Energieholzplantagen
- Industrierestholz
- Altholz

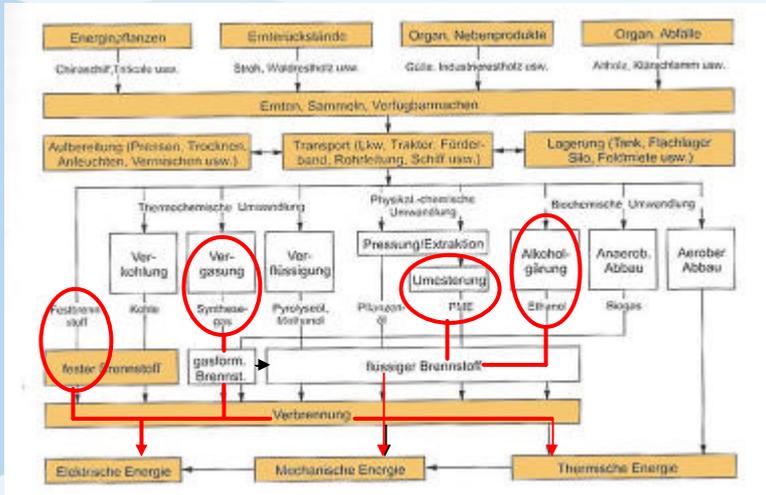


Tier / Mensch (Fette / Eiweiß)

- Gülle / Exkremente
- Schlachtabfälle
- Organische Abfälle aus Haushalten und Industrie



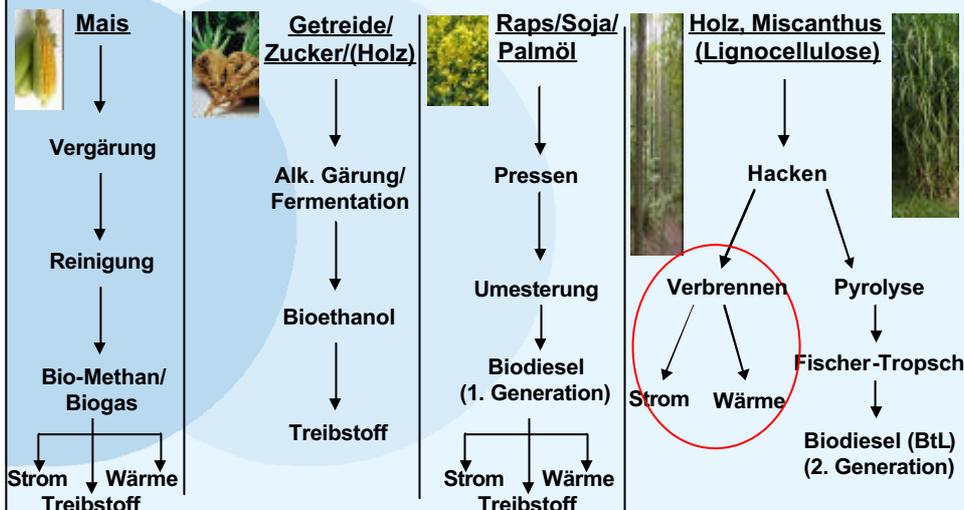
Energie aus pflanzlicher Biomasse



Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 17
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Energie aus pflanzlicher Biomasse



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 18
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Kriterien zur Bewertung von Energieträgern

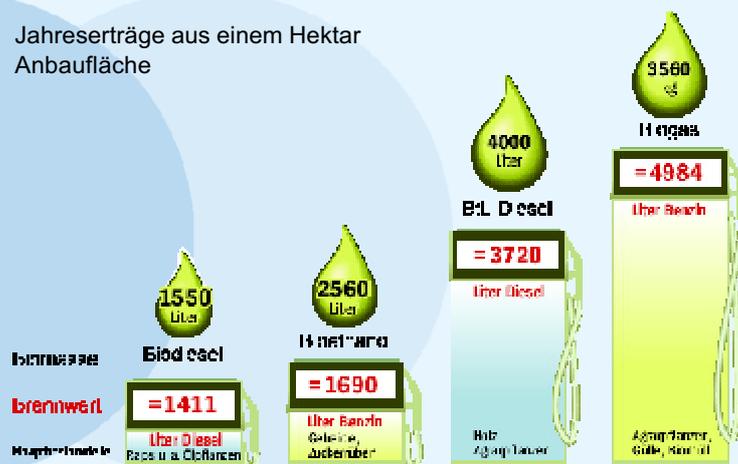


- Energieeffizienz
- CO₂-Minderungspotenzial (netto!)
- Potenziale / Verfügbarkeit im Inland / Ausland
- Versorgungssicherheit
- Technologische Machbarkeit
- Risiken und Nebenwirkungen
- Kompatibilität mit bestehenden Systemen
- Investitionsbedarf
- Kosten für Verbraucher
- Akzeptanz / politische Realisierbarkeit
- Schlüssige Geschäftsmodelle

Treibstoff aus Biomasse



Jahreserträge aus einem Hektar Anbaufläche



Quelle: Der Spiegel 08/2007

Alternative Verwendungen



1 ha Mais

18.000 Tortillas

Kalorienbedarf an Mais von
2.600 Mexikanern pro Tag



?

3.700 l Diesel-Kraftstoff



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 21
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Alternative Verwendungen



50 m³ Holz

Bau eines Holzhauses
(47,5 t CO₂-Speicherung)

(Zusätzlich Einsparung von 1.800 l Heizöl
bzw. 5,4 t CO₂ pro Jahr möglich)



?

Substitution von 12.500 l Heizöl
(5-Jahresbedarf eines
Einfamilienhauses mit 150 m²)



„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 22
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Alternative Verwendungen

5 t Altholz

6 m³ Spanplatte (ca. 240 m²)
(sehr lange CO₂-Speicherung)



?

7,5 m³ Pellets
(Jahresbedarf Einfamilienhaus)



Bild: http://www.sses.ch/dezeitschrift/pellets_302.html

Auswirkungen auf das Landschaftsbild?



Quelle: www.roma-antiqua.de



Foto: L. Nutto

Bioenergie – Vorteile und Nachteile



Vorteile

- Nahezu CO₂-neutral
- Energieeffizient, nachwachsend
- Mehrfachnutzen
- Kontinuierliche Nutzung
- Risikoarmes Handling
- Biologisch abbaubar
- Erprobte Technologie
- Wenig toxische Begleitstoffe
- Dezentrale Nutzung
- Chance für den ländlichen Raum
- Heimische Ressource

Nachteile

- Je nach Bereitstellungskette und Form der Nutzung
- Flächenverbrauch
- Konkurrenz zu Nahrungsmittel und stofflicher Verwertung
- Saisonaler Anfall / Witterung
- Geringe Energiedichte
- Begrenzt lagerfähig
- Technisch bisher wenig kompatibel im Energiesektor
- Feinstaub, Lärm, Geruch
- Zerstreuter Anfall
- Komplizierte Eigentümerstruktur
- Kritische Betroffenheit der Öffentlichkeit

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 25
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Potenziale an Lignocellulose weltweit



Quelle: Worldwatch Institute, Biofuels for transportation
07.06.2006

Geschätztes Potenzial 2005
(weltweit; in Exajoules)

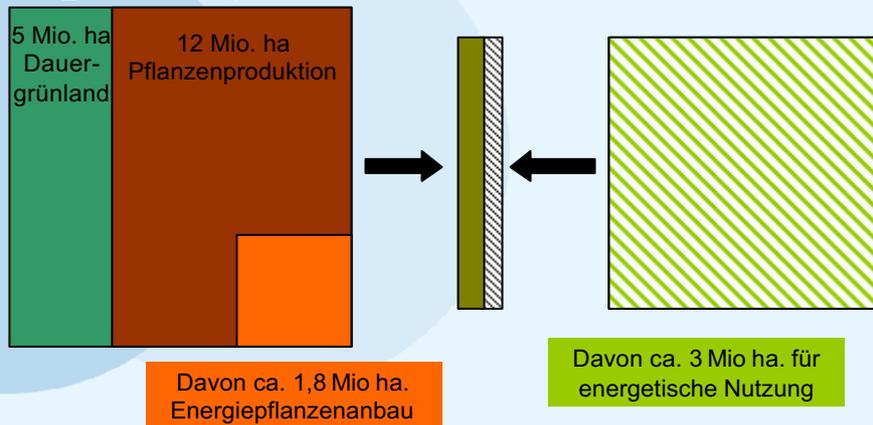
Landwirtschaftliche Reststoffe	Stroh (Getreide)	15 – 70	Kein zusätzlicher Landbedarf
	Maisreste		
	Zuckerrohr		
	Bagasse		
Waldrestholz	Aus Durchforstungen, Endnutzungen etc.	30 – 150 oder 0	Kein zusätzlicher Landbedarf
	Ungenutzter Zuwachs	0?	
Organische Reststoffe (Post-consumer)	Altholz	5 – 50+	Kein zusätzlicher Landbedarf
	Altpapier		
	Kommunale organische Reststoffe		
Einjährige Energiepflanzen	Landwirtschaftliche Fläche	0 – 700	Zusätzlicher Landbedarf
	Grenzertragsflächen	60 – 150 oder 0	

- Größter Anteil von Energiepflanzen
- Haupteinflussfaktoren: Ertrag/ha, Landnutzung für Lebensmittelproduktion
- Gesamtpotenzial zwischen 40 und 1.100 EJ; realistisch sind 200 bis 250 EJ

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 26
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Biomassepotenziale in Deutschland

Landwirtschaftl. Nutzfläche 17 Mio. ha Stilllegungsfläche 2005 ca. 1,1 Mio. ha Wald ca. 11 Mio ha



Potenziale erweitern

- Intensivere Waldwirtschaft
- Nutzung von Holz außerhalb Waldes
- Hochleistungs-Energiewälder
- Nutzung von Reststoffen
- Ernährung umstellen – „Pasta statt Schnitzel“ – $\frac{4}{5}$ der Fläche wird frei



Was ist zu tun?



„Global denken, lokal handeln“

Beispiele aus Freiburg



Bild: FWTM/Raach

Biogas ersetzt Erdgas



Beispiel 1: Biogas ersetzt Erdgas

Gesamtenergiebedarf Erdgas Freiburg	1.500 GWh/Jahr
Anteil Biogas	10 %
Anteil Biogas	150 GWh/Jahr
benötigte Menge	11.278 t Biogas
benötigte Fläche (für Silomais 45 t/ha)	3.168 ha
eingesparte t CO ₂	75.000 t CO ₂

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

30

Biogas ersetzt Erdgas



3.168 ha =
2,1 % der Landkreisfläche +
Stadtkreisfläche
5,2 % der landwirtschaftlichen
Flächen

Bild: Suchomel

Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel

Beispiel 2: Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel:

	1. Generation 50% Biodiesel / 50% Bioethanol
Gesamtenergiebedarf Benzin/Diesel Freiburg	1.000 GWh/Jahr
Anteil Biokraftstoffe	15 %
Anteil Biokraftstoffe	150 GWh/Jahr
benötigte Menge	21.052.630 l Biod./-eth.
benötigte Fläche (Agrar)	10.526 ha
eingesparte t CO ₂	40.000 t CO ₂

Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel



10.526 ha =
 6,9 % der Landkreisfläche +
 Stadtkreisfläche
 17,4 % der landwirtschaftlichen
 Flächen
 (1. Generation)

Bild: Suchomel

Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel



Beispiel 2: Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel:

	1. Generation 50% Biodiesel / 50% Bioethanol	2. Generation BtL
Gesamtenergiebedarf Benzin/Diesel Freiburg	1.000 GWh/Jahr	1.000 GWh/Jahr
Anteil Biokraftstoffe	15 %	15 %
Anteil Biokraftstoffe	150 GWh/Jahr	150 GWh/Jahr
benötigte Menge	21.052.630 l Biod./-eth.	16.977.920 l BtL
benötigte Fläche (Agrar)	10.526 ha	4.244 ha
eingesparte t CO ₂	40.000 t CO ₂	40.000 t CO ₂

Biokraftstoffe ersetzen Benzin/Diesel



10.526 ha =
 6,9 % der Landkreisfläche +
 Stadtkreisfläche
 17,4 % der landwirtschaftlichen
 Flächen
 (1. Generation)

4.244 ha =
 2,7 % der Landkreisfläche +
 Stadtkreisfläche
 7 % der landwirtschaftlichen
 Flächen
 (2. Generation)

Bild: Suchomel

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 35
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Holz ersetzt Erdgas bei der Stromerzeugung im KWK



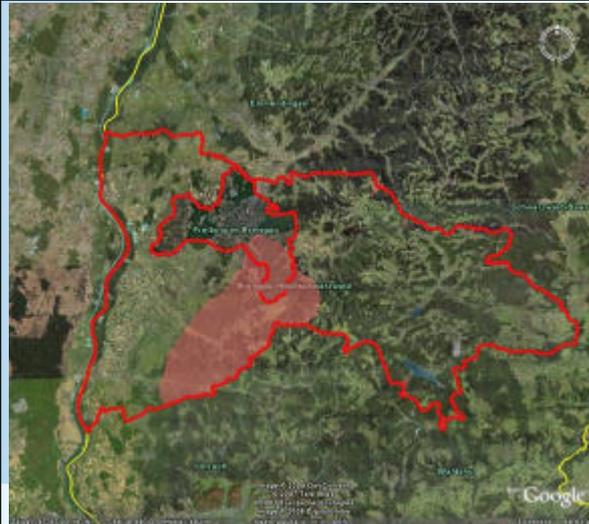
Beispiel 3: Holz aus dem Wald ersetzt Erdgas bei der Stromerzeugung im KWK¹:

Energiebedarf für Strom + Wärme Rhodia	800 GWh/Jahr
Anteil Hackschnitzel	20 %
Anteil Hackschnitzel	160 GWh/Jahr
benötigte Menge	60.000 m ³ Holz
benötigte Fläche (bei vollem Abschöpfen des Zuwachses)	5.075 ha
benötigte Fläche (nur Waldrestholz)	24.362 ha
eingesparte t CO ₂	80.000 t CO ₂

¹⁾ Zahlenbeispiel für Rhodia

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 36
 Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Holz ersetzt Erdgas bei der Stromerzeugung im KWK



24.362 ha =
auf 33 % der Waldfläche intensive
Waldrestholznutzung
(Landkreis + Stadtkreis)

60.000 m³ Holz =
gesamte Holzeinschlag eines
Jahres des Stadtwaldes Freiburg

Bild: Suchomel

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 37
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Pellets ersetzen Heizöl im Haushalt



Beispiel 4: Pellets ersetzen Heizöl im Haushalt

Energiebedarf Heizöl Haushalte Freiburg	300 GWh/Jahr
Anteil Pellets	50 %
Anteil Pellets	150 GWh/Jahr
benötigte Menge	30.000 t Pellets
eingesparte t CO ₂	50.000 t CO ₂

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 38
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Pellets ersetzen Heizöl im Haushalt



30.000 t Pellets = 25 % der Produktion des Pelletwerkes German Pellets Ettenheim



Bild: www.100-prozent-sorglos-paket.de



30.000 t Pellets = 60 % der Produktion Pelletwerk Dold / Schellinger Buchenbach



Bild: www.solarserver.de

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 39
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Pellets ersetzen Kohle im Kraftwerk der Uniklinik



Aktuelles Beispiel: Pellets ersetzen Kohle im Kraftwerk der Uniklinik

Gesamtenergiebedarf an Kohle Kohlekraftwerk Uni	240 GWh/Jahr
Anteil Pellets	66 %
Anteil Pellets	160 GWh/Jahr
benötigte Menge	35.000 t Pellets
eingesparte t CO ₂	60.000 t CO ₂

Quelle: German Pellets

58.000 t Pellets = 50 % des Pelletwerkes German Pellets Ettenheim
58.000 t Pellets = 116 % des Pelletwerkes Dold / Schellinger Buchenbach

„Energie und Rohstoffe aus Biomasse – was können Land- und Forstwirtschaft nachhaltig leisten?“, Freiburg, 02. Februar 2008 40
Gero Becker, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

CO₂-Reduktion durch Biomassenutzung in Freiburg



	t CO ₂ / Jahr
CO₂-Emission Freiburg gesamt (2005)	1.915.000
„Badenova“: Biogas statt Erdgas	75.000
Kfz: BtL statt Diesel / Benzin	40.000
KWK: Holz statt Erdgas	80.000
Haushalte: Pellets statt Heizöl	50.000
Uni Heizkraftwerk: Pellets statt Kohle	60.000
Einsparung gesamt	305.000

⇒ **Reduktion 16 %**

CO₂-Ziele sind erreichbar!



- Biomasse spielt bis 2020 (2030?) die wichtigste Rolle bei den EE
 - Universell einsetzbar
 - Auch in Deutschland in vielen Formen vorhanden
 - Potenzial ist kurz-/mittelfristig vorhanden bzw. erweiterbar (Fläche / Technik / Genetik)
 - Technologie ist bekannt
 - Kosten sind vergleichsweise gering
 - Höchste Effizienz bei reiner Wärmenutzung bzw. KWK
- Biomasse ist zwar erneuerbar, aber begrenzt
 - Limitation natürlicher Prozesse
 - Flächenbedarf
 - Alternative / konkurrierende Nutzungen

CO₂-Ziele sind erreichbar!

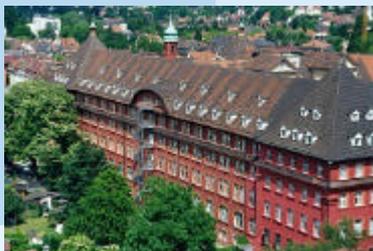


- Hindernisse müssen überwunden werden
 - Besitzersplitterung der Erzeuger / Landeigentümer
 - Vorbehalte: Naturschutz, Gentechnik, Förster
 - „Fossiles“ Denken und Strukturen der Energiewirtschaft
 - „Ohne mich“-Haltung der Bürger / Anlieger
 - Verzerrung der Märkte durch falsche politische Anreize / Vorgaben
 - Effizienz → Pelletofen statt Kaminofen, Wärmenutzung
- ⇒ Kenntnislücken: Forschung und Entwicklung

CO₂-Ziele sind erreichbar!



- Forschung und Entwicklung
 - Gründung des Zentrums für Erneuerbare Energien (ZEE) an der Universität Freiburg
Kooperationspartner: Öko-Institut; ISE Freiburg; FVA Baden-Württemberg; FH Offenburg
 - Einführung des Master-Studiengangs für erneuerbare Energien (Renewable Energy Management – REM)





Vielen Dank für Ihr Interesse!

Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker
Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft
Werthmannstraße 6
79085 Freiburg
Tel.: 0761/203-3764
E-Mail: institut@fobawi.uni-freiburg.de