

# TECHNOLOGIEANALYSE:

## Eine technische Überblicks-Analyse zu Energie aus Biomasse



Dieser Bericht wurde im Rahmen des folgenden Projektes erstellt:  
»Smart Energy – Network of Excellence, Nr. 5403«  
Interreg IV Programm Italien – Österreich 2007 – 2013

Mit EU-Mitteln kofinanziertes Projekt,  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Autoren:  
Gianfranco Pergher.  
Università degli Studi di Udine



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**

## **Inhalt**

1. Biomasse und Energie aus Biomasse.....	3
2. die Europäische Energiestrategie .....	5
3. Nachhaltigkeit von Bioenergie .....	7
3.1. Einleitung .....	7
3.2. Landnutzungsänderung und Kohlenstoffspeicherung im Boden .....	8
3.3. Konkurrenz zur Lebensmittelerzeugung .....	9
3.4. Treibhausgasemissionen und der Energieertrag (EROI).....	9
3.5. Treibhausgasemissionen und der Energieertrag (EROI).....	10
3.6. Treibhausgasemissionen und der Energieertrag (EROI).....	11
4. Vielversprechende Technologien.....	12
4.1. Kriterien für die Nachhaltigkeit von Biomasse.....	12
4.2. Biomasse für die Verbrennung und Wärmegewinnung .....	13
4.3. Biogas aus Landwirtschafts- und Siedlungsabfällen.....	14

## 1. BIOMASSE UND ENERGIE AUS BIOMASSE

*Biomasse* ist jedes organische Material pflanzlichen oder tierischen Ursprungs. Es gibt sie in vielen Formen und aus vielen Quellen. Dazu gehören Forstprodukte (Biomasse aus Holzeinschlag und forstwirtschaftlichen Maßnahmen, Verarbeitungsrückstände wie Sägemehl und Schwarzlauge usw.), landwirtschaftliche Erzeugnisse (Kulturpflanzen, Ernterückstände, Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung, Tiermist usw.) sowie Siedlungsabfälle und andere Rückstände (Abfallholz, Klärschlamm, organische Bestandteile von festem Siedlungsmüll usw.) (OECD/IEA Energy Technology Perspectives, 2010).

Biomasse ist eine erneuerbare Energiequelle, die in verschiedene Zwischenprodukte oder *Biobrennstoffe* umgewandelt werden kann, die wiederum für die energetische Nutzung in allen Bereichen, sei es in Form von Elektrizität und Wärme oder als Kraftstoff, zur Verfügung stehen. Die Einteilung der Biomasseenergie ist sehr komplex und hängt von der großen Vielfalt der Rohstoffe, Umwandlungspfade und Biobrennstoffe ab.

Bioenergieketten oder Bioenergiepfade bestehen aus einer Abfolge von Umwandlungsschritten, durch die ein Biomasserohstoff in ein Endenergieprodukt (Wärme, Elektrizität oder Biokraftstoff) umgewandelt wird. Aufgrund der Fülle an Biomasserohstoffen (Holz, Gras, Öl, Stärke, Fett usw.) und der großen Vielfalt an möglichen Endanwendungen gibt es zahlreiche potentielle Bioenergieketten. Verschiedene Umwandlungstechnologien wurden entwickelt, die sowohl den physischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Rohstoffe als auch der gewünschten Endenergieleistung (Wärme, Elektrizität, Kraftstoff) angepasst sind. Es gibt direkte Umwandlungspfade wie die Verbrennung von Waldholz zur Wärmeengewinnung, andere bedürfen mehrerer Vorbehandlungs-, Aufbereitungs- und Umwandlungsschritte, darunter die Herstellung flüssiger Brennstoffe für Verbrennungsmotoren.

Es können drei Hauptklassen der Umwandlungswege unterschieden werden:

- *thermochemische Umwandlung*, bei der ein chemischer Abbau der Biomasse durch hohe Temperaturen erfolgt. Die wichtigsten thermochemischen Umwandlungspfade sind Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse und das Dörren, die sich hauptsächlich durch die Prozesstemperaturen, die Aufheizgeschwindigkeit und die Menge des an der Reaktion beteiligten Sauerstoffs unterscheiden.

- *physicochemische Umwandlung* ist die Gewinnung flüssiger Brennstoffe (Biodiesel oder Pflanzenöl) aus Ölpflanzen (Raps, Soja, Jatropha usw.) durch Ölextraktion, auf die eventuell eine Umesterung oder Hydrierung folgt.

- *biologische Umwandlungspfade* nutzen lebende Mikroorganismen (Enzyme, Bakterien) zur Zersetzung der Rohstoffe, bei der sich flüssige und gasförmige Brennstoffe bilden. Es gibt zahlreiche biologische Umwandlungspfade. Zu den Hauptmechanismen gehören die Fermentation

Tabelle 1 – Endanwendungen von Biobrennstoffen.

		Biobrennstoffe			
		fest	flüssig	gasförmig	
				Biogas, Synthesegas	Biomethan
Wärme	Wärmeversorgung (Privathaushalte, Industrie)	++	-	+	o
	Prozesswärme (Industrie)	+	o(C)	+	o
mechanische Leistung	Motoren (Industrie)	-	+/++	-	-
	Motoren (Kraftfahrzeuge)	-	+/++	-	++
	Motoren (Flugzeuge)	-	++	-	-
Elektrizität		o(C)	o(C)	++	-

(++) bevorzugt; (+) gut geeignet; (o) einsetzbar; (-) nicht gut geeignet; (C) in KWK-Anlagen.

von Zucker (Zuckerrohr, Zuckerrüben usw.), Stärke (Mais, Weizen usw.) und lignozellulosehaltigen Rohstoffen (Gras, Holz usw.), die anaerobe Vergärung (vorwiegend Feuchtbiomasse) sowie die jüngeren bio-photochemischen Pfade (z.B. Wasserstoffherzeugung mit Hilfe von Algen), für die Sonnenlichteinstrahlung erforderlich ist.

Dies impliziert, dass mit der Wahl des geeigneten Umwandlungspfades aus fast jedem Biomasserohstoff nahezu jede Endanwendung (Wärme, Elektrizität, mechanische Leistung) erreicht werden kann. So entstand das Konzept der *Bioraffinerie*, die Verarbeitung von Biomasse aus einer beliebigen Quelle in marktfähige Produkte, einschließlich Lebensmitteln, Tierfutters, Chemikalien, Werkstoffen und Energie in Form von Brennstoffen, Strom und Wärme.

Der vorliegenden Untersuchung wird eine vereinfachte Aufgliederung zu Grunde gelegt:

- Energie aus Biomasse für die *Wärmegewinnung* (als Raumwärme in Gebäuden oder Prozesswärme in der Industrie), vorwiegend *feste Biobrennstoffe* (Holz oder Holzderivate mit oder ohne Vorbehandlung oder Aufbereitung) oder *Wärmerückgewinnung* aus anderen Prozessen, bspw. in Heizkraftwerken (KWK, Kraft-Wärme-Kopplung)

- Energie aus Biomasse für den *Transportsektor*, vorwiegend *flüssige oder gasförmige Biobrennstoffe*, einschließlich Biokraftstoffen der ersten Generation (Ethanol oder Biodiesel aus für den Verzehr geeigneten Nutzpflanzen) und der zweiten Generation (Ethanol oder Biodiesel aus nicht für den Verzehr geeigneten Nutzpflanzen, Synthetischer Diesel durch Holzpyrolyse, Biomethan durch Dampfreformierung)

- Energie aus Biomasse zur *Stromerzeugung*, hauptsächlich aus gasförmigen Biobrennstoffen einschließlich Biogas aus anaerober Vergärung, Synthesegas aus der Vergasung und Wasserstoff aus der Reformierung von Biogas/Synthesegas oder direkt von Algen produziert

## 2. DIE EUROPÄISCHE ENERGIESTRATEGIE

Der Ausbau regenerativer Energiequellen besitzt seit 1997 eine hohe Priorität in der politischen Strategie der Europäischen Union. Als Ziel legte der Europäische Rat damals bis zum Jahr 2010 einen Anteil regenerativer Energien von 12% am Bruttoinlandsverbrauch fest. Dies bedeutete eine Verdopplung des Anteils von 6% im Jahr 1997.

Um dieses Ziel zu erreichen, mussten alle Mitgliedsstaaten nationale Ziele festlegen und angemessene Fördersysteme aufbauen, um Anreize zu schaffen:

- für den Anteil regenerativer Energie am Elektrizitätsverbrauch (Richtlinie 2001/77/EG)
- für den Anteil der Biokraftstoffe an allen flüssigen Kraftstoffen im Transportbereich; Referenzziele (ausgehend vom Heizwert) waren 2% Marktanteil für Biokraftstoffe im Jahr 2005 und 5,75% Marktanteil im Jahr 2010 (Richtlinie 2003/30/EC)

Im Biomasse-Aktionsplan schlug 2005 als Ziel vor, die Energiegewinnung aus Biomasse von 69 Mt<sub>e</sub> im Jahr 2003 auf 150 Mt<sub>e</sub> im Jahr 2010 zu verdoppeln und legte ein breites Maßnahmenspektrum vor:

- Anreize für das Heizen mit Biomasse (sofern nicht in den obengenannten Richtlinien enthalten)
- Ausbau von F&E im Bereich neuer Technologien durch die Schaffung einer branchengeführten Plattform für Biobrennstofftechnologie mit Schwerpunkten auf dem Konzept der Bioraffinerie und Biobrennstoffen der zweiten Generation

Die Richtlinie 2009/28/EG setzte verbindliche Langzeitziele für das Jahr 2020 und fordere alle Mitgliedsstaaten auf, einen landesweiten Aktionsplan Erneuerbare Energien mit entsprechenden Maßnahmen zu entwickeln, um die Umsetzung der Ziele zu sichern. Die Ziele wurden von der EU für jeden Mitgliedsstaat so festgelegt, dass der Gesamtanteil an Energie aus regenerativen Quellen im Jahr 2020 EU-weit bei 20% liegt (von 6,8% im Jahr 2005). Die Gesamtziele für Italien und Österreich wurden auf 17% beziehungsweise 34% festgelegt (Zielstellung für den Anteil an Energie aus regenerativen Quellen am Bruttoendenergieverbrauch, 2020). Der damalige Anteil lag in Italien bei 5,2%, in Österreich bei 24,4% (Anteil an Energie aus regenerativen Quellen am Bruttoendenergieverbrauch, 2005).

*Tabelle 2 – Bruttoendenergieverbrauch in Italien und Ziele für den Anteil regenerativer Energiequellen im Jahr 2020.*

Jahr	2005 <sup>(1)</sup>			2020		
	Alle Quellen		RES	Alle Quellen		RES
	kt <sub>e</sub>	kt <sub>e</sub>	Anteil %	kt <sub>e</sub>	kt <sub>e</sub>	Anteil %
Heizung und Kühlung	68 501	1 916	2.8	61 185	10 456	17.1
Elektrizität	29 749	4 847	16.3	32 227	9 631	29.9
Verkehr	39 000	179	0.5	39 630	2 530	6.4
Gesamt	137 250	6 942	5.1	133 042	22 617	17.0
Verkehr (10%-Ziel) <sup>(2)</sup>				33 972	3 445	10.1

<sup>(1)</sup> Überarbeitung des NREAP Italiens bezogen auf Durchschnitt 2006-10 für Elektrizität und 2005-07 für andere Energiequellen.

<sup>(2)</sup> Luft- und Schiffsverkehr in Endverbrauch nicht inbegriffen; Beitrag von Elektrofahrzeugen und Brennstoffen der zweiten Generation um den Faktor 2,5 beziehungsweise 2.0 vervielfacht.

*Tabelle 3 – Bruttoendenergieverbrauch in Österreich und Ziele für den Anteil erneuerbarer Energiequellen im Jahr 2020.*

Jahr	2005			2020		
	Alle Quellen		RES	Alle Quellen		RES
	kt <sub>e</sub>	kt <sub>e</sub>	Anteil %	kt <sub>e</sub>	kt <sub>e</sub>	Anteil %
Heizung und Kühlung	13 206	3 213	24.3	12 802	4 179	32.6
Elektrizität	5 725	3 480	60.8	6 377	4 503	70.6
Verkehr	8 945	205	2.3	8 414	958	11.4
Gesamt	27 610	6 735	24.4	27 109	9 266	34.2

Gemäß Richtlinie 2009/28/EG haben sowohl Italien als auch Österreich im Jahr 2010 einen Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energie verabschiedet (Italien, Ministerium für wirtschaftliche Entwicklung, 2010; Österreich, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, 2010). Die Aktionspläne enthielten Prognosen und Ziele für den Anteil erneuerbarer Energiequellen in den drei Hauptbereichen Heizung und Kühlung, Elektrizitätserzeugung und Verkehr bis zum Jahr 2020 (Die Richtlinie 2009/28/EG setzte verbindliche Langzeitziele für das Jahr 2020 und fordere alle Mitgliedsstaaten auf, einen landesweiten Aktionsplan Erneuerbare Energien mit entsprechenden Maßnahmen zu entwickeln, um die Umsetzung der Ziele zu sichern. Die Ziele wurden von der EU für jeden Mitgliedsstaat so festgelegt, dass der Gesamtanteil an Energie aus regenerativen Quellen im Jahr 2020 EU-weit bei 20% liegt (von 6,8% im Jahr 2005). Die Gesamtziele für Italien und Österreich wurden auf 17% beziehungsweise 34% festgelegt (Zielstellung für den Anteil an Energie aus regenerativen Quellen am Bruttoendenergieverbrauch, 2020). Der damalige Anteil lag in Italien bei 5,2%, in Österreich bei 24,4% (Anteil an Energie aus regenerativen Quellen am Bruttoendenergieverbrauch, 2005).

, Italien; und <sup>(2)</sup> Luft- und Schiffsverkehr in Endverbrauch nicht inbegriffen; Beitrag von Elektrofahrzeugen und Brennstoffen der zweiten Generation um den Faktor 2,5 beziehungsweise 2.0 vervielfacht.

, Österreich). Sowohl Italien als auch Österreich sind derzeit in allen drei Bereichen vollständig konform mit den vorgezeichneten Zielen.

### 3. NACHHALTIGKEIT VON BIOENERGIE

#### 3.1. EINLEITUNG

Ende des ersten Jahrzehnts des neuen Jahrtausends wurden jedoch kritische Stimmen laut.

- Aufgrund der Konkurrenz um die Landnutzung könnten Biobrennstoffe einen Anstieg der Preise für Nahrungsrohstoffe auslösen, insbesondere da aufgrund der zunehmenden Entwicklung Chinas, Indiens und anderer Schwellenländer in naher Zukunft ein Anstieg der weltweiten Nachfrage nach Lebensmitteln erwartet wird.

- Es steht nicht ausreichend Biomasse zur Verfügung, um wesentlich zur Deckung des Energiebedarfs in Industrieländern beizutragen. Schätzungen der EU zufolge (EEA, 2006) vermag das Bioenergiepotenzial 2030 nicht mehr als 15–16% des zu erwartenden Primärenergiebedarfs zu decken.

- Gesetzlich festgelegte Ziele und Subventionierungen haben so zu einem Anstieg an Biomasseimporten geführt (Import von Biomasse anstatt fossiler Brennstoffe), was weder der Volkswirtschaft noch dem inländischen Agrarsektor wesentlich nutzte, oder gar die Nachhaltigkeitsproblematik in Entwicklungsländer exportiert.

- Die Umwandlung der Biomasse in Energie ist wenig effizient, insbesondere bei der Herstellung von Biobrennstoffen ist eine hohe Energiezufuhr aus fossilen Ressourcen erforderlich. Eine Folge hieraus ist eine sehr viel geringere Einsparung an Treibhausgasen als ursprünglich angenommen (für die meisten Biobrennstoffe erster Generation sogar unter 16%).

- Die Umwandlung von Grünland einschließlich Wäldern und aufgegebenen Flächen für die Erzeugung von Rohstoffen für Biobrennstoffe könnte einen Großteil des im Boden und in den Pflanzen angereicherten Kohlenstoffs zerstören und so zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen führen.

- Durch Düngemiteleinsetz steigert der Anbau von Nutzpflanzen für die Energiegewinnung die Treibhausgasemissionen (N<sub>2</sub>O).

- Rückstände aus der Land- und Forstwirtschaft können nicht vollständig für die Energiegewinnung genutzt werden, da sie für eine hohe Speicherung organischen Kohlenstoffs in den Böden unerlässlich sind.

Viele dieser Einwände fanden Berücksichtigung in der Richtlinie 2009/28/EG, in der man sich durchaus höhere Ziele setzt:

- stufenweiser, nahezu vollständiger Ausstieg aus der Nutzung von Biobrennstoffen der ersten Generation nach 2018

- Anschließend nahezu ausschließliche Nutzung von Biobrennstoffen zweiter Generation (Ethanol aus Lignozellulose, FT-Diesel), die gegenüber fossilen Brennstoffen zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch alles andere als kosteneffizient sind.

Zudem haben die rasche Entwicklung der Windenergienutzung und neue Technologien im Bereich des energiesparenden Bauens die relative Bedeutung der (ohnedies wenig effizienten und an geringer Rohstoffverfügbarkeit leidenden) Stromgewinnung aus Biomasse und selbst des Heizens mit Biomasse (das durch Isolierung, Passivhaustechniken und Wärmepumpen ersetzt werden kann) verringert.

### **3.2. LANDNUTZUNGSÄNDERUNG UND KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IM BODEN**

Als regenerative Energiequelle hat Biomasse das Potential, wesentlich zu den Zielen der europäischen Energie- und Klimaschutzpolitik beizutragen.

Die Energie aus Biomasse ist regenerativ, da sie sich aus der Sonnenenergie speist, die anhand von Photosynthese aufgenommen und dauerhaft im Gewebe von Pflanzen und Tieren gespeichert wird. Die Internationale Energieagentur definiert „erneuerbare Energie“ als „Energie aus natürlichen Prozessen ... die schneller aufgefüllt als verbraucht werden“<sup>1</sup>. Anders als Wind- und Sonnenenergie kann Biomasse jedoch durchaus schneller konsumiert werden, als sie erneuert werden kann. Einige Beispiele:

- Die Umwandlung von Grünland einschließlich Wäldern und aufgegebenen Flächen für die Erzeugung von Rohstoffen für Biobrennstoffe könnte einen Großteil des Kohlenstoffs zerstören, der im Boden sowie in Pflanzen angereichert ist, deren Nachwachsen Jahre dauern kann.

- Das Entfernen von Landwirtschafts- und Forstrückständen kann die Akkumulation organischen Kohlenstoffs im Boden und somit die Bodenfruchtbarkeit verringern.

Es wird deutlich, dass jede massive Zerstörung von Biomasse weder nachhaltig noch Treibhausneutral ist (tatsächlich kommt es zu einer enormen Freisetzung von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen).

---

<sup>1</sup> <http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/> (Stand: 21.10.2013).



### **3.3. KONKURRENZ ZUR LEBENSMITTELERZEUGUNG**

Ein weiterer Unterschied ist, dass auch Nahrung, Futter und Werkstoffe, beispielsweise Holz für den Häuser- und Möbelbau, Teil der Biomasse sind. Die Herstellung von Biomasse zur Energiegewinnung könnte den Wettbewerb um die Landnutzung oder andere Produktionskomponenten wie Düngemittel oder Wasser verstärken und so zu einem Anstieg der Marktpreise und/oder zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit von Lebensmitteln, Tierfutter und nicht für den Verzehr vorgesehenen biomassebasierten Produkten führen.

Schließlich kann die Umnutzung von Grünland für die Herstellung von Bioenergie einen Verlust der natürlichen Ressourcen wie Ökosysteme, Biodiversität und Lebensformen bedeuten oder aber Umweltrisiken im Zusammenhang mit Bodenerosion, der Regelung des natürlichen Laufes von Fließgewässern, Bränden und ähnlichem provozieren.

Dies setzt voraus, dass Biomasse nur in begrenztem Umfang als erneuerbare Energiequelle erachtet werden kann. Berücksichtigt werden darf in diesem Kontext lediglich die Nettoproduktion nach Abzug des gesamten für den Lebensmittel- und Non-Food-Bereich wesentlichen Biomasseanteils sowie nach Ausschluss aller Anbaugebiete, die erhöhten Umweltrisiken ausgesetzt sind.

Alls dies bedeutet, dass jegliches Potential zur Erzeugung von Bioenergie auf Länder beschränkt ist, in denen ein Übermaß an land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden (z.B. mit erheblichem Exportvolumen an Lebensmitteln) und/oder große, ungenutzte Landflächen mit geringem oder gar keinem Wert als Naturreservat zur Verfügung stehen.

### **3.4. TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND DER ENERGIEERTRAG (EROI)**

Im Hinblick auf den weltweiten Klimawandel ist Biomasse potentiell eine „saubere“ Energiequelle. Sämtliche CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Biomasseverbrennung werden dadurch ausgeglichen, dass zuvor dieselbe Menge CO<sub>2</sub> von Pflanzen bei der Photosynthese absorbiert wurde, so dass die Nettobilanz potentiell CO<sub>2</sub>-neutral ist. Doch sowohl bei der Erzeugung von Biomasse als auch bei der Umwandlung der Rohstoffe in Energie (abhängig vom Umwandlungspfad und der genutzten Technologie) muss immer eine bestimmte Menge Energie zugeführt werden.

Das Verhältnis zwischen Energieaufwand und Energieleistung hat die Bezeichnung „Energieverhältnis“ oder „Energieertrag“ erhalten (EROI, Energy Return of Investments). Es ist ein Indikator für den Leistungsgrad bei der Energieproduktion aus Biomasse. Erfolgt die Energiezufuhr aus fossilen Brennstoffen, wird die potentielle Verringerung der Treibhausgasemissionen abgeschwächt. Beispielsweise bedeutet ein Energieertragswert von 1,25 (also 5:4), wie er für Bioethanol aus Mais typisch ist (mit 100% fossiler Energiezufuhr), eine potentielle Verringerung der Treibhausgasemissionen um lediglich 20% (also 1 - 4/5) im Verhältnis zur Kombination fossiler Energieträger, die für die Energiezufuhr genutzt wurden.

### 3.5. TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND DER ENERGIEERTRAG (EROI)

vergleicht die Energieerträge verschiedener Brennstoff- und Stromquellen einschließlich eines Großteils der Biobrennstoffe.

Es wird deutlich, dass Bioenergie allgemein einen sehr viel geringeren Energieertrag aufweist, als Wasserkraft (EROI = 100), Windkraft (EROI = 18), Solarenergie (EROI = 7) und selbst Kernenergie (EROI = 10-20). Für Kernkraft finden sich in der Literatur EROI-Schätzungen von 1 bis hinauf zu 50 (Hall et al., 2008). Problematisch an diesen Schätzungen ist die noch wenig ausgebaute Datenbasis für Rückbaukosten und die Beseitigung von Schäden aus

*Tabelle 4 - Energieertrag (EROI, Energiezufuhr nur aus fossilen Energiequellen) und Flächeneffizienz (Jahresmittel)(e) verschiedener Brennstoff- und Stromquellen (nach GNAS, 2012).*

	EROI	Flächeneffizienz (W m <sup>-2</sup> )
Feuerholz	10 (a)	
Bioethanol aus Mais (USA)	1,5 (a)	< 0,3
Bioethanol aus Zuckerrüben	3,5 (a)	< 0,4
Bioethanol aus Rohrzucker (Brasilien)	8 (a)(b)	< 0,5
Bioethanol aus Triticale/Mais (kombinierte Produktion) (b)	8 (a)	< 0,3
Bioethanol (a), Methan (a) und Elektrizität aus Lignozellulose (b)	3	< 0,5
Bioethanol aus Rutenhirse (USA)	5,4	< 0,2
Bio-Butanol	< 1 (a)	
Biodiesel aus Raps	< 2 (a)	< 0,2
Biodiesel aus Algen (h)	< 1 (a)	
Biogas aus Maissilage (Elektrizität)	1,4	< 0,4
Biogas aus Maissilage	4,8 (a)	< 1,1
Biogas aus Gülle und Ernterückständen	6,3 (a)	
Photovoltaik (Europa) (Elektrizität)	7	> 5
Windturbinen (Europa) (Elektrizität)	18	2-3 (c)
Kernkraft (Elektrizität)	10-20 (b)	
Wasserkraft (Elektrizität)	100 (e)	

(a) Verbrennungsenergie

(b) Siehe Anmerkung im Text

(c) Onshore-Windparks, die Fläche zwischen den Turbinen kann für landwirtschaftliche oder andere Zwecke genutzt werden

(e) Durchschnittliche Leistung an 365 Tagen und 24 Stunden pro Tag

(h) Curtiss und Kreider (2009)

Umweltkatastrophen.

Eine bekannte Ausnahme ist Bioethanol aus Zuckerrohr (Brasilien). Der hohe Energieertragswert (= 8) wird hier jedoch nur erreicht, wenn Bagasse (die Rückstände nachdem das Zuckerrohr zur Gewinnung des Zuckersaftes ausgepresst wurde) als Hauptenergieträger für die Destillation verwendet wird, was jedoch aufgrund des Verlusts an Kohlenstoff im Boden nicht nachhaltig ist (Martinelli und Filoso, 2008).

Beispiele für Umwandlungspfade von Biobrennstoffen mit hohem EROI-Potential wurden vorgeschlagen. Sie nutzen Wärme- und Stromerzeugung aus Biogas für die Destillation von Bio-Ethanol:

- Bio-Ethanol der ersten Generation aus Triticale + Mais; Maissilage, ein Teil des Triticalestrohs und sämtliche Destillationsrückstände werden in einer Biogasanlage zur Herstellung von Elektrizität und Wärme für die Destillation von Bioethanol aus Triticalekorn genutzt (Senn et al., 2010).

- Bioethanol, Methan und Elektrizität können, unter Beimischung gemahlener Maiskörner zur Konzentrierung des Breis und zur Verringerung der Energiezufuhr für die Destillation, aus Maissilage hergestellt werden; Elektrizität und Wärme werden in einer Biogasanlage produziert (Fleischer et al., 2010).

### **3.6. TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND DER ENERGIEERTRAG (EROI)**

zeigt jedoch, dass die zwei besten Bioenergiepfade hinsichtlich des Energieertrags folgende sind:

- Holz oder holzbasierte Produkte wie Pellets oder Aggregate für die Verbrennung und Wärmeerzeugung (EROI = 10)

- Biogas aus Abfällen (z.B. Gülle, Ernterückstände) für Elektrizität und Wärme (EROI = 6,3).

Die jeweilige Verringerung der Treibhausgasemissionen lag bei 90% für die Holzverbrennung und 84% für Biogas aus Abfällen. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die Nachhaltigkeit der Biogaserzeugung stark von den Rohstoffen und der vorgesehenen Endanwendung abhängt. Biogas aus Maissilage hat einen eher geringen Energieertragswert von 4,8. Dieser sinkt kann bis auf 1,4 absinken, wenn die erzeugte Hitze nicht in einem KWK-Prozess weitergenutzt wird.

## 4. VIELVERSPRECHENDE TECHNOLOGIEN

### 4.1. KRITERIEN FÜR DIE NACHHALTIGKEIT VON BIOMASSE

Ausgehend von den zuvor angestellten Betrachtungen sollte die Förderung von Bioenergie auf die Formen beschränkt werden, die

- (a) die Nahrungsmittelverfügbarkeit nicht aufgrund der Konkurrenz um begrenzte Ressourcen wie Land oder Wasser einschränken oder zu einem Anstieg der Nahrungsmittelpreise führen
- (b) keine weitgehend nachteiligen Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität haben
- (c) eine deutlich (> 60 bis 70 Prozent) bessere Treibhausgasbilanz aufweisen als die Energieträger, die sie ersetzen.

Diese Anforderungen wie auch alle möglichen Alternativen müssen für die verschiedenen Technologien zur Energiegewinnung aus Biomasse gründlich geprüft werden, z.B.: holzbasierte Biomasse, die lediglich für die Wärmeerzeugung oder aber für KWK-Anwendungen genutzt wird; individuelle private Heizsysteme gegenüber Fernwärmesystemen; kleine gegenüber großen Systemen. Dies wird im Anschluss an diese Technische Analyse in einzelnen, gezielten Studien untersucht werden.

Das wertvolle Potential, das Ökosysteme der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen, wird in jedem Falle zu berücksichtigen sein. All diese Elemente müssen gegeneinander abgewogen werden, wenn Biomasse oder Biomasseprodukte zur Erzeugung von Bioenergie importiert werden. Eine kombinierte Optimierung der Lebensmittel- und Bioenergieproduktion beispielsweise durch die Verwendung von Gülle zur Biogasherstellung oder die Energiegewinnung aus organischen Abfällen oder landwirtschaftlichen Rückständen versprechen eine umfangreiche Biomasseproduktion.

Bei der Energieerzeugung aus landwirtschaftlichen Rückständen müssen für eine Beurteilung nachhaltiger Entnahmemengen die Auswirkungen von deren Entfernen auf die Fruchtbarkeit des Bodens berücksichtigt werden. Gegenwärtig verlieren die Böden der Anbauflächen in Europa zu viel Kohlenstoff. Um Nachhaltigkeit zu erreichen, ist es also wichtig, dass zukünftig wieder mehr Rückstände in den Boden gepflügt werden.

Bleibt zu sagen, dass bei einer Beurteilung der Treibhausgasemissionen während der Produktion von Bioenergie sämtliche Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) aus dem Düngemiteleinsatz, aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe während der Herstellung und Umwandlung der Biomasse sowie aus dem Arbeitseinsatz für den Betrieb einzeln untersucht und berücksichtigt werden müssen. Auch die Auswirkungen direkter und indirekter Änderungen in der Landnutzung auf die Treibhausbilanz, die Funktion von Ökosystemen und die Biodiversität müssen bedacht werden.

## 4.2. BIOMASSE FÜR DIE VERBRENNUNG UND WÄRMEGEWINNUNG

EU-Prognosen zufolge wird Biomasse im Jahr 2020 mit 81% noch einen wesentlichen Anteil an der Gesamtmenge der für Heizung und Kühlung verwendeten erneuerbaren Energiequellen (~90 Mt<sub>e</sub>) haben. Feste Biomasse wird daran einen Anteil von 81,0 Mt<sub>e</sub> haben. Man nimmt an, dass kleine Verbrennungsanlagen mit sehr geringen Emissionen für kommerzielle Anwendungen zur Verfügung stehen werden. Die hocheffiziente Wärme- und Stromerzeugung durch thermochemische Umwandlung sollte den Markt ebenfalls bis 2020 durchdringen.

Auf regionaler Ebene sind die Ziele für Friaul-Julisch Venetien mit einer geplanten Steigerung um 193 kt<sub>e</sub> bis zum Jahr 2020 (entsprechend +536% gegenüber 2005) eine besondere Herausforderung im Wärme-Kälte-Sektor. Die Nutzung holzbasierter Biomasse aus der Forstwirtschaft zur Verbrennung hat folgende Vorteile:

- (a) sie greift die Lebensmittelverfügbarkeit nicht an
- (b) sie hat keine weitgehend nachteiligen Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität
- (c) sie hat eine deutlich bessere Treibhausgasbilanz (rund 90% weniger Emissionen) als die Energieträger (Öl und Erdgas), die sie ersetzt; dies spiegelt sich in einem hohen Energieertragswert von rund 10

Folgende Schwierigkeiten sollten jedoch bedacht werden:

- (a) Energie aus Biomasse kann um die Verfügbarkeit von Holz konkurrieren, das für den Haus- und Möbelbau genutzt werden könnte; dies kann aufgrund der Konkurrenz um begrenzte Ressourcen wie Waldgebiete durchaus zu Preiserhöhungen für die entsprechenden Güter führen
- (b) eine steigende Holzversorgung aus regionalen Wäldern kann sich nachteilig auf Ökosysteme und Biodiversität auswirken und sollte sorgfältig bewertet werden; verglichen mit der potentiellen jährlichen Produktion der Wälder kann dies auch die nachhaltige Versorgung mit holzbasierter Biomasse verringern
- (c) eine Steigerung der Holzverbrennung kann insbesondere durch einen Anstieg gasförmiger Emissionen wie Feinstaub, Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) die Luftqualität beeinträchtigen
- (d) die sehr gute Treibhausbilanz (90% Verringerung) und der Energieertragswert (rund 10) sind nur dann gewährleistet, wenn holzbasierte Biomasse für die Verbrennung, z.B. Raumwärme in Gebäuden, genutzt wird; Treibhausbilanzen und Energieerträge sollten sorgfältig bewertet und ausgewertet werden; zu berücksichtigen ist hierbei die Art der Verbrennungsanlage (kleine Privathaushalte ggü. großen Fernwärmesystemen) und die Art der produzierten Energie (nur Wärmegewinnung ggü. KWK).

Andererseits kann die angestrebte Verringerung des Verbrauchs für Heizung und Kühlung auch durch die Nutzung energiesparender Technologien im Bausektor, insbesondere Isolierung, Wärmepumpen und Wärmespeicher, erreicht werden. Eine Kombination aus Wärmeproduktion auf Ebene der Privathaushalte (Biomasseöfen und-kessel) und im Haus verbauten Energiesparkomponenten kann selbst bei begrenzter Verfügbarkeit von Biomasse zum Erreichen der obengenannten regionalen Ziele beitragen. Grund dafür ist entweder die Konkurrenz verschiedener Wirtschaftszweige (Energie, Holzindustrie) um denselben Rohstoff oder die ökologischen Grenzen beim Einsatz der Biomasseressource.

Ausgehend von den oben angestellten Betrachtungen sind die vielversprechendsten Technologien für die Verbrennung von Biomasse

- Technologien, die die land- und forstwirtschaftliche Praxis verbessern, sie effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten können; ein Schwerpunkt liegt dabei auf einer Verbesserung der Logistik in der Biomasseversorgung mit Ernterückständen und weiteren ungenutzten Biomasseressourcen

- die Entwicklung kosteneffizienter, hochwertiger und energiereicher Brennstoffe aus verschiedenen Biomassequellen, z.B. durch Vorbehandlung (Biokohle), Mischen, Verdichtung usw.

- Technologien, die den Wirkungsgrad des gesamten Systems verbessern und Emissionen (z.B. Feinstaubemissionen) aus sehr kleinen bis hin zu großen Öfen, Kesseln und KWK-Anlagen verringern.

### **4.3. BIOGAS AUS LANDWIRTSCHAFTS- UND SIEDLUNGSABFÄLLEN**

Ausgehend von den Aktionsplänen Erneuerbare Energien wird erwartet, dass die installierte Kapazität der Bioelektrizität in den 27 EU-Mitgliedsstaaten im Jahr 2020 über 43 GW beträgt. Davon 30 GW aus Anlagen zur Verwertung fester Biomasse, 11 GW aus Biogasanlagen und 2 GW aus Anlagen für flüssige Brennstoffe.

Biomethan aus Biomasse kann ein zunehmend wichtiger Ersatz für Erdgas werden. Sofern Biomethan so aufbereitet und konditioniert wird, dass die Anforderungen an eine Einspeisung in öffentliche Erdgasnetze erfüllt sind, kann es in beliebigem Verhältnis mit Erdgas gemischt werden, so dass doppelte Aufwendungen in ein paralleles Netz zur Biomethanverteilung vermieden werden.

Eine verbesserte Biogas- und Biomethanproduktion kann zum Erreichen der regionalen Ziele für die Region Friaul-Julisch Venetien bei der Elektrizitätsversorgung beitragen. Das für 2020 angestrebte Ziel liegt hier bei 64 kt<sub>e</sub>, was einem Zuwachs von 43% der gesamten Stromversorgung entspricht.

Vorteile der Stromgewinnung aus Biogas:

(a) die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln wird nicht angegriffen, wenn das Biogas aus tierischen, landwirtschaftlichen, industriellen und Lebensmittelabfällen hergestellt wird; andererseits kann die Nutzung von Nahrungsmittel- oder Tierfutterpflanzen (z.B. Maissilage) aufgrund der Konkurrenz um begrenzte Anbauflächen zu Preiserhöhungen für Lebensmittel führen und sollte vermieden werden

(b) unter denselben Bedingungen wie oben keine wesentlichen Nachteile für Ökosysteme und Biodiversität; zudem kann der während des letzten Gärabschnitt entstehende Gärsaft ohne Risiken und ohne Nachteile für Ernte und Tiere als organischer Dünger genutzt werden, mit dem zusätzlichen Ergebnis dass die Kohlenstoffkonzentration im Boden erhalten bleibt

(c) eine deutlich bessere Treibhausgasbilanz (rund 80% weniger Emissionen) als die Energieträger, die sie ersetzt (Öl und Erdgas); dies spiegelt sich in einem hohen Energieertragswert von rund 4,8; dies trifft jedoch nur dann zu, wenn 100% der entstehenden Wärme weiterverwendet wird (ausschließlich für die Wärmegewinnung, EROI rund 1,4, Verringerung der Treibhausgasemissionen liegt bei unter 30%).

Ausgehend von den oben angestellten Betrachtungen sind die vielversprechendsten Technologien solche, die

- ausschließlich unter Einsatz von Rückständen (Tierabfälle, Ernterückstände, die nicht als Tierfutter verwendet werden, Lebensmittelabfälle usw.) eine hohe Biogasausbeute ermöglichen
- garantieren, dass die gesamte bei der Elektrizitätsgewinnung entstehende Wärme als Raum- oder Prozesswärme (in der Industrie) weiterverwendet wird
- einen sehr stabilen Gärrest erzeugen, der auf die behandelten Pflanzen (z.B. Tierfutter) oder die Tiere keine nachteiligen Auswirkungen aufgrund des Restgehaltes an Bakterien hat
- zudem sollte die Menge des als Dünger ausgebrachten Gärrests den Erhalt oder die Erhöhung der Kohlenstoffkonzentration in landwirtschaftlich genutzten Böden garantieren
- die Sicherheit der Anlagen verbessern, also Explosionsrisiken und ähnliche Gefahren vermeiden
- die Produktion und Verteilung von Biomethan im Kostenwettbewerb mit den vorhandenen fossilen Alternativen gleichzustellen vermag.