

Thermo-chemische Konversion und ihr Beitrag zur energetischen Grundversorgung

Rudolf Hammer

TGM – Staatliche Versuchs- und Prüfanstalt für Kunststoff- und Umwelttechnik, 1200 Wien, Wexstraße 19-23, +43 (1) 33126-140/, rudolf.hammer@tgm.ac.at, www.kunststoff.ac.at

Die Neuausrichtung der Energiepolitik steht unter dem Zwang folgender Fakten:

1. Die fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas werden voraussichtlich ab etwa 2050 wirtschaftlich vertretbar nicht mehr zur Verfügung stehen.
2. Die weltweite Konkurrenz um die schwindenden Ressourcen verschärft die Abhängigkeitskonflikte.

Nachwachsende Rohstoffe enthalten ebenso wie die fossilen Energieträger chemisch gebundene Energie, die einer thermo-chemischen Konversion zugänglich ist. Biomasse bietet eine große Input- und Produktdiversität. Zwecks Nutzung dieses Potenzials, wurden bereits bekannte thermische Verfahren adaptiert, zum Teil auch neu konzipiert, und stehen nunmehr vor dem kommerziellen Durchbruch. Aktuell wird die thermische Vergasung von lignocellulosehaltiger Biomasse in Pilot- und auch bereits kommerziellen Anlagen realisiert.

Die thermische Vergasung soll in einem weiteren Entwicklungsschritt für alle kohlenstoffhaltigen Materialien z.B. Kunststoffe erschlossen und um den Konversionsschritt des Fischer-Tropsch-Verfahrens erweitert werden. Damit wird die Bereitstellung von BTL-Kraftstoffen der 2. Generation in großem Umfang ebenso möglich, wie eine Vielzahl von Produkten für die chemische Grundstoffindustrie.

Die Bereitstellung von Biomasse erfolgt durch eine nachhaltige Forstwirtschaft und landwirtschaftliche Nutzung von Kurzumtriebsplantagen (KUP). In weiterer Folge wird auch die Abfallwirtschaft als weitere Ressource implementiert, Verbrennung und Pyrolyse werden als eigenständige Konversionspfade durch die thermische Vergasung ersetzt.

Keywords: Nachwachsende Rohstoffe, lignocellulosehaltige Biomasse, Input- und Produktdiversität, thermische Vergasung, Fischer-Tropsch-Verfahren, BTL-Kraftstoffe der 2. Generation, Kurzumtriebsplantagen (KUP)

1 Energiewirtschaftliche Aspekte

1.1 Bevölkerungswachstum und Energiebedarf

Die Neuausrichtung der Energiepolitik steht unter dem Zwang folgender Fakten:

1. Die fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas werden voraussichtlich ab etwa 2050 wirtschaftlich vertretbar nicht mehr zur Verfügung stehen.
2. Die weltweite Konkurrenz um die schwindenden Ressourcen verschärft die Abhängigkeitskonflikte.

Vor diesem Hintergrund steht zudem eine progressive Entwicklung der Weltbevölkerung. Der Rückgang der Sterberate in den Entwicklungsländern und die steigende Lebenserwartung haben dazu geführt, dass derzeit insgesamt über 6 Mrd. Menschen auf unserer Erde leben. Nach Prognosen der UNO wird dieser Trend anhalten und die Weltbevölkerung bis 2050 auf 7,3 bis 10,7 Mrd. ansteigen. Nahezu der gesamte prognostizierte Bevölkerungszuwachs wird in den Entwicklungsländern in Asien, Südamerika oder Afrika erfolgen, etwa ein Drittel des Bevölkerungszuwachses wird in China und Indien zu verzeichnen sein. Dagegen wird der Anteil der OECD-Länder an der Weltbevölkerung abnehmen.

Eine unmittelbare Konsequenz daraus ist, dass der weltweite Primärenergiebedarf stetig zunimmt, vor allem aus Gründen der Angleichung der zurzeit noch sehr unterschiedlich ausgeprägten Lebensstandards der Menschen in den Industrie- und Entwicklungsländern. Der Pro-Kopf-Verbrauch eines Europäers ist aktuell etwa vier bis fünf Mal so hoch wie der eines Inders oder Chinesen. Insgesamt verbrauchen derzeit ca. 20 % der Weltbevölkerung in den Industrieländern etwa 70 % der Primärenergieträger. **Abbildung 1** zeigt die Entwicklung des Primärenergiebedarfs der Industriestaaten im direkten Vergleich mit den Schwellenländern China, Indien und den Entwicklungsländern in Mio.t, **Abbildung 2** den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wachstum der Weltbevölkerung.

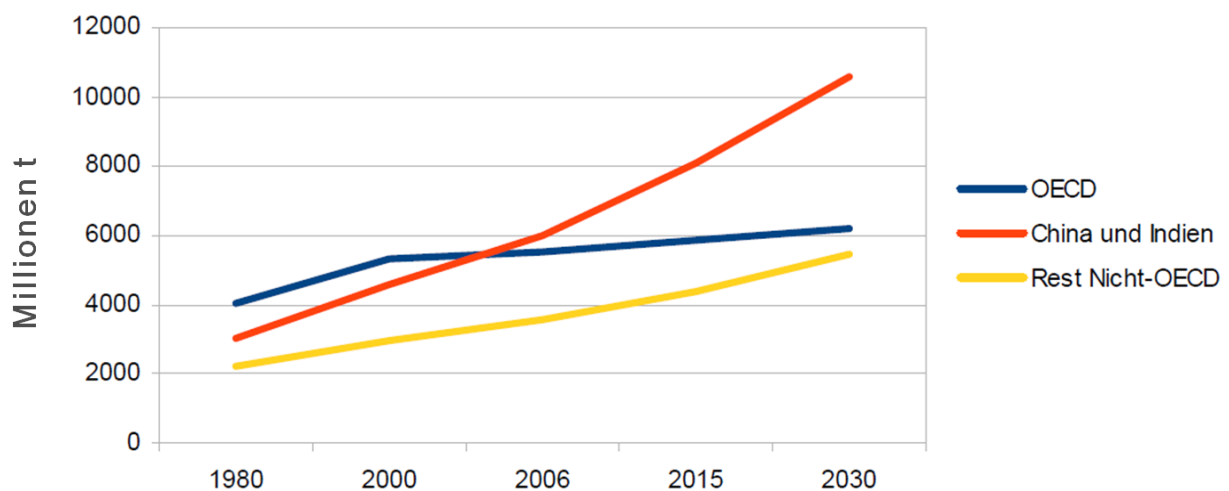


Abb. 1: Primärenergieverbrauch der OECD-Staaten im Vergleich mit China, Indien und Nicht-OECD-Staaten (Entwicklungsländer)

Entwicklung von Weltbevölkerung, Primärenergie- und Stromverbrauch

(Stand: 2008)

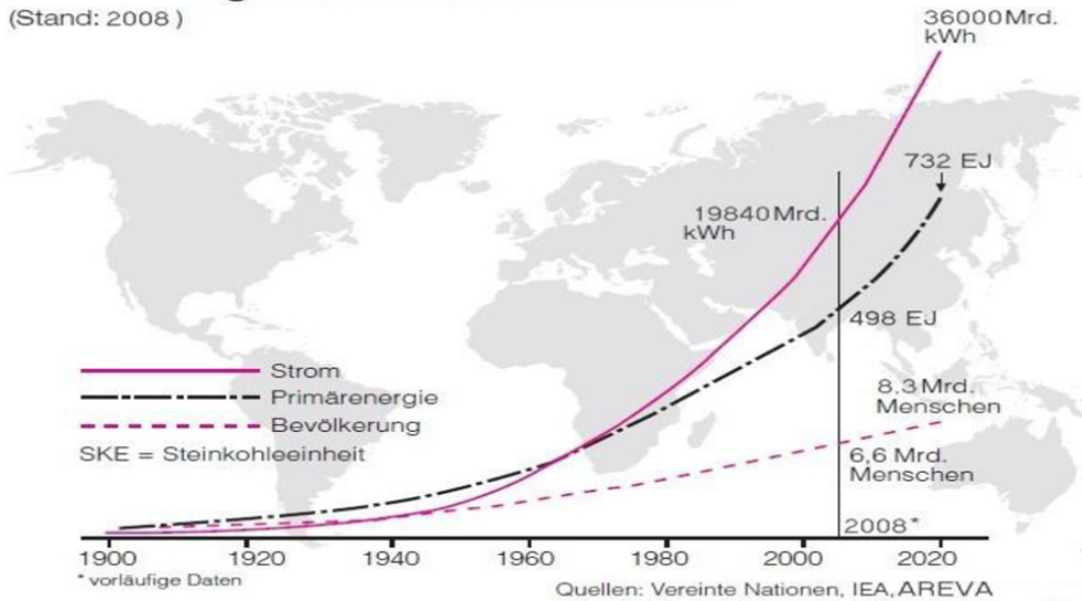


Abb. 2: Korrelation zwischen Bevölkerungswachstum und Primärenergieverbrauch

Tabelle 1 veranschaulicht die Zunahme des weltweiten Bedarfes an Primärenergie im dargestellten Vergleichszeitraum von 1990 bis 2008 um 39 %. Prognosen gehen davon aus, dass der weltweite Primärenergiebedarf von 512 Exajoule (EJ) oder 142.300 TWh (2008) bis 2030 auf 160.500 TWh und bis 2060 auf 321.000 TWh steigen wird.^[1] Hauptgrund ist die Angleichung des Lebensstandards in den aufstrebenden Entwicklungs- und Schwellenländern – allen voran China und Indien – an den Lebensstandard der westlichen Industrienationen.

Energiebedarf nach Region (kWh pro Kopf) und Zunahme 1990-2008

	kWh/Kopf			Bedarf (1.000 TWh)		
	1990	2008	Zunahme	1990	2008	Zunahme
USA	89.021	87.216	-2%	22,3	26,6	20%
EU-27	40.240	40.821	1%	19	20,4	7%
China	8.839	18.608	111%	10,1	24,8	146%
Indien	4.419	6.280	42%	3,8	7,2	91%
Welt	19.422	21.283	10%	102,3	142,3	39%

Quelle: IEA/OECD, Bevölkerung OECD/World Bank

Tab. 1 Energiebedarf ausgewählter Regionen und weltweit

Die Deckung dieses Primärenergiebedarfes erfolgt immer noch zu 85 % mit fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle. Nach Einschätzung des *Copenhagen Consensus Centers* wird der Bedarf an fossilen Energieträgern, ungeachtet der derzeitigen Bemühungen der Klimapolitik, in den kommenden Jahrzehnten noch steigen.^[2]

1.2 Reichweite der Ressourcen

Die Reichweite der fossilen Ressourcen wird in der Literatur unterschiedlich bewertet, wobei die den Ergebnissen und Aussagen zugrundeliegenden Randbedingungen häufig unklar bleiben. Diese sind aber für die Vergleichbarkeit prognostischer Kalkulation unerlässlich.

Die Kalkulation der Reichweite der Ressourcen hängt von folgenden Randbedingungen ab:

- Bekannte Vorkommen
- Wirtschaftlichkeit
- Stand der Technik
- Umweltverträglichkeit
- Wirtschaftswachstum
- Entwicklung der Weltbevölkerung

Eine nach diesen Kriterien errechnete Ressourcenreichweite ist in **Abbildung 3** nachfolgend dargestellt.

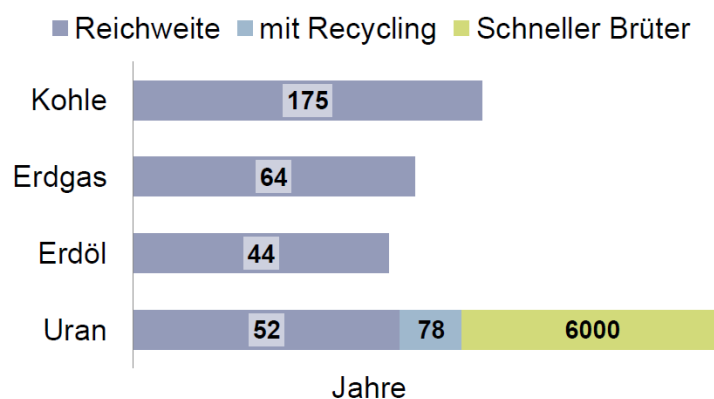


Abb. 3: Reichweite der Ressourcen

1.3 Energiestrategische Konsequenzen für Europa

Sollten sich diese Prognosen bestätigen, so wird in naher Zukunft mit einem verstärkten Verteilungskampf um diese Reserven, sowie mit bedeutsamen Preiserhöhungen zu rechnen sein – Energie wird nur mehr für einen elitären Kreis leistbar, was mit sozialen Unruhen und dem Zusammenbruch unserer zivilisatorischen Stabilität einhergehen wird. Obwohl diese energiewirtschaftlichen Zusammenhänge als weniger greifbar und eher fern scheinen, werden diese erschütternde Auswirkungen auf Europa und die ganze Welt haben. Die weltweite Verteilung der Reserven an Erdöl und Erdgas konzentriert sich besonders in einer sogenannten „Strategischen Ellipse“, in welcher etwa 71 % der Erdölreserven und 69 % der Erdgasreserven vorhanden sind. Allerdings befinden sich diese Reserven dort hauptsächlich in der Hand von Ländern mit zum Teil politisch unsicheren Gegebenheiten (**Abbildung 4**), sodass die Energieversorgung Europas gefährdet erscheint.

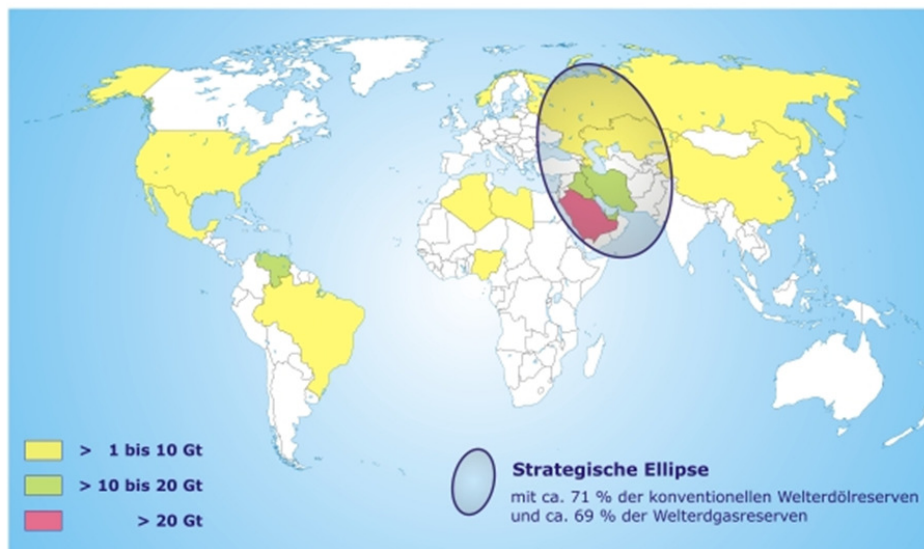


Abb. 4: Die „Strategische Ellipse umfasst Russland, Eurasien, den Nahen und Mittleren Osten

Die Strategische Ellipse bezeichnet ein gedachtes Gebiet in Ellipsenform, welches sich vom Nahen Osten über den Kaukasus bis in den Norden Russlands erstreckt. Große Bedeutung hat dieser Teil der Erde, weil in ihm mehr als zwei Drittel der gesamten Erdgas- und Erdölvorräte vorkommen. Zur Strategischen Ellipse gehören acht Länder:

- Russland
- Iran
- Irak
- Kasachstan
- Katar
- Kuwait
- Saudi-Arabien
- Vereinigte Arabische Emirate

Die größten Energie-Vorräte liegen dabei im Iran und Russland. Deutlich zu sehen ist anhand der Karte, dass die größten Teile der Region politisch nicht zu den ruhigen Teilen der Welt gehören. Doch beunruhigend ist aus Sicht der Europäischen Union noch ein weiterer wichtiger Aspekt: so ist der Blick auf die Strategische Ellipse immer durch westliche Sichtweise geprägt. Über Pipeline- und Lieferverträge versuchen die EU-Staaten die Erdöl- und Erdgasreserven in diesen Ländern für sich zu sichern. Doch im Osten der Ellipse liegen mit Indien und China zwei aufstrebende Wirtschaftsmächte, die ebenfalls diese Reserven für sich in Anspruch nehmen.

Die Energiepolitik weltweit und in Europa steht aber noch vor einer weiteren Herausforderung, nämlich Nutzenergiebereitstellung und Erfordernisse des Umweltschutzes zur Deckung zu bringen. Damit stellt sich insgesamt die Frage nach geeigneten Möglichkeiten fossiler Substitution.

2 Energietechnische Aspekte

2.1 Eigenschaften fossil-substituierender Energieträger

Welche Alternativen zur Substitution fossiler Energieträger gibt es denn überhaupt? Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich zunächst aus den grundlegenden Kriterien für einen Energieträger. Diese sind

- Transport- und Lagerfähigkeit
- Energie in gebundener Form (= Energiespeicher)
- Bildung ausreichender Vorkommen
- Nach dem Stand der Technik wirtschaftlich vertretbare Exploration
- Verfügbarkeit für den Endverbraucher zu einem akzeptablen Preis

Alle diese Kriterien erfüllen nachwachsende Rohstoffe und auch Abfallstoffe (Kunststoffe u.a.) im Gegensatz zu den sogenannten „alternativen Energien“.

Es hat sich sowohl in der öffentlichen Meinung als auch in Fachkreisen etabliert, alle alternativen Energiequellen unter dem Sammelbegriff *Erneuerbare Energie* oder auch *Regenerative Energie* zu subsummieren. Dies ist streng genommen nicht korrekt, denn zwischen alternativen und erneuerbaren Energiequellen besteht ein wesentlicher Unterschied (siehe **Abbildung 5**: Energiequellen im Überblick):

Alternative Energiequellen

Natürlicher Kreislauf – entzieht sich dem obligaten Einfluss menschlicher Willkür zur planmäßigen, regenerativen Bewirtschaftung.

Erneuerbare Energiequellen

Durch menschliche Willkür periodischer und planbarer Ertrag nachwachsender Rohstoffe oder natürliche Sukzession (Wald).

Energiequellen		
nicht erneuerbare	alternative	erneuerbare
Kohle	Sonne	nachwachsende Rohstoffe
Öl	Wind	
Gas	Wasserkraft	
Kernspaltung*	Geothermie	
	Kernfusion	
* Wiederaufbereitung Schnelle Brüter		

Abb. 5: Energiequellen im Überblick

2.2 Biomasse als nachwachsender Rohstoff

Somit gehört zu alternativen Energiequellen alles, was nicht Biomasse ist. Umgekehrt grenzt sich Biomasse von alternativen Energiequellen vor allem durch ihre organische Konsistenz ab. Biomasse ist die direkt oder indirekt mit Sonnenlicht gebildete organische, kohlenstoffhaltige Materie. So entsteht pflanzliche Biomasse über die direkte Nutzung des Sonnenlichtes durch Photosynthese, tierische Biomasse dagegen indirekt durch metabolische Nutzung pflanzlicher Biomasse in der Nahrungskette.

Biomasse umfasst also die gesamte auf der Erde vorhandene Phyto- und Zoomasse auf dem Land und im Wasser. Als nachwachsende Rohstoffe versteht man die durch Photosynthese gebildete feste Biomasse (= Phytomasse), die wirtschaftlich genutzt werden kann. Der daraus erzielte Produktionsertrag wird in t / ha und Jahr und die in der Biomasse chemisch gebundene Energie als brennstoffbezogene kalorische Größe in MJ / kg angegeben. Die energetische Nutzung der chemisch gebundenen Energie erfolgt durch Konversion in einem Kraftwerk in die Endenergien Arbeit und Wärme.

2.2.1 Ressourcenabschätzung

Die Größenordnung des energiewirtschaftlich nutzbaren Potenzials der Land-Phytomasse lässt sich nur bedingt abschätzen, da die Intensität der Nutzung von verschiedenen Prämissen, vor allem von ökologischen Randbedingungen, wie etwa der Festlegung von „no-go-areas“, determiniert wird. Deshalb finden sich in der Literatur teilweise sehr divergente Angaben über das nutzbare Biomassepotenzial. Exemplarisch sei hier auf David O. Hall (†), Professor am King's College in London, verwiesen, der als profunder Kenner die Land-Biomasse mehrfach zahlenmäßig abschätzte.

David O. Hall ermittelte ein flächenbasiertes Nutzungspotenzial, das weltweit 10 Mio. km² landwirtschaftlich genutzte Flächen, 40 Mio. km² Waldflächen, 49 Mio. km² Wüsten- und Halbwüstengebiete (arid bzw. semi-arid) umfasst. Für diese Flächen errechnete er eine photosynthetische Jahresproduktion an Trockenmasse von ca. 220 Mrd. t, davon etwa 80 % aus Waldbestand, also etwa 170 Mrd. t, welche für eine energiewirtschaftliche Nutzung theoretisch verfügbar wären.^[3]

Legt man eine Energieäquivalenz von 2 t biogener Trockenmasse je 1 t Erdöl zugrunde, so enthält der Phytomasse-Zuwachs alleine im Waldbestand das 25-fache an chemisch gebundener Energie bezogen auf die weltweite Jahreserdölförderung von 3,5 Mrd. t und das achtfache des weltweiten Primärenergiebedarfes auf Basis von 2002 – eine Waldfläche von 2 Mio. km² genügt also zur Substitution der Jahreserdölförderung von 2002. Dabei sind Anbau von Energiepflanzen, Aufforstungen und die Rekultivierung semi-arider Gebiete noch nicht berücksichtigt.

Bei einem zusätzlichen Anbau von schnell wachsenden Hölzern mit einem konservativ geschätzten Hektarertrag von 15 t Trockenmasse pro Jahr benötigte man zur Ablösung des gesamten gegenwärtigen konventionellen Energiebedarfs in Summe etwa 12 Mio. km² Anbau- und Waldfläche. Dabei ist das Aufforstungspotential, das weltweit auf über 10 Mio. km² geschätzt wird, noch gar nicht berücksichtigt.^[4]

2.2.2 Konzept einer Kurzumtriebsplantage (KUP)

Für die Bereitstellung von Biomasse gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: zum einen die nachhaltige Forstwirtschaft, zum anderen die landwirtschaftliche Nutzung in Kurzumtriebsplantagen (KUP).

Kurzumtriebsplantagen sind Anpflanzungen von schnellwachsenden Baumarten wie Pappeln, Weiden oder Robinien, die in den kurzen Produktionszeiträumen hohe Erträge liefern. Nach der Ernte entwickeln sich aus den im Boden verbliebenen Stöcken die Neuaustriebe für die nächste Ernteperiode. Die Gesamtnutzungsdauer einer einmal etablierten Plantage kann bis zu 25 Jahre betragen. Der jährliche Biomassezuwachs beträgt je nach Baumart und Wachstumsbedingungen 7 bis 20 Tonnen Trockenmasse pro Hektar und Jahr.

- Baumarten: Pappel, Weide, Robinie
- Umtriebszeit: 2 – 5 Jahre
- Nutzung: bis zu 25 Jahre
- Flächen: landwirtschaftliche Flächen
- Zuwachs: 7 – 20 Tonnen TM pro Hektar und Jahr
- Pflanzdichte: 8.000 – 16.000 Bäume pro Hektar



Abb. 11: Pappel-Stecklinge



Abb. 12: Pflanzung – die Ruten werden automatisch auf eine Länge von 20 cm geschnitten



Abb. 13: Pappeln nach 3,5 Monaten



Abb. 14: Pappeln nach 6 Monaten



Abb. 15: Ernte in der vegetationsfreien Periode



Abb. 16: neuer Austrieb im Frühjahr

2.2.3 Technische Nutzung

Biomasse besitzt den Vorzug der Produktdiversität. So kann Biomasse sowohl energetisch als auch für die Grundstoffindustrie genutzt werden. Es gibt eine Reihe EU-geförderter Projekte, um Biopolymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe zu entwickeln.

Für die energiewirtschaftliche Nutzung lässt sich feste Phytomasse in zwei Kategorien differenzieren:

- Holzartige Biomasse
- Halmgutartige Biomasse

Für halmgutartige Biomasse kommen drei Konversionspfade in Betracht:

- Thermo-chemisch (Verbrennung, Pyrolyse)
- Physikalisch-chemisch (Extraktion, Pressung)
- Bio-chemisch (Vergärung, Kompostierung)

Für holzartige (= lignocellulosehaltige) Biomasse kommt aktuell nur die Möglichkeit einer thermo-chemischen Konversion in Betracht. Dazu zählen

- Verbrennung
- Pyrolyse
- Thermische Vergasung

Von den thermo-chemischen Konversionspfaden ist die thermische Vergasung mit den aktuellen Technologien am fortschrittlichsten und wird die Verbrennung wie auch die Pyrolyse als eigenständige Konversionspfade zur energiewirtschaftlichen Nutzung von lignocellulosehaltiger Biomasse und in der thermischen Abfallverwertung ablösen. Dazu gibt es vergleichsweise folgende Gründe:

- Brennstoffausnutzungsgrad von > 80 %
- Input- und Produktdiversität
- Niedrige Emissionen und ausgeglichene Ökobilanz (Biomasse basiert)
- Eignung für dezentrale Energiesysteme
- Hohe regionale und kommunale Wertschöpfung (z.B. Güssing)

Standen mit konventioneller Verfahrenstechnik bis dato nur die Nutzenergien Wärme und Strom im Focus der thermischen Energiewirtschaft, eröffnet die thermische Vergasung nunmehr auch die Möglichkeit BTL-Treibstoffe (Diesel, Benzin) und eine Vielzahl anderer Produkte zu produzieren. **Abbildung 6** veranschaulicht die Produktdiversität durch thermische Vergasung.

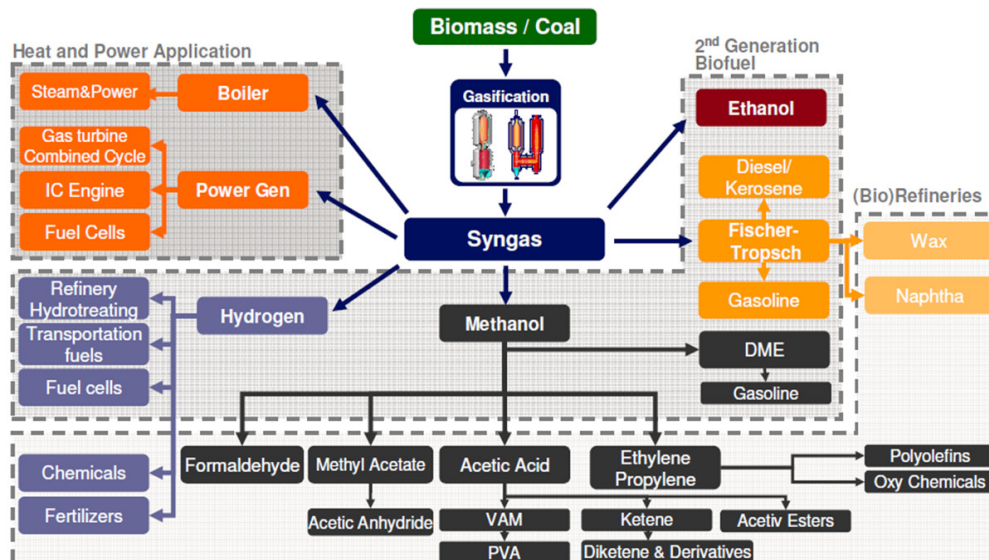


Abb. 6: Überblick über die Vielzahl an Konversionsprodukten, die mittels thermischer Vergasung hergestellt werden können

Die thermische Vergasung ist eine bereits erprobte Verfahrenstechnologie. So war in Deutschland in den 1940-Jahren der Imbert-Vergaser, ein Holzvergaser, weit verbreitet, in den 1980-Jahren wurden einige amerikanische Verfahren zur Kohlevergasung als Reaktion auf die Erdölkrise entwickelt und mittlerweile neu belebt, so etwa das Pittsburgh-Verfahren.

Der Diskurs um die Verfügbarkeit und Reichweite fossiler Ressourcen, sowie die aktuelle Klimadebatte und das in der Öffentlichkeit zunehmend manifestierte Bewusstsein der Notwendigkeit des nachhaltigen Umgangs mit globalen Ressourcen auch aus Gründen des Umweltschutzes, inspirierten zur Wiederbelebung und Weiterentwicklung der thermischen Vergasung zur energiewirtschaftlichen Nutzung nachwachsender Roh- und Abfallstoffe.

3 Thermische Vergasung

3.1 Grundzüge

Bei der thermischen Vergasung werden die flüchtigen Bestandteile des Rohstoffes (= Brennstoff) in einen gasförmigen Aggregatzustand übergeführt. Das dabei gebildete, gereinigte Produktgas (= Syngas) ist bei Verwendung von Wasserdampf als Vergasungsmittel (Reforming) reich an Wasserstoff und besitzt dann einen Heizwert von $H_u = 12$ bis $14 \text{ MJ} / \text{m}^3$. Die Vergasung ist im Prinzip eine unterstöchiometrische Verbrennung.

Der Weg der Brennstoffkonversion zum Produktgas ist in **Abbildung 7** illustriert.

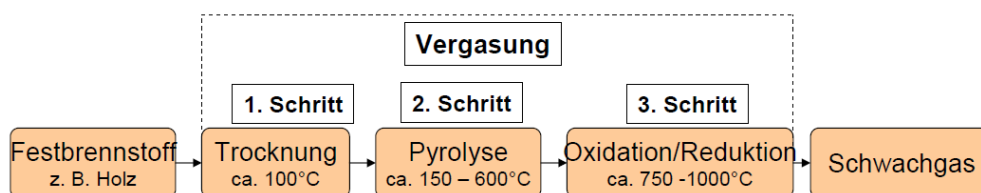


Abb. 7: Konversionsschritte der thermischen Vergasung

3.1.1 Prozessschritte des Vergasungsvorganges

Die einzelnen Schritte der thermischen Vergasung sind:

- *Trocknung*

Langsamster und daher geschwindigkeitsbestimmende Schritt. Ausgasen des Wasseranteils und Aufheizen der Brennstoffpartikel.

- *Pyrolyse*

Ab 250° C setzt Depolymerisation im Brennstoff ein, Abspaltung niedermolekularer Verbindungen. Ab 350° C Ausgasen von Methan (CH₄) und niedermolekularen Kohlenwasserstoffen (KWs). Ab 600° C Cracken des Lignins, die Spaltprodukte sind aromatische KWs („Teere“): Benzol, Naphtalin, Antracen u.a. Der Brennstoff wird zu Restkoks „verschwelt“.

- *Vergasung*

Ab 700° C laufen sogenannte heterogene und homogene Vergasungsreaktionen nebeneinander ab:

- Restkoks

Partielle Oxidation und Vergasung des enthaltenen Kohlenstoffes (= heterogene Vergasungsreaktionen). Es entstehen H₂ und CH₄.

- Kohlenwasserstoffe

Sie werden zu CO und H₂ umgesetzt (= homogene Vergasungsreaktionen). Einstellung einer druck- und temperaturabhängigen Gleichgewichtsverteilung der Hauptkomponenten im Produktgas (= Syngas) H₂, CO und CH₄.

Um ein Produktgas mit einem möglichst hohen Heizwert (= hoher H₂-Anteil) zu erhalten, verwendet man an Stelle von Luft-Sauerstoff Wasserdampf und führt die Vergaseranlage allotherm aus. Bei der allothermen Vergasung wird die Vergasungstemperatur durch eine zusätzliche Wärmequelle konstant gehalten. Je nach verfahrenstechnischem Anlagenkonzept wird dazu ein Teil des Produktgases abgezweigt und verbrannt oder zur Gänze eine externe Wärmequelle realisiert.

Im Gegensatz dazu wird bei der autothermen Vergasung als Vergasungsmittel Luft-Sauerstoff verwendet, die benötigte Wärme liefern die exothermen Reaktionen der Vergasungsreaktionen. Allerdings entstehen durch die partielle Oxidation des Restkokes mit Luft-Sauerstoff CO₂ und H₂O, die das Produktgas ausdünnen, auch sinkt die Vergasungstemperatur, weil die partielle Oxidation des Restkokes dann nicht mehr ausreicht diese konstant zu halten. Unter 700° C kommt die Vergasung schließlich zum Erliegen. Die autotherme Luftvergasung ist also eine unterstöchiometrische Verbrennung, wobei die Luftüberschusszahl (λ) $0,2 < \lambda < 0,6$ liegt.

- *Reinigung*

- Das Produktgas wird nun gereinigt, wobei vor allem der Teergehalt reduziert werden soll, gekühlt und wird als Syngas entweder zu Arbeit weiterveredelt, oder dient als Input für eine nachgeschaltete Fischer-Tropsch-Synthese (FT).

3.1.2 Einteilung der Vergaser nach Bauart und Wärmebereitstellung

Die Vergaser lassen sich wie folgt differenzieren:

- Bauart
 - Festbettvergaser
 - Gegenstrom-, Gleichstromvergaser
 - Wirbelschichtvergaser
 - Stationäre, zirkulierende Wirbelschicht
 - Flugstromvergaser
- Wärmebereitstellung
 - Autotherm
 - Wärmebereitstellung durch partielle Oxidation des Brennstoffes und exotherme Vergasungsreaktionen.
 - Allotherm
 - *Wärmeeintrag mit heißem Bettmaterial.* Dabei wird als Bettmaterial Quarzsand in einer Brennkammer erwärmt und in den Vergaser eingebracht. Nach Wärmeabgabe an die Brennstoffteilchen erfolgt die Rezirkulierung in die Brennkammer zusammen mit Restkoks und teerbeladenen Filterrückständen aus der Gasaufbereitung. Dieses Verfahren wird auch im FICFB-Vergaser in Güssing, Österreich, angewendet. FICFB ist die Abkürzung für das patentierte Fast Internal Fluidized Bed-Verfahren.
 - *Indirekte Beheizung mit Heatpipes.* Hermetisch abgeschlossene Rohre, in welchen ein flüssiges Medium bei gegebener Temperatur im Sättigungsgleichgewicht mit seinem Dampf steht. Wird an einem Ende Wärme entzogen, kondensiert der Dampf. Wird Wärme zugeführt, verdampft die flüssige Phase. Somit existiert ein Gleichgewicht zwischen zugeführten und abgezogenen Wärmeströmen, sodass sich eine konstante Betriebstemperatur in den Heatpipes einstellt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzepts ist die hohe übertragene Wärmestromdichte, welche die Realisierung kompakter Vergaseranlagen ab einer Leistung von 200 kW erlaubt.

3.2 Realisierte Anlagenkonzepte

3.2.1 Biomassekraftwerk Güssing, Burgenland (Österreich)

FICFB-Wirbelschichtverfahren (Fast Internal Circulating Fluidized Bed)

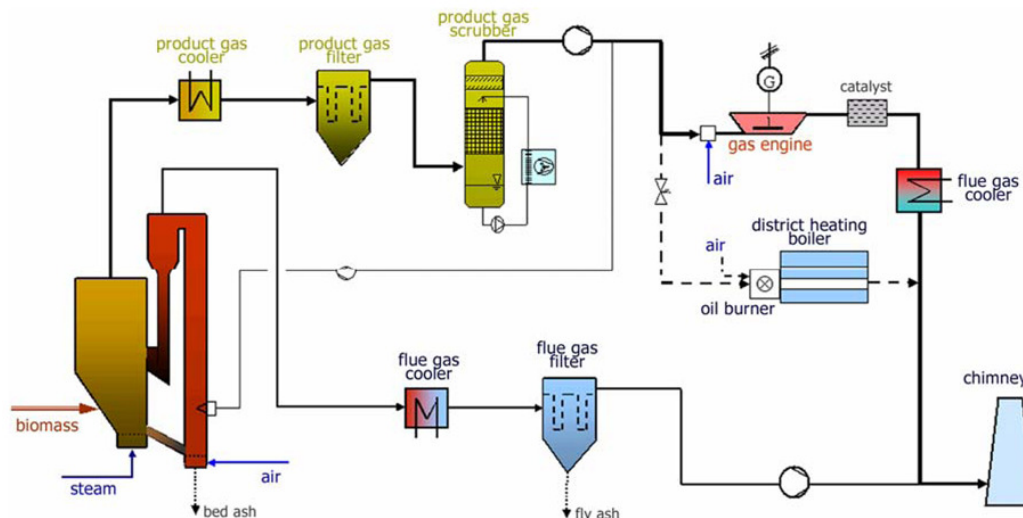


Abb. 8: Verfahrensschema des in Güssing realisierten Anlagenkonzepts eines Biomassekraftwerks mit partiell allothermen Wirbelschichtvergaser

Verfahrensmerkmale

- Trennung des Wirbelschichtbettes in eine Vergasungs- und Verbrennungszone
- Verwendung von Wasserdampf als Vergasungsmedium
- Entstehende Reststoffe wie Teere und Wasser werden wieder in die Brennkammer rezirkuliert – keine Abfälle aus der Gasreinigung.
- Produktgas betreibt Gasmotor zur Stromerzeugung
- Nutzung der Prozesswärme als Fernwärme

Leistungsparameter

- Brennstoffwärmeleistung: 8 MW_{th}
- Elektrische Leistung: 2 MW_{el} η_{el}: 25 %
- Nutzwärmeleistung: 4,5 MW_{th} η_{ges}: 82 %
- Jahresproduktion:

Strom: 16 GWh / a Betriebsstunden: 8.000 h / a
Wärme: 36 GWh / a Biomassebedarf: 14.400 t / a

In einer Stunde werden aus 1,8 t Biomasse 2 MW Strom und 4,5 MW Fernwärme erzeugt.

3.2.2 Beta-Anlage Freiberg (Fa. CHOREN), Thüringen (Deutschland)

Carbo-V-Verfahren

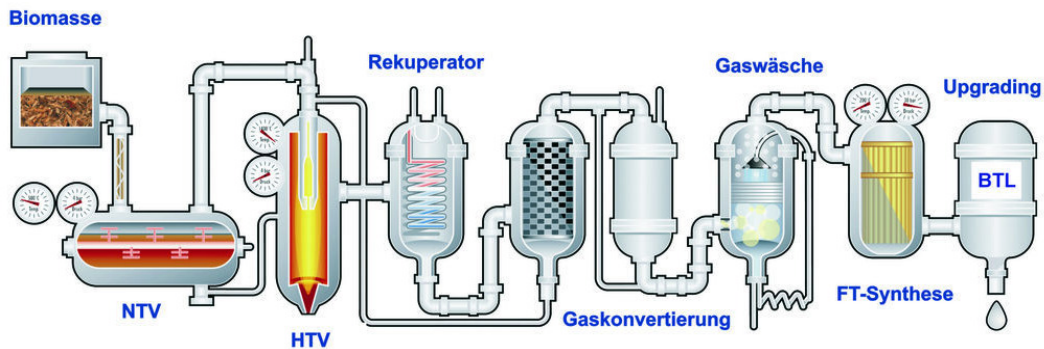


Abb. 9: Verfahrensschema des Carbo-V-Verfahrens mit Fischer-Tropsch-Reaktor

Verfahrensmerkmale

- Dreistufiges Verfahren: Niedertemperaturvergasung
Hochtemperaturvergasung
Flugstromvergasung
- Erzeugung teerfreien Gases
- Einsatz für sämtliche kohlenstoffhaltige Substanzen (universelles Vergasungsverfahren)
- Verfahren v. a. für die Synthese von BtL-Kraftstoffen geeignet → Fischer-Tropsch-Verfahren

Leistungsparameter

- Jahresproduktion
Nominalleistung: 18 Millionen Liter BtL = Jahresbedarf für 15.000 PKW
Biomassebedarf: 65.000 t / a

3.2.3 Heatpipe-Reformer in Pfaffenhofen (Fa. Agnion), Bayern (Deutschland)

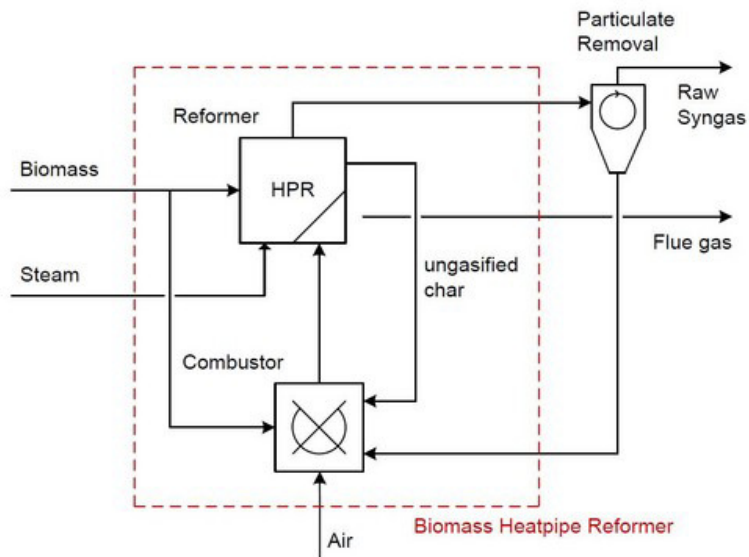


Abb. 10: Verfahrensschema des allothermen Heatpipe-Reformers mit stationärer Wirbelschicht

Verfahrensmerkmale

- Wirbelschicht und Vergasung in kompakter Bauweise
- Verwendung von Wasserdampf als Vergasungsmedium
- Produktgas betreibt Gasmotor zur Stromerzeugung
- Nutzung der Prozesswärme als Fernwärme
- Hoher Wirkungsgrad durch die Nutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes

Leistungsparameter

Daten nicht bekannt

4 Implementierung in die energetische Grundversorgung dezentraler Energiesysteme

Die europäische Energiepolitik steht vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung im Konnex mit dem Anstieg des weltweiten Primärenergiebedarfes um voraussichtlich mehr als das Doppelte, wobei hauptsächlich fossile Energieträger wie Öl, Gas und Kohle unseren Primärenergiebedarf decken. Zudem erfordert die Klimaproblematik eine drastische und rasche Senkung klimaschädigender Emissionen.

Für die energiewirtschaftliche Nutzung fossil-substituierender, lignocellulosehaltiger Biomasse kommt nur die thermo-chemische Konversion in Betracht. Da traditionellerweise damit stets die Verbrennung mit ihren Emissionsfrachten assoziiert wird, steht die Nutzung von Biomasse im Schatten der alternativen Energiequellen Photovoltaik, Windenergie und Wasserkraft. Auch mag der Umstand dazu beitragen, dass das vielseitige Nutzungspotenzial von Biomasse nicht in den Focus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt wird.

Aufgrund ihrer kohlenstoffhaltigen Konsistenz ist einzig Biomasse in der Lage, Treibstoff, Wärme und Strom zu liefern. Die Schlüsseltechnologie zur Erschließung dieses Potenzials ist die thermische Vergasung, die nicht nur umweltfreundlich, sondern auch nunmehr in modularen Anlagen realisiert werden kann. In Zukunft wird aber nicht nur Biomasse, sondern auch die Müllnutzung als Ressource für die thermische Vergasung zur Verfügung stehen. Input- und Produktdiversität dieser Ressourcen stellen eine hervorragende Basis für die Entwicklung von Smart Grids im Zuge des Aufbaus dezentraler Energiesysteme mit hoher regionaler und kommunaler Wertschöpfung dar. Modulare Anlagenkonzepte werden eine maßgeschneiderte Auslegung der Endenergiebereitstellung an regionale und kommunale Bedürfnisse nahezu in jeder Größenordnung ermöglichen.

Unerlässlich ist auch die Bereitstellung von Reservekapazitäten, da die von alternativen Energiequellen bereitgestellte Endenergie und das verbraucherorientierte Lastverhalten in der Regel zeitlich nicht immer zur Deckung kommen, was Probleme für die Stabilität der Netze zur Folge hat.

Vor allem kann mittels thermischer Vergasung und angeschlossenem Fischer-Tropsch-Verfahren unter Bereitstellung entsprechender Ressourcen ein hoher Substitutionsgrad konventioneller fossiler Kraftstoffe erreicht werden, da Verbrennungsmotoren als Stand der Technik auch mittelfristig nicht durch Elektromobilität obligatorisch ersetzt werden können. Bei nachhaltiger Ressourcen-Nutzung ist vor allem das lignocellulosebasierte Biomassepotenzial schon jetzt in der Lage, einen hohen Deckungsbeitrag zum rasch wachsenden Primärenergiebedarf zu leisten.

Es lassen sich nur mittels thermischer Vergasung von Biomasse und anderen Stoffen Wärme, Treibstoff und Strom in dezentralen Energiesystemen in einer Hand mit hoher regionaler und kommunaler Wertschöpfung erzeugen!

5 Quellenverzeichnis

1. Abbildungsnachweis

Abbildung 1 : Primärenergieverbrauch Industriestaaten im Vergleich mit China, Indien und we – Ländern;
„Osteuropa – Achillesferse unserer Energieversorgung?“; Petra Opitz;
PPP; Regensburg 2009

Abbildung 2 : Korrelation zwischen Bevölkerungswachstum und Primärenergieverbrauch;
„Zukunftsenergievortrag: Prognosen der Energieversorgung“;
Prof. Dr. Ing. Krause, Alexander Getsos, Frank Ollig;
PPP; Fachhochschule Aachen

Abbildung 3 : Reichweite der Ressourcen;
„Zukunftsenergievortrag: Prognosen der Energieversorgung“;
Prof. Dr. Ing. Krause, Alexander Getsos, Frank Ollig;
PPP; Fachhochschule Aachen

Abbildung 4 : Die „Strategische Ellipse“ umfasst Russland, Eurasien,
Nahen und Mittleren Osten;
„Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen“;
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; 2006,
www.bgr.bund.de

Abbildung 5 : Energiequellen im Überblick;
eigene Grafik

Abbildung 6 : Überblick über die Vielzahl an Konversionsprodukten, die mittels thermischer
Vergasung hergestellt werden können;
Robert Misterek, Project Development; CHOREN Industries GmbH
Applications; 2010; www.choren.com

Abbildung 7 : Konversionsschritte der thermischen Vergasung; aus Vortrag
„Direktverflüssigung von Biomasse – Ein Überblick“; Fachtagung
„Direktverflüssigung von Biomasse und Kunststoffen“; Magdeburg,
29.11.2007; Prof. Dr. Frank Behrendt;
Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik – Fachgebiet
Energieverfahrenstechnik und Umwandlungstechniken regenerativer
Energien

Abbildung 8 : Verfahrensschema des in Güssing realisierten Anlagenkonzepts eines
Biomassekraftwerks mit partiell allothermen Wirbelschichtvergaser; aus
„Technik und Möglichkeiten des Einsatzes von Holzgas zur Produktion von
Strom und Wärme“; PPP; Renewable Energy Network Austria (reNet
Austria); Univ.-Prof. Dr. Hermann Hofbauer;
Technische Universität Wien, Institut für Verfahrens-, Brennstoff-, u.
Umwelttechnik

Abbildung 9 : Verfahrensschema des Carbo-V-Verfahrens mit Fischer-Tropsch-Reaktor;
Home-Page; CHOREN Industries GmbH, 2010, www.choren.com

Abbildung 10: Verfahrensschema des allothermen Heatpipe-Reformers mit stationärer Wirbelschicht; Technische Universität Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik; Website:
http://www.iet.tuwien.ac.at/forschungsbereich_thermodynamik_und_waermetechnik/forschungsgebiete/regenerative_energiesysteme/heat_pipe_reformer/

Abbildung 11 bis 16: Home-Page; CHOREN Industries GmbH, 2010, www.choren.com

2. Tabellennachweis

Tabelle 1 : Energiebedarf ausgewählter Regionen und weltweit; Quelle: Wikipedia - Weltenergiebedarf; 2012; <http://de.wikipedia.org/wiki/Weltenergiebedarf>
Eigene Grafik

3. Literatur

- [1] Quelle: Wikipedia – Weltenergiebedarf; Shell Studie: Dr. Axel Berg; 2012;
<http://de.wikipedia.org/wiki/Weltenergiebedarf>
- [2] Quelle: Wikipedia – Weltenergiebedarf; Research Green Energy, A Summary: The Analysis Paper (Isabel Galiana and Chris Green). Copenhagen Consensus Center; 2012;
<http://de.wikipedia.org/wiki/Weltenergiebedarf>
- [3] Die Nutzung erneuerbarer Energien in Südbaden – Wirklichkeit, Möglichkeiten und Grenzen; Examensarbeit; Phillipp Zürcher; GRIN-Verlag, 1. Auflage; 2004; ISBN 978-3-638-70263-8
- [4] Das unterschätzte Potenzial der Biomasse und deren Rolle im künftigen Energiemix; Beitrag von Dr. Hermann Scheer; Memorandum der III. internationalen EUROSOLAR-Konferenz „Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt“ vom 28. Bis 28. Januar 2001;
http://www.hermannscheer.de/de/images/stories/pdf/Memorandum_LaWi_jan01.pdf

Quelle: Wikipedia; Nabucco-Pipeline; 2010; <http://de.wikipedia.org/wiki/Nabucco-Pipeline>

Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer et al.; Springer-Verlag Heidelberg Dordrecht London New York, 2. Auflage; 2009; ISBN 978-3-540-85094-6

Dezentrale Energiesysteme – Neue Technologien im liberalisierten Markt; Jürgen Karl; Oldenburg-Verlag Wien München, 2. Auflage; 2006; ISBN 978-3-486-57722-8