



Überblicksstudie

**Systematische Darstellung von Pflanzen für Erzeugung,
Verwertbarkeit und Erträge von Biomasse**

CultNature: Bio-Montan-Park NRW



an

Institut Arbeit und Technik

Munscheidstr. 14

45 894 Gelsenkirchen

von

mitSystem GmbH

Buschgrundstr. 33

45897 Gelsenkirchen

Gelsenkirchen 09.01.2013



Gliederung

1. Politische Rahmenbedingungen	3
2. Stand der Wissenschaft und Technik für Biomasse allgemein	8
3. Entwicklung der Flora und Vegetation für naturbelassene Brachflächen	11
4. Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen auf Brachflächen zur Energieerzeugung	13
5. Mögliche Energieumwandlungsprozesse der gewonnen Biomassen	22
6. Analyse und Beschreibung möglicher Rahmenbedingungen der Biomassenströme	36

1. Politische Rahmenbedingungen

Keine andere Technologie steht gleichzeitig so im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses und in der Kritik wie die Energietechnik. Auf der einen Seite steht die stetig wachsende Weltbevölkerung mit einem immer höheren Verlangen nach Energie. Demgegenüber stehen die Umweltbelastung durch fossile Energieträger sowie die stetig steigenden Preise für Erdöl und Erdgas und die Gewissheit, dass ihre Vorräte bald aufgebraucht sind. Die Hoffnung, dass die Atomenergie zur Lösung des Problems beitragen könnte, hat wohl aufgrund der neusten Ereignisse in Japan die letzten Befürworter vom Gegenteil überzeugt.

Deswegen wird der Ruf nach Erneuerbaren Energien immer lauter. Neben anderen regenerativen Energien ist es vor allem Biomasse, die über nahezu unendliche Ressourcen verfügt. Schon jetzt deckt Holz 6% des deutschen Wärmebedarfs und dessen Potenzial ist um ein Vielfaches höher. Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Biomasse Nutzung sind Abbildung 1 zu entnehmen.

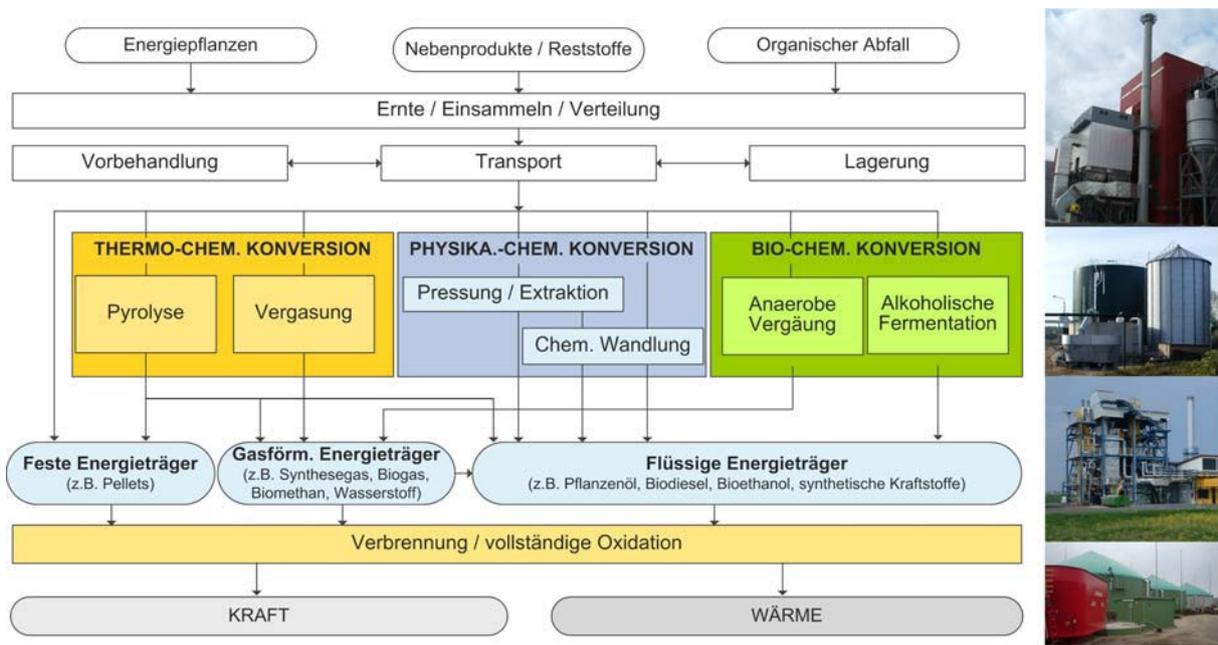


Abbildung 1: Möglichkeiten der Energiebereitstellung aus Biomasse¹

Konkreter sind Biomassen alle Stoffe organischer Herkunft. Demnach handelt es sich im weitesten Sinne um kohlenstoffhaltige Materie. Die Abgrenzung zu fossilen Energieträgern erfolgt dadurch, dass diese erst durch die Umwandlung von Biomasse erzeugt werden.² Sie ist somit ein nachwachsender Energieträger, der durch Umwandlungsprozesse der solaren Strahlung innerhalb der Erdatmosphäre entsteht. Die Nichtendlichkeit führt zu einem großen Nutzungspotential.

¹ Sonderausgabe zum DBFZ Report Dezember 2011. Bioenergie heute und morgen - 11 Bereitstellungskonzepte -ISSN: 2190-7943

² Quaschnig, Volker. Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung - Simulation. 7. Auflage. München : Hanser, 2011.

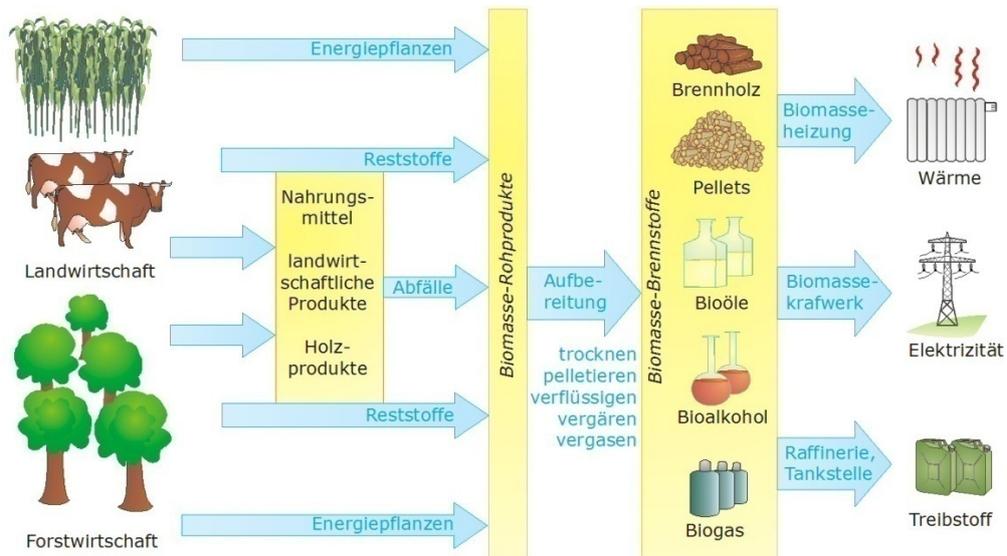


Abbildung 2: Möglichkeiten der Biomassenutzung²

Die Abbildung 2 zeigt die Möglichkeiten der Biomassenutzung auf. Die Rohprodukte lassen sich nach der Aufbereitung verschiedenen Nutzungswegen zuführen. Beispielsweise ist dem Menschen die Wärmenutzung von Biomasse seit jeher bekannt (Heizen mit Holz). Die weiteren Nutzungsmöglichkeiten sind durch den Klimawandel stärker in den Fokus der Gesellschaft gerückt. Der Vorteil von Bioenergieträgern ist, dass diese bei der Nutzung nur das Kohlendioxid abgeben, welches sie vorher aufgenommen haben. Jedoch ist die CO₂-Bilanz nicht null, da bei der Erzeugung von Biomasse Maschinen eingesetzt werden die CO₂ ausstoßen. Beispielhaft hierfür kann die Nutzung von Traktoren bei der Saatausbringung, Düngung und Ernte angeführt werden. Jedoch besteht die Möglichkeit eine neutrale Nutzungskette zu erzeugen, da für die Maschinen ebenfalls Bioenergieträger (Biodiesel etc.) genutzt werden können.³

Zur Biomasse gehört:

1. Lebende Phyto - und Zoomasse
2. Rückstände aus der Phyto - und Zoomasse (Exkrememente)
3. Abgestorbene Phyto - und Zoomasse (noch nicht fossil)
4. Alle Stoffe, die durch technische Umwandlung oder Nutzung entstanden sind (Papier, Pflanzenöl)

Die weitere Abgrenzung der Biomasse von fossilen Energieträgern beginnt beim Torf. Dieser ist ein Sekundärprodukt der Verrottung. Diese Abgrenzung ist jedoch nicht in allen Ländern üblich. Beispielsweise wird in Finnland oder Schweden Torf als Biomasse bezeichnet. Eine weitere Unterteilung erfolgt in Primär- und Sekundärprodukte. In diesem Kontext sind Primärprodukte Produkte, die durch direkte Umwandlung von Sonnenenergie entstehen. Hierzu wird im Wesentlichen die gesamte Pflanzenmasse gezählt.

³ Liebert, Daniel. CO₂ -Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich. Berlin : Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag, 2007.

Sekundärprodukte beziehen ihre Energie indirekt aus der Sonne. Sie entstehen durch Ab- oder Umbau von organischen Bestandteilen in Tieren.⁴

Biomasse lässt sich in verschiedenen Formen nutzbar machen. Generell wird zwischen fester, flüssiger und gasförmiger Nutzung unterschieden. In dieser Arbeit bzw. in diesem Energiekonzept wird auf die gasförmige Nutzung der Biomasse eingegangen. Aus diesem Grund wird der Umwandlungsprozess von flüssiger/fester Biomasse zu einem gasförmigen Energieträger genauer betrachtet.

Einsatz von Biomasse in Deutschland

In Deutschland hat die Bundesregierung die Abkehr von fossilen Energieträgern schon seit längerer Zeit geplant. Die Weltklimakonferenz in Kyoto 1997 und die daraus resultierenden Vorgaben bezüglich der Energieversorgung haben dafür gesorgt, dass den regenerativen Energieerzeuger eine immer größere Bedeutung zu Teil wurde. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung soll bis zum Jahr 2020 auf 35 % ansteigen.

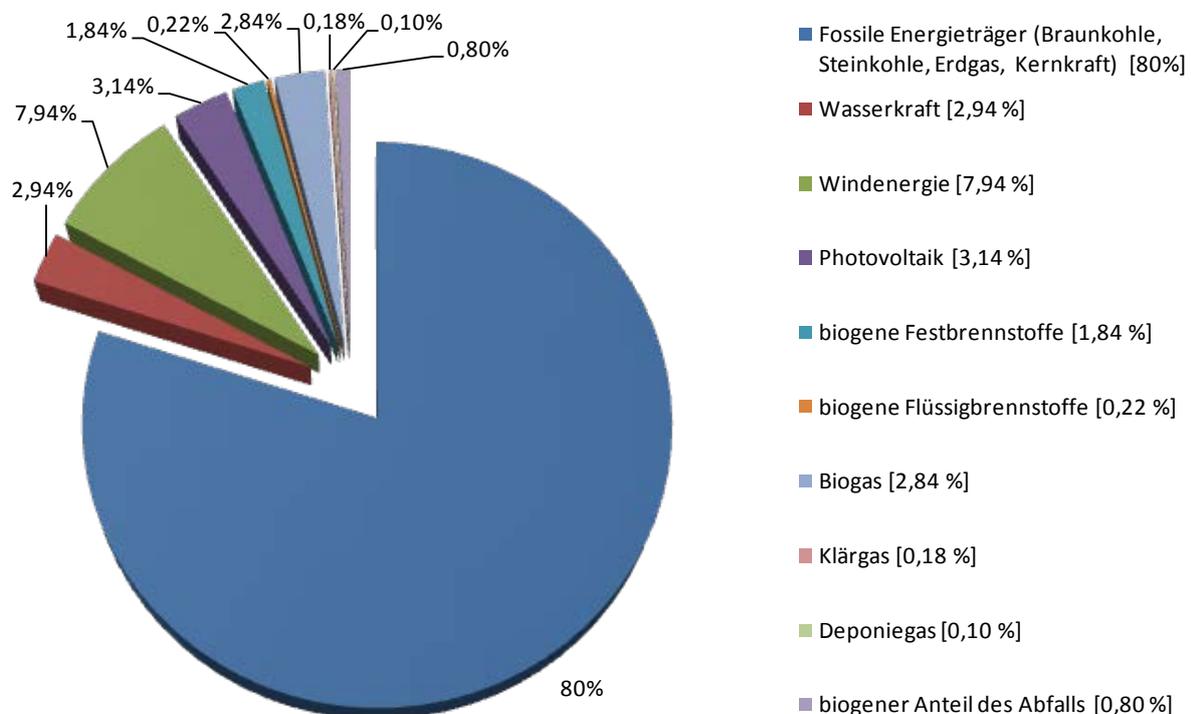


Abbildung 3: Gesamtstromerzeugung in Deutschland 2011⁵

Abbildung 3 zeigt die Aufteilung der Stromerzeugung im Jahr 2011. Der Anteil der fossilen Energie betrug demnach 80 %. Bis 2050 soll sich das Verhältnis von fossiler zu regenerativer Energie umkehren und der Stromverbrauch zum größten Teil (80 %) aus regenerativen Energien gedeckt werden. Aus fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse wurden in 2011 30,2 TWh Strom erzeugt. Wird der erzeugte Strom aus Klär- und Deponiegas sowie dem biogenen Abfall dazugerechnet, steigt der Wert auf 36,9 TWh. Mit der Stromerzeugung gingen 132 TWh erzeugte Wärme einher. 2011

⁴ Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans; Hofbauer, Hermann. Energie aus Biomasse -Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009.

⁵ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erneuerbare Energie in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklungen. 1. Auflage. Berlin : BMU, 2012.

wurden 20 % des Stromes aus den erneuerbaren Energien bereitgestellt und Klär- und Deponiegase sowie der biogene Abfall wurden in die Strombereitstellung mit eingerechnet. Noch keinen nennenswerten Einfluss hat die Geothermie, da die Geothermie einen sehr geringen Anteil an der Stromerzeugung hat. Wird der gesamte Endenergieverbrauch betrachtet, also Strom, Wärme und Kraftstoffe, hat die Bioenergie einen weitaus größeren Anteil. Dieser liegt bei ca. 202,7 TWh. Das entspricht in etwa 8,4% des gesamten Endenergieverbrauchs von 2.415 TWh in Deutschland. Damit hat die Bioenergie mit fast 70% den größten Anteil unter den regenerativen Energien am Endenergieverbrauch.⁶

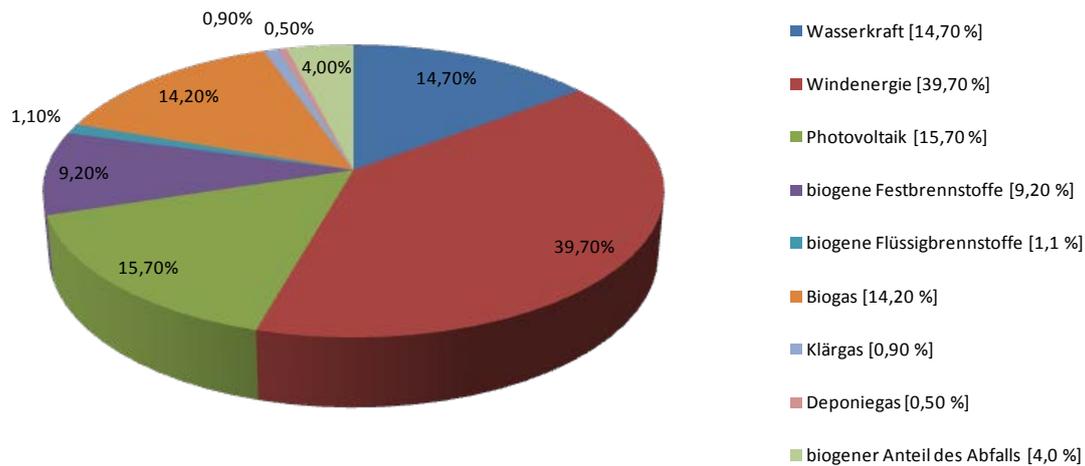


Abbildung 4: Anteil EE an der Strombereitstellung in Deutschland 2011⁶

Abbildung 4 zeigt wie sich die 20 % der regenerativen Stromerzeugung aufteilen. Biogas hat an diesen 20 % einen Anteil von 14,20 %. Der Gesamtanteil aus Biomasse inkl. Klär- und Deponiegas liegt bei ca. 30 % an den erneuerbaren Energien. Den größten Part übernimmt die Windenergie. Windenergie und Sonnenenergie haben jedoch den Nachteil, dass sie saisonalen Schwankungen unterworfen sind. Das heißt sie sind wind-, wetter- und tageszeitabhängig. Aus diesem Grund benötigen sie Speicher, um Schwankungen im Netz auszugleichen. Speicher spielen bei der Biomasse eine untergeordnete Rolle. Aus Biomasse entstehen, wie im Fall von Biogas, leicht speicherbare Energieträger. In Deutschland werden ca. 7100 Biogasanlagen betrieben. Zusätzlich zu dem Ausbau der regenerativen Energieerzeuger plant die Regierung das Stromnetz weiter auszubauen bzw. zu modernisieren. Dieser Schritt ist unumgänglich da z.B. der Windstrom im Norden Deutschlands anfällt und große Strommengen im Süden und Westen des Landes benötigt werden. Die politischen Rahmenbedingungen für die Abkehr von fossilen Energieträgern sind in Deutschland weit fortgeschritten und dieser Weg wird weiterhin verfolgt.⁷

Ähnliche Entwicklungen gibt es für den Wärmemarkt. Hier beträgt der Biomasseanteil an den erneuerbaren Energien 91 %, siehe Abbildung 5.

⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erneuerbare Energie in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklungen. 1. Auflage. Berlin : BMU, 2012.

⁷ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erneuerbare Energie in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklungen. 1. Auflage. Berlin : BMU, 2012.

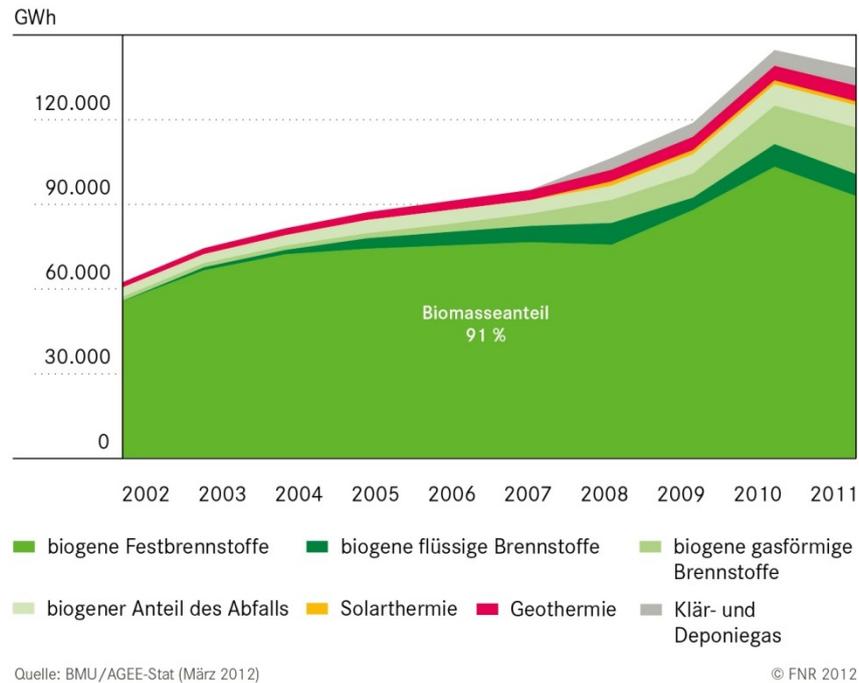


Abbildung 5: Wärmezeugung aus erneuerbaren Energien⁸

Neben den durchweg positiven Stellungnahmen existieren auch kritische Stimmen, die insbesondere die Landnutzungs- und Nahrungsmittelkonflikte in den Fokus stellen. Die Leopoldina stellt diese Diskussion mit Ihrer Stellungnahme in den korrekten politischen, volkswirtschaftlichen und technischen Zusammenhang.

„Um den Verbrauch von fossilen Brennstoffen und die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren, sollte Deutschland nicht den weiteren Ausbau von Bioenergie anstreben. Zu diesem Schluss kommen die Autoren der Stellungnahme nach Abwägung aller Argumente für und wider eine Nutzung von Biomasse als Energiequelle. Insbesondere sollte darauf gedrängt werden, das EU-2020-Konzept zu überdenken, das darauf abzielt, möglichst 10 Prozent des Treibstoffes für Transportzwecke aus Biomasse bereitzustellen. Vielmehr sollte sich Deutschland auf andere erneuerbare Energieressourcen konzentrieren wie Photovoltaik, Solarthermie und Windenergie, deren Flächeneffizienz, Treibhausgas-Emissionen und andere Umweltbeeinträchtigungen niedriger sind als die von Bioenergie. Die Einsparung von Energie und Verbesserungen der Energieeffizienz sollten Vorrang haben.

Die Förderung von Bioenergie sollte sich auf Formen beschränken, die weder zur Verknappung von Nahrungsmitteln führen noch deren Preise durch Wettbewerb um Land und Wasser in die Höhe treiben. Darüber hinaus sollten diese Formen von Bioenergie keinen größeren negativen Einfluss auf Ökosysteme und Biodiversität haben, und eine substantiell bessere Treibhausgas-Bilanz aufweisen als die fossile Energie, die sie ersetzen. Auch gilt es, die gesamte Breite der wertvollen Dienste zu respektieren, die Ökosysteme für die Öffentlichkeit leisten. Bei Importen von Biomasse oder von Biomasseprodukten sind auch all diese Aspekte zu berücksichtigen, da Importe das Problem nicht beheben, sondern in andere Länder verlagern.“⁹

⁸ Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) 2012

⁹ Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen, Empfehlungen, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2012



2. Stand der Wissenschaft und Technik für Biomasse allgemein

Diverse Quellen geben einen Überblick über den Stand der Wissenschaft und Technik für den Biomassen Einsatz in Deutschland. Die neutralste und umfassendste liefert der VDI Arbeitskreis Regenerative Energien, der jährlich eine aktualisierte Zusammenstellung veröffentlichte.

„Biomasse – Wärme und Strom

Die national und international vorhandene Ressourcenbasis für biogene Festbrennstoffe ist zu erweitern, um eine vielfach befürchtete Versorgungslücke zu vermeiden und eine weiterhin kostengünstige Ressourcenverfügbarkeit sicherzustellen. Dies gilt im Wesentlichen für Holz; aber auch andere Biomassestoffströme müssen forciert erschlossen werden (u. a. Bioabfälle, Landschaftspflegematerial).

Bei der Bereitstellung biogener Festbrennstoffe sind noch technische, ökonomische und ökologische Optimierungspotenziale im Verlauf der gesamten Bereitstellungskette vorhanden, die zügig nutzbar gemacht werden müssen. Dies gilt perspektivisch auch für sehr große Biomasse mengen und/oder halmgutartige Biomassen und beinhaltet u. a. Organisationsmodelle/Maschinenringkonzepte, Bereitstellungstechnologien (Betriebssicherheit, Lagerfähigkeit, Aufbereitung für umweltverträgliche Verbrennung) sowie Qualitätssicherungsaspekte. Sowohl für die bereits am Markt etablierten biogenen Festbrennstoffe als auch für „neue“ feste Biobrennstoffe (z. B. Agrotreibstoffe, Mischbrennstoffe) ist dies gültig. Hierfür sind technische Regelwerke auf europäischer und internationaler Ebene zu erarbeiten.

Die Anlagentechnik zur Wärme-, Strom- bzw. gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ist vielfach aus technischer und ökologischer Sicht noch optimierungsfähig; dies schließt sowohl eine Weiterentwicklung einzelner Anlagenkomponenten als auch das systemtechnische Zusammenspiel der einzelnen Systemkomponenten ein. Die dafür benötigten F&E-Mittel müssen von der öffentlichen Hand und der Wirtschaft aufgebracht werden. Dies gilt z.B. für:

- Feuerungsanlagen insbesondere im kleinen Leistungsbereich (u. a. Betriebssicherheit, Automatisierung, Abgasbehandlung (und hier insbesondere Feinstaubemissionen) auch für „Sonderbrennstoffe“ (z. B. Halmgüter).
- Effizienzsteigerungen bei Stromerzeugungsanlagen zur Nutzung fester Biomassen auf Basis der Verbrennung und der Vergasung auch für nicht-holzartige Biomassen (z. B. Stroh).
- Entwicklung effizienter KWK-Anlagen im mittleren Leistungsbereich für den Einsatz in mittelgroßen Objekten (z. B. Schulen, Krankenhäuser, Mehrfamilienhäuser).
- Biogasanlagen (u. a. stabiler Betrieb bei variierenden Substraten, höhere Raum-Zeit- Ausbeute) einschließlich einer Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität.

Für eine weitergehende Nutzung der Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung ist eine Kontinuität bei den Anreiz- und Fördermaßnahmen sowohl für F&E als auch für Markteinführung essenziell; dies gilt insbesondere für biogene Festbrennstoffe zur Wärmebereitstellung (d.h. Marktanzreizprogramm MAP), da dies nach wie vor der größte Einzelmarkt im Bereich der Biomasse ist.

Die Rahmenbedingungen (u. a. EEG, MAP, BImSchV) müssen so formuliert werden, dass die begrenzt vorhandene (teure) Biomasse möglichst effizient genutzt wird. Sinnvoll wäre es, die Anreizinstrumente so zu setzen, dass sie den technischen Fortschritt in Bezug u. a. auf eine Emissionsminimierung (z. B. Feinstaubemissionen bei Kleinfeuerungsanlagen; Weiterentwicklung des



MAP zum Qualitätskriterium) und eine Effizienzsteigerung (z. B. Innovationsbonus bei Einsatz der GuD-Technik zur effizienten Biomasseverstromung) unterstützen.

Nachhaltigkeitskriterien für international gehandelte Biobrennstoffe (z. B. Pellets) sind zu erarbeiten.

Biomasse – Kraftstoffe

Biomasse hat das Potenzial, substantiell zur Deckung der Energienachfrage im Verkehrssektor beizutragen.

Um mittelfristig einen energiewirtschaftlich relevanten Anteil zu erreichen, muss ein adäquater Entwicklungspfad gefunden und unter Berücksichtigung des jeweiligen Standes der Technik, der vorhandenen unerschlossenen Biomassepotenziale und der aktuellen Marktentwicklung durch die Setzung des energiewirtschaftlichen Rahmens eingeschlagen werden.

Ansätze zur Lösung der Nachhaltigkeitsproblematik bei Pflanzenölen und Bioethanol bei gleichzeitiger Entwicklung internationaler Biokraftstoffmärkte (z. B. für native Öle, RME, Bioethanol) sind unter Berücksichtigung der vorhandenen internationalen Vereinbarungen (u. a. WTO) weiterzuentwickeln.

Innovative Konzepte zur Bioethanolerzeugung – auch aus Lignocellulose – zur Steigerung der Effizienz mit dem Ziel der Entwicklung hocheffizienter integrierter Bioraffinerien sollten erarbeitet werden.

Konzepte, Verfahren und Anlagen zur Synthetisierung von flüssigen und gasförmigen Designer-Kraftstoffen (d. h. BtL, Bio-SNG) aus biogenen Festbrennstoffen (d. h. Identifikation der "besten" technologischen Lösung) für die unterschiedlichen Märkte (d. h. Landverkehr, Flugverkehr, Schiffsverkehr) und Nachweis der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit sind zu entwickeln.

Die Rahmenbedingungen für Biomethan aus bio- und thermochemischen Prozessen, insbesondere für den Einsatz im Traktionsbereich, müssen verbessert werden.

Integrierte Konzepte zur gekoppelten Erzeugung von Treibstoffen, Strom und Wärme sind zu entwickeln und am Markt zu implementieren.¹⁰

Einen kurzen Überblick über mögliche Energiepflanzen liefert das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Landes Sachsen, siehe Abbildung 6:

¹⁰ VDI Positionspapier: Klimaschutz und Energiepolitik: Regenerative Energien in Deutschland, Stand der Entwicklung und Schlussfolgerungen, Düsseldorf Januar 2011.



	Mais <i>Zea mays</i> L.	Sudangras <i>Sorghum sudanense</i>	Zuckerhirse <i>Sorghum bicolor</i> var. <i>saccharatum</i>	Getreideganzpflanze (Winterroggen u.a.)	Rutenhirse, Switchgrass <i>Panicum virgatum</i> L.	Chinaschilf <i>Miscanthus sinensis</i> x <i>giganteus</i>	Pappel <i>Populus balsamifera</i> L. und subspecies	Weide <i>Salix viminalis</i> L. und subspecies
Beschreibung	aufrechte, markerfüllte Halme, Kolben, WH 3–3,5 m, frostempfindlich, wärmeliebend, nährstoff- und wasser-effizient	aufrechte, markerfüllte Halme, Rispe, WH 2,5–3,5 m, Bildung von Seitentrieben an der Basis, Feinwurzelsystem, sehr frostempfindlich, wärmeliebend, nährstoff- und wasser-effizient	aufrechte, markerfüllte Halme, Rispe, WH 2,5–4 m, Bildung von Seitentrieben an der Basis, Feinwurzelsystem, sehr frostempfindlich, wärmeliebend, nährstoff- und wasser-effizient	WH 1,5 m, sehr intensive Bestockung, selbstverträglich	ausdauerndes Gras, Rhizombildung, WH 2,5 m, amerikanisches Prärie-gras	ausdauerndes Horstgras, reichblättrige Halme, WH 3 m, Anlage von Rhizomen, Heimatgebiet in Subtropen, Tropen	WH 7–8 m im Kurztrieb, ein- bis schwachmehrstämmig im Wiederaustrieb	strauchartiger Wuchs, WH 7–8 m
Standortanspruch	geringe Bodenansprüche, warme Anbau-lagen	geringe Bodenansprüche, warme Anbau-lagen	geringe Bodenansprüche, warme Anbau-lagen	geringe Bodenansprüche, leichte bis gute Böden geeignet, geringer Wärmeein-spruch, sehr frostresistent	breites Boden-spektrum, leicht erd-würbare Böden, winterfest	breites Bodenspektrum, optimal: sandige Lehme, Marsanbau-lagen, trocken-tolerant, ab 3. Standjahr winterfest	leichte bis gute Böden, gut durchwurzelbare grundwasserbeeinflusste Böden ohne Staunässe	breites Bodenspektrum, wechselfeuchte bis feuchte Standorte ohne Staunässe, frosthart, mittlerer Nährstoffan-spruch
Nutzungsdauer	einjährig	einjährig	einjährig	einjährig	ca. 10–16 Jahre, jährliche Ernte	ca. 20 Jahre, jährliche Ernte	ca. 20 Jahre, Ernte alle 3–20 Jahre	ca. 20 Jahre, Ernte alle 2–10 Jahre
Ertrag	14–20 t TM/ha je nach Standort	8–16 t TM/ha je nach Standort	12–18 t TM/ha je nach Standort	8–12 t TM/ha je nach Standort	8–17 t TM/ha ab 3. Standjahr, zur Ernte ca. 85 % TS	8–20 t TM/ha ab 2. Standjahr, je nach Standort, zur Ernte ca. 65 % TS	8–18 t TM/ha je nach Standort und Umtriebszeit, zur Ernte ca. 45 % TS	8–18 t TM/ha je nach Standort und Umtriebszeit, zur Ernte ca. 50 % TS
Verwendung	Co-Ferment in Biogas-anlagen, gute Sillerbar-keit ab 30 % TS, Methan-ausbeute 357 l/kg oTS	Co-Ferment in Biogas-anlagen, gute Sillerbar-keit ab 28 % TS, Methan-ausbeute 313 l/kg oTS	Co-Ferment in Biogas-anlagen, gute Sillerbar-keit ab 28 % TS, Methan-ausbeute 350 l/kg oTS	Brennstoff (17 MJ/kg TM), Aschegehalt ca. 5 %	Brennstoff (17 MJ/kg TM), Aschegehalt ca. 5 %	trockenes Halmgut, Brennstoff (17,6 MJ/kg TM), Aschegehalt 5 %; Rohstoff für Verbundwerkstoffe (Bau-, Faser-platten usw.)	Brennholz (18,5 MJ/kg TM), 1,8 % Asche, Papierroh-stoff ab 12 cm Stamm-durchmesser	Brennholz (18,4 MJ/kg TM), Aschegehalt 2 %

Bei energetischer Verwertung beachten:
Verschlackungsneigung, Chlorwasserstoffbildung, Staubemission

TS = Trockensubstanz oTS = organische Trockensubstanz TM = Trockenmasse WH = Wuchshöhe
weitere mögliche Arten: Robinie, Birke, Eiche, Trauben (Fstel) (Roteiche, durchwachsene Silphie, Grünlandaufwächser, Topinambur, Getreidestroh, Landschaftspflegematerialien u.a.)

Erwartete Vorteilswirkungen durch Anbau und Verwertung von Energiepflanzen:

- Schonung natürlicher und fossiler Ressourcen
- positive Energie- und Treibhausgasbilanz (zukünftig Nachweis durch Zertifizierung inkl. Treibhausgasbilanzierung)
- geringere Abhängigkeit von Rohstoffimporten

- Schaffung regionaler Kreisläufe
- Nutzung schadstoffbelasteter Ackerflächen
- Anbaualternative auf Trockenstandorten (Klimawandel!)

Ausführliche Informationen mit Ergebnissen aus Parzellen- und Praxisversuchen sind den entsprechenden Informationsmaterialien bzw. dem Internetangebot des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie zu entnehmen. www.smlul.sachsen.de/fulg

Abbildung 6: Übersicht über mögliche energiepflanzen¹¹

¹¹ Energiepflanzen Halmgut- und holzartige Kulturen; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2011

3. Entwicklung der Flora und Vegetation für naturbelassene Brachflächen

Weit verbreitet ist die Meinung, dass Industriebrachen für Pflanzen eher problematische Standorte darstelle. Hier fallen Schlagworte wie Schwermetallbelastung und Bodenkontamination durch komplexe organische Verbindungen. Dieses Meinungsbild ist aber nicht mehr als ein Gerücht. Umfangreiche Studien belegen, dass ein industrietypische Flora und Vegetation auf Industriebrachen entsteht.^{12,13,14,15}

Die Abbildungen 7, 8 und 9 liefern einen Überblick über die vorhandenen Bodenqualitäten, das Vegetationsprofil und Beispiele für typische Pflanzen. Diese Pflanzen sind für eine industrielle, energetische Nutzung ungeeignet.

Substrat	Eigenschaft				
	pH-Wert	Wasserspeicher- vermögen	Nährstoff- versorgung	Wärmespeicher- vermögen	Toxizität
Schlacke	+	+	+	++	-
Bergematerial	-	0	+	++	+
Kohle	--	--	-	++	+
Bauschutt	++	+	-	-	-
Sinter	+	0	+	+	0
Kalkschotter	++	--	0	+	0
Basaltschotter	+	--	0	+	0

Abbildung 7: Übersicht über die wesentlichen Substrate auf Industriebrachen und deren Eigenschaften in der Bewertung für die Besiedelung¹⁶

¹² Dettmar J.: Industrietypische Flora und Vegetation im Ruhrgebiet. Dissertationsschrift Botanicae 191, 1992.

¹³ Gausmann P., Weiss J., Keil P., Loos, G. H.: Wildnis kehrt zurück in den Ballungsraum, Die neuen Wälder des Ruhrgebietes, PdN-BioS, 56 (2/56) 2007.

¹⁴ Keil P., Loos G. H.: Dynamik der Ephemerophytenflora im Ruhrgebiet, unerwünschter Ausbreitungspool oder Florenbereicherung; Neobiota, Berlin, 1, 2002.

¹⁵ Reble F., Dettmar J.: Industriebrachen, Ökologie und Management, stuttgart 1996

¹⁶ Keil P., Fuchs R., Loos G. H.: Auf lebendigen Brachen unter extremen Bedingungen, Industrietypische Flora und Vegetation des Ruhrgebietes, PdN-Bios2 2/56 Jg. 2007.

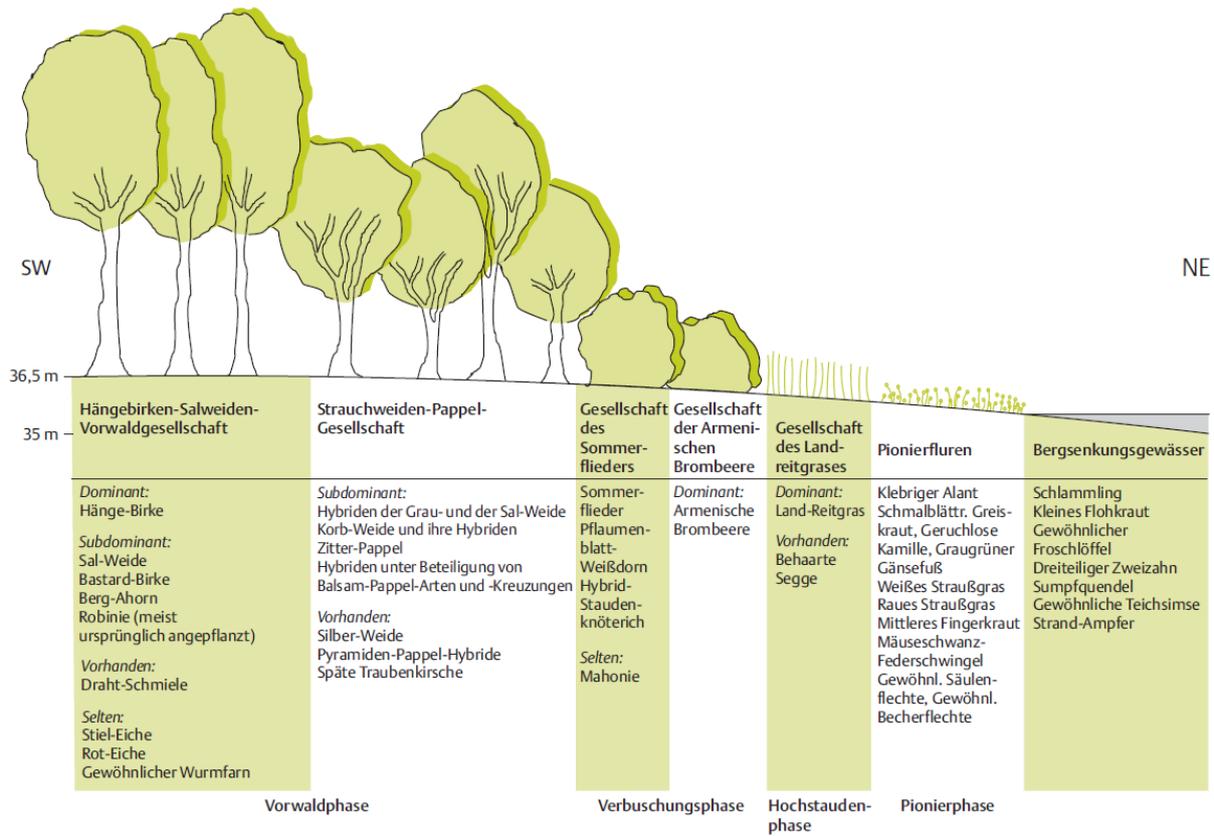


Abbildung 8: Vegetationsprofil durch die Industriebrache „Waldeiche“ in Oberhausen¹⁷

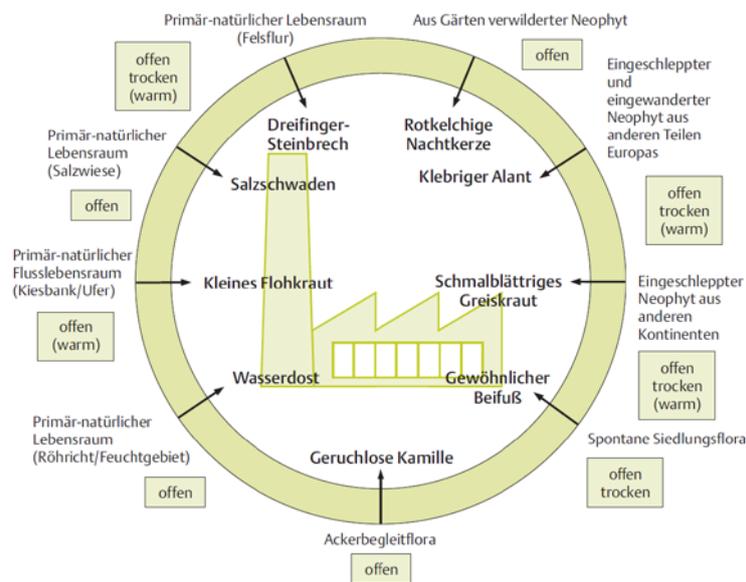


Abbildung 9: Beispiel für charakteristische Industriophyten im Ruhrgebiet¹⁸

¹⁷ Keil P., Fuchs R., Loos G. H.: Auf lebendigen Brachen unter extremen Bedingungen, Industrietytische Flora und Vegetation des Ruhrgebietes, PdN-Bios2 2/56 Jg. 2007.

¹⁸ Keil P., Fuchs R., Loos G. H.: Auf lebendigen Brachen unter extremen Bedingungen, Industrietytische Flora und Vegetation des Ruhrgebietes, PdN-Bios2 2/56 Jg. 2007.



4. Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen auf Brachflächen zur Energieerzeugung

Der Anbau von Energiepflanzen kann sowohl in ausschließlichen Energiepflanzenfruchtfolgen als auch über eine Integration der Energiepflanzen in bestehende Fruchtfolgen eines Betriebes mit Marktfrüchten und Futterpflanzen erfolgen.



Abbildung 10: Einordnung potenzieller Energiepflanzen in das Anbauregime (Ganzpfl.getr. Ganzpflanzengetreide; Sonnenbl. Sonnenblumen; Landsb. Gemenge Landsberger Gemenge; Durchw. Silphie Durchwachsene Silphie)¹⁹

Einen Überblick über die Potentiale der Energiepflanzen liefert die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR).

¹⁹ Kaltschmidt M.: Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer Verlag, Berlin „, Auflage 2010.

Ackergras



Nutzungspfade:

Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff

Vorteile:

schützt vor Bodenerosion, baut Humusschicht des Bodens auf, bindet Kohlenstoff, gut extensiv zu bewirtschaften

Nachteile:

relativ geringe Erträge



Miscanthus (Chinaschilf)



Nutzungspfade:

Wärme, Strom;
stoffliche Nutzung

Vorteile:

mit geringem Arbeitseinsatz über 20 Jahre zu nutzen, schützt vor Bodenerosion, benötigt wenig Dünger und Pestizide

Nachteile:

in den ersten zwei Anbaujahren arbeitsintensiv, Landwirt muss sich mehrere Jahre auf Anbau festlegen



Zuckerrübe



Nutzungspfade:

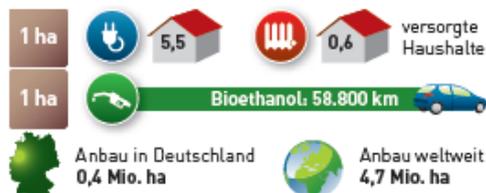
Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Biokraftstoff (Bioethanol);
Biogas

Vorteile:

lange Anbauerfahrung in Deutschland; hoher Zuckeranteil

Nachteile:

geringe Resistenz gegen Schädlinge, geringe Lagerfähigkeit, geringer Trockensubstanzgehalt, höhere Produktionskosten





Durchwachsene Silphie



Nutzungspfade:

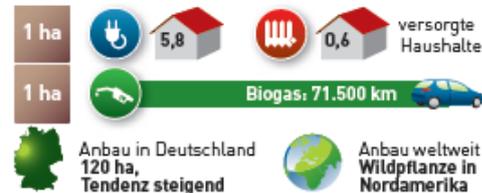
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Futtermittel

Vorteile:

anspruchlose Energiepflanze, lässt sich über 10 Jahre beernten, benötigt keine Pestizide, schützt vor Bodenerosion

Nachteile:

im ersten Anbaujahr sehr arbeitsintensiv, geringe Anbau-erfahrung, mehr Forschung im Pflanzenbau erforderlich



Futterrübe



Nutzungspfade:

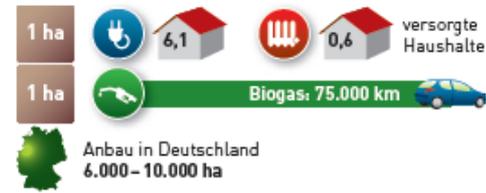
Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff

Vorteile:

späte Ernte entlastet Arbeitsspitzen, relativ anspruchslos

Nachteile:

geringe Resistenz gegen Schädlinge, geringe Lagerfähigkeit, geringer Trockensubstanzgehalt, höhere Produktionskosten



Gerste



Nutzungspfade:

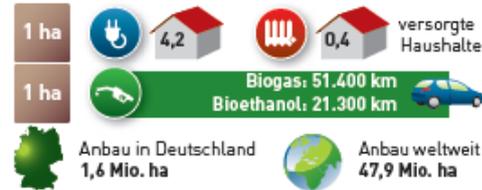
Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

bekannte und weit verbreitete, ertragsstarke Pflanze, an viele Klimaregionen angepasst, lässt sich gut in Fruchtfolgen einbinden

Nachteile:

auf ertragsstarken Standorten geringere Erträge als andere Getreidearten, z.B. Weizen



Jatropha



Nutzungspfade:

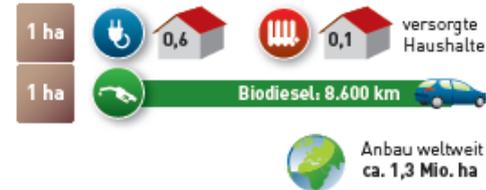
Pflanzenöl → Biokraftstoff (Biodiesel);
Pflanzenöl → Strom, Wärme;
stoffliche Nutzung

Vorteile:

genügsame Pflanze, die auch in Trockenzonen wächst, hochwertiges Pflanzenöl, schützt vor Bodenerosion

Nachteile:

arbeitsintensiv beim Ernten, bisher weltweit geringe Anbau-erfahrung, relativ geringe Erträge



Mais



Nutzungspfade:

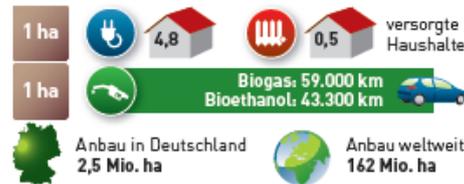
Futtermittel;
Nahrungsmittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

hohe Erträge, weit entwickelte Züchtung und Anbaupraxis,
vielfältige Nutzungsmöglichkeiten

Nachteile:

hoher Wasserverbrauch, Gefahr der Bodenerosion, reduzierte Humusschicht des Bodens



Ölpalme



Nutzungspfade:

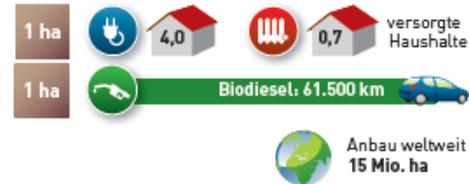
Nahrungsmittel;
stoffliche Nutzung;
Pflanzenöl → Biokraftstoff (Biodiesel);
Pflanzenöl → Strom, Wärme

Vorteile:

vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, wertvolles Koppelprodukt,
hohe Ölerträge, Anbau zur Rekultivierung von degradierten
Flächen möglich

Nachteile:

Düngemittel- und Pestizidbedarf, unmittelbare Verdrängung
von Regenwaldflächen durch Ausweitung von Plantagen



Pappel

(und andere schnell wachsende Baumarten wie Weiden,
Robinien, Birken, Erlen, Eschen in Kurzumtriebsplantagen
(KUP))



Nutzungspfade:

Wärme, Strom;
stoffliche Nutzung

Vorteile:

keine aufwändige Bearbeitung oder Düngen notwendig, bietet
Rückzugsraum für Feldvögel, gliedert die Landschaft

Nachteile:

hohe Anfangsinvestitionen, Landwirt muss sich mehrere Jahre
auf Anbau festlegen



Raps



Nutzungspfade:

Pflanzenöl → Biokraftstoff (Biodiesel);
Pflanzenöl → Strom, Wärme;
Nahrungsmittel;
Futtermittel;
stoffliche Nutzung

Vorteile:

vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, wertvolles Koppelprodukt,
baut Humusschicht des Bodens auf, verbessert die Boden-
struktur und bindet Stickstoff, lockert Fruchtfolgen auf

Nachteile:

hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung



Roggen



Nutzungspfade:

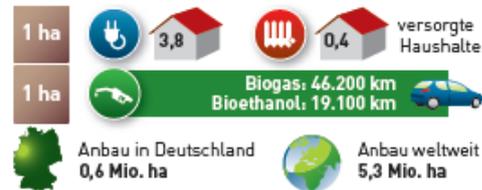
Futtermittel;
Nahrungsmittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

bekannte und weit verbreitete Pflanze, große Sortenvielfalt, lässt sich gut in Fruchtfolgen einbinden

Nachteile:

auf ertragsstarken Standorten geringere Erträge als andere Energiepflanzen, z.B. Weizen



Sojabohne



Nutzungspfade:

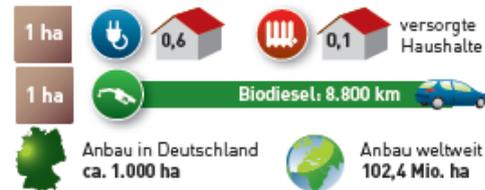
Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Stoffliche Nutzung;
Pflanzenöl → Biokraftstoffe (Biodiesel)
Pflanzenöl → Strom, Wärme

Vorteile:

weltweit lange Anbauerfahrung, Koppelprodukt beim Pressen des Pflanzenöls ergibt hochwertiges Futtermittel

Nachteile:

Bedarf an Pflanzenschutzmitteln



Sonnenblume



Nutzungspfade:

Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Stoffliche Nutzung;
Pflanzenöl → Biokraftstoffe (Biodiesel)
Pflanzenöl → Strom, Wärme
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff

Vorteile:

lässt sich im Mischfruchtanbau z.B. mit Mais anbauen, benötigt wenig Dünger und Pestizide

Nachteile:

relativ hohe Temperaturansprüche, relativ geringe Pflanzenölerträge



Sudangras (Sorghum-Hirse)



Nutzungspfade:

Stoffliche Nutzung;
Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff

Vorteile:

hohe Erträge und geringe Ansprüche an den Boden, kann sich an Trockenperioden anpassen

Nachteile:

langsameres Wachstum erfordert anfangs stärkeren Arbeitseinsatz, geringe Anbauerfahrung in Deutschland



Topinambur



Nutzungspfade:

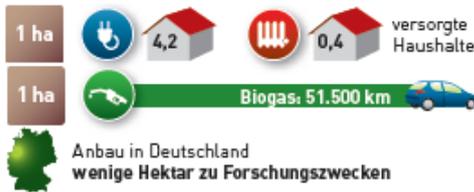
Futtermittel;
Nahrungsmittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

hohe Erträge bei mehrjährigem Anbau

Nachteile:

geringe Anbauerfahrung, Wiederaustrieb der Knollen muss bei Folgefrucht unterdrückt werden



Triticale



Nutzungspfade:

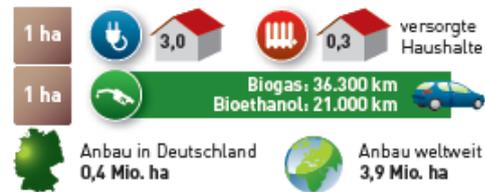
Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

Kreuzung aus Weizen und Roggen, geringe Ansprüche an Boden und Klima, lässt sich gut in Fruchtfolgen einbinden

Nachteile:

mehrere Pflanzenschutzanwendungen erforderlich



Weizen



Nutzungspfade:

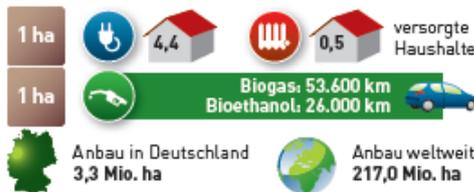
Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Biogas → Strom, Wärme, Biokraftstoff;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

bekannte und weit verbreitete Pflanze, äußerst ertragsstark, lässt sich gut in Fruchtfolgen einbinden

Nachteile:

mehrere Pflanzenschutzanwendungen erforderlich



Zuckerrohr



Nutzungspfade:

Nahrungsmittel;
Futtermittel;
Biokraftstoff (Bioethanol);
stoffliche Nutzung

Vorteile:

kostengünstige Produktion, lange Anbauerfahrung, mehrfache Ernte und hohe Erträge

Nachteile:

Plantagenanbau



Abbildung 11: Zusammenstellung möglicher Energiepflanzen und ihrer Kennwerte²⁰

²⁰ FNR: Der volle Durchblick in Sachen Energiepflanzen, Berlin 2012.

Die für den Anbau von Energiepflanze eingesetzten Flächen sind in letzten 10 Jahren in Deutschland um über 150 % angestiegenen. Abbildung 12 zeigt den Jahresverlauf.

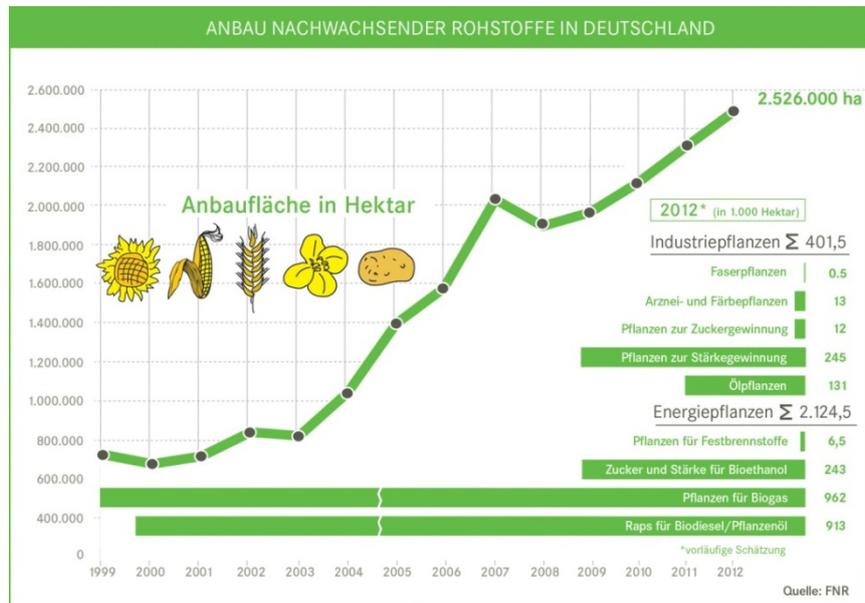


Abbildung 12: Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland 2012²¹

Die Zunahme für den Anbau von Kurzumtriebspflanzen erfolgt deutlich schneller, aber auf einem eher niedrigen Niveau, siehe Abbildung 13. Im Jahr 2011 waren insgesamt ca. 2.400.00 ha mit nachwachsenden Rohstoffen belegt und lediglich ca. 6.200 ha mit Hölzern auf Kurzumtriebsplantagen. Diese Tatsache ist der erst kurzen Entwicklungszeit dieses Anbautyps zu schulden.

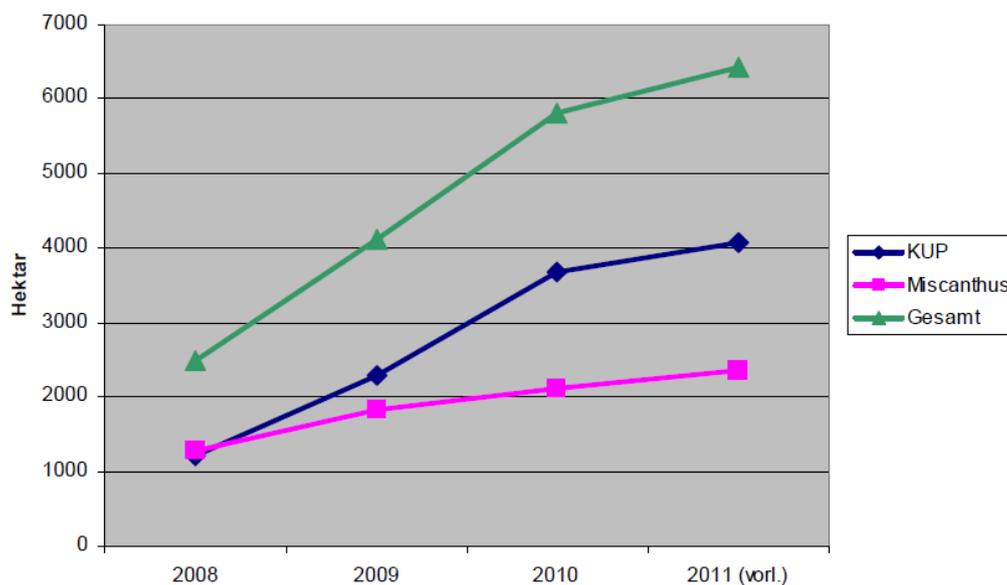


Abbildung 13: Entwicklung Festbrennstoffe auf Ackerflächen in Deutschland (Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus)²²

²¹ Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, www.fnr.de, 2012

²² Invekos (prämienerhaltende Flächen), teils zzgl. Schätzungen der Länder (nicht prämienerhaltende Flächen), Stand Juli 2011

Basierend auf den sich bildenden Märkten haben sich bereits Dienstleister etabliert, die z.B. Erntemaschinen und auch Pflanzen anbieten. Beispielhaft ist hier die www.wald21.com genannt. Abbildung 14 zeigt das entsprechende Angebot.

Unser Angebot

Baumschule

Mit unserer Baumschule haben wir uns speziell auf die Anforderungen bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen eingerichtet und verfügen neben umfassendem Know-how auch über die spezielle Pflanztechnik.

Bei Energiewäldern hängt viel von der Wahl des geeigneten Baums sowie der Auswahl der Sorte ab. Dabei sind die klimatischen Bedingungen und der Boden am Standort ebenso wichtig wie das Produktionsziel und das Ernteverfahren.

Gerne beraten wir Sie bei der Auswahl und nutzen dabei unsere Erfahrung aus dem Energiewaldanbau an über 500 Standorten deutschlandweit.

Pflanzgut

Wir bieten Ihnen für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen ausschließlich langjährig geprüftes und nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zertifiziertes Pflanzmaterial an. Bei den hauptsächlich angebauten Bäumen Weide und Pappel verfügen wir über eine Auswahl der erfolgreichsten und von den Saatgutstellen empfohlenen Sorten. Unser Sortiment umfasst Stecklinge und Setzruten (Länge je nach Erfordernis).

Die einjährigen Ruten / Stecklinge werden in unseren Energiewäldern im Winter frisch geerntet und bis zur Auslieferung im Kühlhaus gelagert. Die Auslieferung erfolgt zeitnah zum gewünschten Pflanztermin.

Pappel

Unser Sortiment umfasst die folgenden geprüften und zugelassenen Hochleistungssorten:

- Max 1, Max 3, Max 4
- Hybride 275 / NE42
- Matrix 24, Matrix 49 (Neu)
- Androscoggin
- Muhle Larssen
- Fritzi-Pauley (Neu)
- weitere Sorten auf Anfrage



Weide

Unser Angebot umfasst die langjährig bewährten so genannten „Schwedischen Sorten“. Diese speziell gezüchteten Hochleistungssorten unterliegen dem Lizenzschutz der schwedischen Firma SalixEnergi. Unsere Auswahl:

- Tora
- Inger
- Tordis
- Sven
- Gudrun
- und andere



» SORTENBESCHREIBUNG WEIDE ZUM DOWNLOAD HIER

Weitere Baumarten

Sprechen Sie uns an, wenn Sie für Ihren Energiewald an anderen schnellwachsenden Baumarten wie Robinie,

Abbildung 14: Angebot an Kurzumtriebshölzern²³

²³ www.wald21.com (Abgerufen 02.12.2012)

Die Landwirtschaftskammern bieten für ihre Mitglieder Informationen über Auswahl, Anbau, Pflege und Ernte der Energiepflanzen an.²⁴ Beispielhaft ist Miscanthus in Abbildung 15 dargestellt.

Steckbrief Energiepflanzen
Pflanzen für Festbrennstoffe

Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

1. Miscanthus



Standortansprüche:
Standort-, Boden-, Wasser- und Wärmeansprüche von Miscanthus sind mit denen von Mais vergleichbar.
Miscanthus braucht zur Ertragsentwicklung lange Vegetationsperioden und Böden mit guter Wasserversorgung. Standorte mit Staunässe, verdichteten Böden und Böden nach Grünlandumbruch sind ungeeignet.

Anbau:
Die Anbaufläche sollte im Herbst mit einer tiefgründigen Bodenbearbeitung vorbereitet werden. Gepflanzt werden Rhizome bewährter Klone nach den Spatfrösten im Mai mit ein bis zwei Pflanzen/m². Im ersten Jahr bestehen die größten Gefahren in ungleichmäßiger Wasserversorgung und Auswinterung.
Hat sich der Bestand am Standort etabliert, bleibt er als Dauerkultur und kann bis zu 20 Jahre genutzt werden. Nach der 20-jährigen Nutzung kann der Bestand durch tiefes Grubbern oder Erösen möglichst in Verbindung mit einem glyphosathaltigen Totalherbizid rekul-

Abbildung 15: Pflanzensteckbriefe Land NRW, Miscanthus²⁵

²⁴ <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/steckbriefe-energiepflanzen.pdf>

²⁵ <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/steckbriefe-energiepflanzen.pdf>

5. Mögliche Energieumwandlungsprozesse der gewonnen Biomassen

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den einzelnen Schritten innerhalb der Versorgungskette mit Biomasse. Da jeder Schritt maßgeblich daran beteiligt ist, dass zur richtigen Zeit die geforderte Qualität und Quantität am entsprechenden Ort zur Verfügung steht, wird von einer „Versorgungskette“ gesprochen. Es entsteht eine logistische Kette, welche eingehalten werden muss um eine kontinuierliche Versorgung z.B. mit Holzpellets und somit eine kontinuierliche Energieversorgung zu gewährleisten

Dabei unterteilt sich diese Versorgungskette in drei Bereiche.

Anbau

Hier wird die Methode der Kurzumtriebsplantage dargestellt, Standortansprüche und den Anbau erläutern, das Ertragspotenzial und schließlich die Ernte. Diese weicht von den bisherigen Vorgehensweisen der Landwirtschaft ab und stellt z.B. aufgrund der langfristigen Landnutzung eine neue Herausforderung dar.

Bereitstellung

Die Bereiche Ernte, Transport, Lagerung und Trocknung werden aus technischer Sicht betrachtet um einen Überblick zu bekommen

Nutzung

Die Hauptnutzung gewonnener Hölzer ist die Produktion von Holzpellets. Grundsätzlich zählen Holzpellets zu den Festbrennstoffen und werden im Wesentlichen durch mechanische Prozesse gefertigt, wobei die physikalischen Eigenschaften der geernteten Energiepflanzen verändert werden. Die relevante Kette wird in der folgenden Abbildung gezeigt. Es gibt andere Ketten bei der Bereitstellung von Biomassebrennstoffen wie zum Beispiel aus Ernterückständen oder Abfällen, jedoch setzen sie weitreichende Umwandlungen im bio-chemischen oder auch thermo-chemischen Bereich voraus. Diese Schritte sind in der folgenden Grafik vernachlässigt worden.

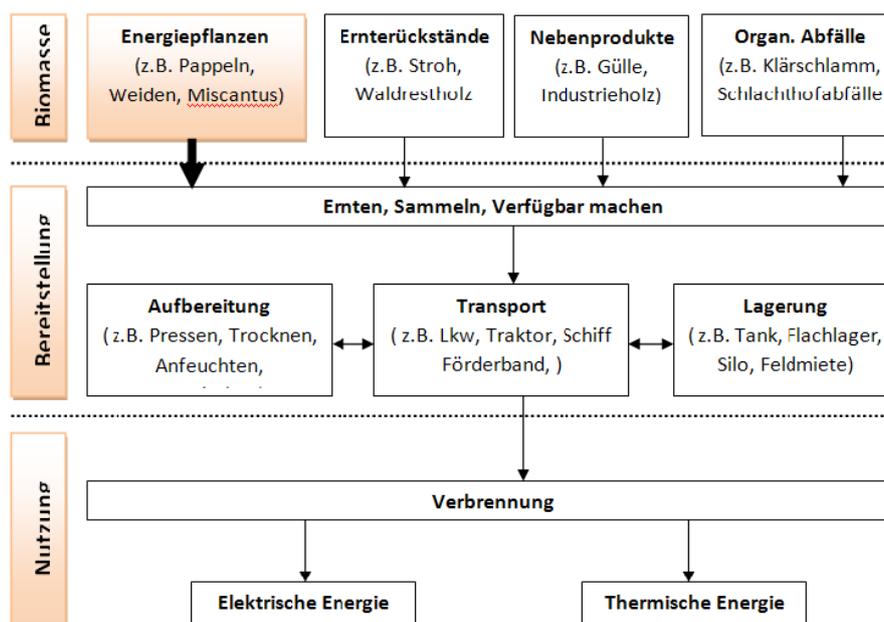


Abbildung 16: Versorgungskette Biomasse



Kurzumtriebsplantagen

Als Kurzumtriebsplantage wird ein Gebiet bezeichnet indem schnellwachsende Baumarten angebaut werden, welche rasch viel Biomasse aufbauen. Diese Baumarten werden als Lignocellulosepflanzen bezeichnet, da ein wesentlicher Anteil der nutzbaren Biomasse aus Cellulose, Lignin und Hemicellulose besteht. In Mitteleuropa werden dafür bevorzugt Weiden und Pappeln aus der Familie der Salicales, mit den Hauptgattungen *Populus* (Pappel) und *salix* (Weide) verwendet.²⁶ Sie sind für ein gemäßigtes Klima am besten geeignet, haben die geringsten Standortansprüche und sind auch ansonsten sehr genügsam, was z.B. Düngung des Bodens etc. betrifft.

Pappeln und Weiden bevorzugen einen festen Boden, der eine ausreichende Wasserversorgung bietet und eine gute Durchwurzelbarkeit sicherstellt. Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide erreichen bei optimalem Wachstum hohe Transpirationsrate. Eine ausreichende Wasserversorgung des Standorts ist damit die wichtigste Voraussetzung für das Erreichen hoher Biomasseerträge. Grundsätzlich lässt sich sagen dass Weiden ein höheres genetisches Ertragspotenzial aufweisen als Pappeln, jedoch können Pappeln unter schlechteren Bedingungen z.B. unzureichende Wasserversorgung oder einer schlechteren Durchwurzelbarkeit des Bodens diesen genetischen Nachteil wieder wettmachen, da sie hier vergleichsweise höhere Erträge aufweisen können. Bei der Sortenwahl ist zudem auf die Resistenz gegen äußere Einflüsse zu achten. So muss die Frostverträglichkeit beachtet werden, die Anfälligkeit gegen Wildverbiss besonders in der Anwuchsphase und andere Auffälligkeiten. Forschungen haben gezeigt dass Mischkulturen die Resistenz der gesamten Plantage erhöhen können und somit der Monokultur vorzuziehen sind.

Ausgangspunkt eines kontinuierlichen und hohen Ertrags ist bei der Anlage jeder Kurzumtriebsplantage die vorherige Bodenbearbeitung. Die gesetzten Stecklinge sind besonders in der Anwuchsphase sehr konkurrenzschwach, sodass jegliche Unkräuter, sowohl oberflächlich als auch innerhalb der Erde, durch mechanische Verfahren (z.B. mehrmalige Bearbeitung mit dem Grubber, einer Zinkegge oder einer Fräse) aber auch durch chemische Verfahren, vernichtet werden sollten. Insgesamt ist eine mechanische Bearbeitung des Bodens empfehlenswert da eine Bodenlockerung (z.B. mit der Pflugfurche) zudem das Einbringen und Anwachsen der Stecklinge erleichtert. Um einem Wildverbiss vorzubeugen, kann die Anbringung von Zäunen von Vorteil sein.

In der Regel werden Kurzumtriebsplantagen im Frühjahr (März bis Anfang April) angelegt. Dabei dienen häufig als Pflanzmaterial ca. 2,5 Meter lange Ruten, welche im Winter nach einem Jahr Wachstumszeit geschlagen wurden und dann in ca. 20 cm lange Steckhölzer unterteilt wurden. Diese wurden dann bei -2 bis -4°C aufbewahrt und können als Stecklinge gesetzt werden. Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen aus Samen wird nicht durchgeführt, da die Samen von Pappeln und Weiden nicht lagerfähig und häufig bereits nach ein paar Wochen nicht mehr keimfähig sind. Für das Anlegen einer Plantage stehen Pflanzmaschinen zur Verfügung. Sie können die ganzen Triebe zerschneiden und direkt einpflanzen. Die Anlage richtet sich dabei nach Baumart, der gewählten Umtriebszeit und der eingesetzten Maschinen.

Weiden werden heutzutage meist in Doppelreihen gepflanzt, mit einem 70 bis 75 cm großen Abstand innerhalb dieser Doppelreihe, um von der Erntemaschine in einem Durchgang erfasst zu werden. Zwischen den Doppelreihen muss ein Abstand von 125 bis 160 cm eingehalten werden damit die Räder der Erntemaschinen nicht die Hölzer beschädigen. Der Abstand der Pflanzen in der Reihe beträgt typischerweise 50 bis 70 cm. Um die Verankerung der Stecklinge zu gewährleisten sollten

²⁶ M. Kaltschmitt, H. Hartmann Energie aus Biomasse, 2009, S.88



Maschinen für anschließende Walzgänge zur Verfügung stehen. Trotzdem ist in geschätzten 15% Ausfall in der Planung zu rechnen. Die folgende Abbildung zeigt wie eine Kurzumtriebsplantage angelegt werden könnte.

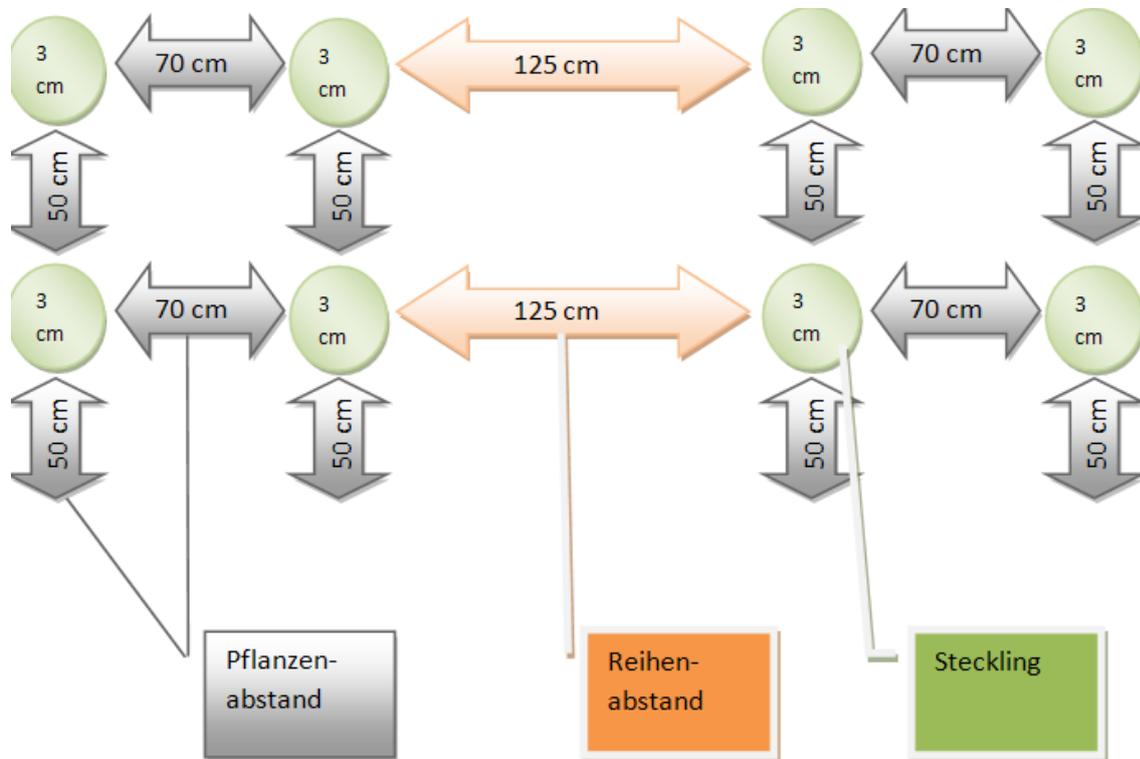


Abbildung 17: Beispiel für die Anlage einer Kurzumtriebsplantage

Erntetechnik	Vollernter	Mähacker	Konvent. Forsttechnik
Geeignete Baumart	Weide, Pappel	Weide, Pappel	Pappel
Umtrieb	2 bis 3 Jahre	3 bis 5 Jahre	> 8 Jahre
Stammdurchmesser	3 bis 7 cm	3 bis 8 cm	> 12 cm
Reihenabstand	Doppelreihe 0,75/1,5 m	1,8 bis 2 m	1 bis 1,5 m
Abstand in der Reihe	0,5, bis 0,75 m	0,5 bis 0,6 m	1 bis 1,5 m
Pflanzenbestand	18.000 bis 12.000 Pflanzen/ha	11 100 bis 8.300 Pflanzen/ha	3.300 bis 2.100Pflanzen/ha

Abbildung 18: Möglichkeiten des Pflanzverbundes auf Kurzumtriebsplantagen



Die Nutzungsdauer einer Kurzumtriebsplantage liegt bei maximal 30 Jahren, üblicherweise muss nach ca. 20 Jahren Nutzungsdauer eine Rekultivierung stattfinden. Innerhalb dieser Zeit wird in bestimmten Zyklen der Umtrieb eingeleitet, bzw. die Ernte eingefahren. In Abhängigkeit von der jeweiligen Erntetechnik kann ca. alle 2 bis 4 oder auch alle 3 bis 5 Jahre in den Wintermonaten geerntet werden. Die Wintermonate eignen sich am besten für die Ernte, da der Boden gefroren ist und die schweren Räder der Maschinen weniger Schaden anrichten können. Die Bestandshöhe der Plantage liegt dann zwischen 6-8 Metern. Die folgende Abbildung gibt eine grobe Übersicht über die möglichen Erträge, gestaffelt nach verschiedenem Ertragsniveau.

Standort	Ertrag [$t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$]		
	gering	mittel	gut
Pappel	3...7	7...11	11...15
Weide	2...5	5...9	9...14

Abbildung 19: Trockenmasseerträge von Pappeln und Weiden bei unterschiedlichen Standortbedingungen²⁷

Bereitstellung

Bis die Biomasse in Form von Holzpellets dem Endverbraucher zur energetischen Nutzung bereit gestellt werden kann, fallen aus technischer Sicht verschiedene Schritte an. Die Biomasse muss von den jeweiligen Plantagen geerntet, abtransportiert und zwischengelagert werden um schlussendlich zu Holzpellets gepresst werden.

Ernte:

Grundsätzlich gibt es aus technischer Sicht zwei Verfahren der Ernte. Prinzipiell müssen aber jeweils die gleichen Arbeitsschritte erledigt werden. „Dazu zählen Fällen (d.h. das Trennen der Stämme vom Stock durch eine Schneidvorrichtung), Vorkonzentrieren (d.h. Zusammenfassen bzw. Sammeln der Holzmasse), Rücken (d.h. das Transportieren des Holzes vom Ort des Fällen zum Feldrand) und ggf. Hacken (d.h. das Zerkleinern des Holzes zu Hackgut).“²⁸

Wird das Holz direkt auf der Plantage zu Hackschnitzel verarbeitet also die jeweiligen Arbeitsschritte kombiniert, spricht man von sogenannten „**kontinuierlichen Verfahren**“²⁹. Hierbei kommen verschiedene Maschinen zum Einsatz, je nachdem ob die Maschine auf dem Feld z.B. mit einem Anhänger fährt und nur dieser gewechselt wird, oder ob die komplette Maschine bei vollständiger Befüllung mit Hackgut getauscht wird. Zum Abtransport der gefüllten Anhänger müssen daher am Feldrand die nötigen Zugmaschinen bereit stehen.

Bei dem zweiten Verfahren erfolgen die einzelnen Arbeitsschritte getrennt voneinander, daher wird von einem „**absätzigen Verfahren**“³⁰ gesprochen. Hierbei wird der gesamte Baum vom Stock an getrennt, anschließend gelegt oder gebündelt. Dabei sind verschiedene Maschinen sogenannte „Fäll-Lege-Maschinen“ oder „Fäll-Bündel-Maschinen“ im Einsatz. Bei beiden Maschinen leisten Kreis, bzw. Kettensägen die Hauptarbeitskraft. Je nachdem welche Maschine im Einsatz ist, muss das abgelegte

²⁷ DLG-Merkblatt 371: Kurzumtriebsplantagen – Anlage, Pflege, Ernte und Wertschöpfung, 2012

²⁸ M. Kaltschmitt, H. Hartmann Energie aus Biomasse, 2009, S.227

²⁹ M. Kaltschmitt, H. Hartmann Energie aus Biomasse, 2009, S.193

³⁰ M. Kaltschmitt, H. Hartmann Energie aus Biomasse, 2009, S.194



oder gebündelte Holz in weiteren Arbeitsschritten zum Feldrand gebracht werden. Von hier erfolgt dann der Abtransport zu der gewünschten Lagerstätte, an welcher dann weitere Schritte (z.B. Hacken, Trocknen, Pressen etc.) stattfinden können.

In der Praxis wird heutzutage meistens noch das kontinuierliche Ernteverfahren mit Hilfe eines sogenannten „Hackgut-Vollernters“ angewendet. Dabei handelt es sich um eine schwere, leistungsstarke Maschine, welche das Holz fällt und direkt durch spezielle Zugführungen an eine integrierte Hackvorrichtung weitergibt. Von dort aus wird das Hackgut über einen Auswurfkanal in einen anhängenden oder parallel fahrenden Sammelwagen gegeben. Je nach Länge des Umtriebszyklus kann mit Holzfrischmasse (zwischen 40-60% Wassergehalt) zwischen **40 und 100 Tonnen pro Hektar** gerechnet werden. Ein Feldhäcksler der die bevorzugte Maschine für Mischplantagen (Pappeln und Weiden) sein sollte, kann bis zu **55 Tonnen Holzfrischmasse pro Stunde** abarbeiten. Ein Mäh Hacker kommt auf ca. 20 Tonnen Holzfrischmasse pro Stunde, aber eignet sich für Mischplantagen nur bedingt, da der buschige Wuchs der Weidenkulturen zu Blockaden im Ernteablauf führen kann. Das Hackgut welches über den Auswurfkanal in den Sammelwagen gegeben wird, weist eine mittlere bis grobe Hackstruktur auf. Mit Schüttdichten von **360-440kg Frischmasse pro m³** ist beim Feldhäcksler zu rechnen.

Grundsätzlich ist aber auch durchaus ein absätziges Ernteverfahren denkbar. Sämtliche Erfahrungswerte beim kontinuierlichen Verfahren basieren auf der Vorbereitung von Hackgut für Großfeueranlagen. Die Ansprüche an die Qualität des Hackgutes sind für die Verfeuerung in Klein und Mikroanlagen deutlich höher. Insbesondere wenn für die Verwertung des Hackguts ein geringer Wassergehalt gefordert wird, kann aus Gründen der Qualitätssicherung und Lagerstabilität eine Zwischenlagerung sinnvoll sein. Im Zwischenlager gibt es verschiedene Trocknungsmethoden, man kann flexibel auf verschiedene Zerkleinerungstechniken zurückgreifen und auf schwankende Nachfragen durch die Schaffung eines Lagers besser reagieren. Der höhere technische und auch organisatorische Aufwand, fällt in einer wirtschaftlichen Betrachtung deutlich negativer in Gewicht.

Transport:

Innerhalb der Bereitstellungskette fallen verschiedenste Transportabläufe an. So müssen Maschinen und Geräte mit Hilfe von LKWs zum entsprechenden Einsatzort geschaffen werden, die geerntete Biomasse in Zwischenlager transportiert werden oder zum Standort der Verfeuerungsanlage. Dabei kann man zwischen Straßentransporten, Schiffstransporten und Schienentransporten unterscheiden. Betrachtet man dabei z.B. den Straßentransport kommen nach Art und Eigenschaften des Transportguts, sowie den lokalen Rahmenbedingungen verschiedene Transportfahrzeuge zum Einsatz. An dieser Stelle fällt auf, dass je nach gewähltem Ernteverfahren (kontinuierlich oder absätzig), unterschiedliche Transportfahrzeuge im Einsatz sind. So müssen beim kontinuierlichen Verfahren, bei dem das Schüttgut noch auf der Kurzumtriebsplantage in Sammelbehälter gefüllt wird, vorwiegend LKWs zum Abtransport der Sammelbehälter oder direkt Sammelfahrzeuge eingesetzt werden. Die Sammelbehälter müssen so gewählt sein, dass sie das Material mit der entsprechenden Schüttdichte optimal aufnehmen können. Hier sind meist Sattelschlepper mit hochwandigem Kastenaufbau im Einsatz. Zudem können Förderbänder und andere unterstützende Maschinen im Einsatz sein. Wird im Gegensatz dazu das absätziges Verfahren angewandt, kommen schwere LKWs mit Anhänger und großer Auflagefläche, für den Abtransport der gefällten Hölzer zum Einsatz. Zudem erfolgt der Materialumschlag mit Hilfe von Kränen.



Es lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass es große Unterschiede im Transport der Biomasse, abhängig von den Eigenschaften der Biomasse, den lokalen Gegebenheiten und den Maschinenkapazitäten der jeweilig involvierten Unternehmen, gibt. Und auch die Entfernungen welche von der Plantage zum Einsatzort zurückgelegt werden muss, spielt bei der Auswahl der Transportfahrzeuge eine wesentliche Rolle. Schiff und Schienentransporte sind beim Transport von festen Bioenergieträgern eher selten. Der logistische Aufwand der betrieben werden muss um große Entfernungen zu überwinden ist meistens sehr hoch, den es müssen Verladestationen und Zwischenlagerplätze zur Verfügung stehen. In den meisten Fällen wird, wenn ein Transport über größere Entfernungen stattfinden soll, an einer oder mehreren Stellen auf den Straßentransport zurückgegriffen und hauptsächlich Schüttgut transportiert. Hierfür stehen die benötigten Transporteinheiten zur Verfügung und können so ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden.

Lagerung:

Biomasse kann an verschiedenen Orten gelagert werden, z.B. bei Unternehmen die Kurzumtriebsplantagen bewirtschaften, dem Pellettproduzenten, dem Zwischenhandel oder aber auch beim Endverbraucher. In jedem Fall sind spezielle Lagerungsstrategien erforderlich um eine kontinuierliche und sichere Brennstoffversorgung zu gewährleisten. Lagereinrichtungen für Biomasse müssen immer ausreichend groß dimensioniert sein und dürfen aber dennoch nicht zu teuer sein. Umso mehr ist dabei ist zu beachten, dass diese Lagerung nicht willkürlich stattfinden kann, sondern einen sehr wichtigen Platz innerhalb der Bereitstellungskette einnimmt. So müssen sogenannte Lagerungsrisiken beachtet und ihnen entgegengewirkt werden, verschieden Lagerungstechniken und damit verbunden verschiedene Fördersysteme genutzt werden.

Gelagerte Biomasse ist immer mit einer großen Anzahl von Risiken verbunden. Im einzelnen sind dies:

- „- *Substanzverlust durch biogene Prozesse (Verlustrisiko)*
- *Selbstentzündungsrisiko (Gefährdungsrisiko)*
- *Pilzwachstum und Pilzsporenbildung (Gesundheitsrisiko)*
- *Geruchsbelästigung (Umweltrisiko)*
- *Wiederbefeuchtung bzw. Umverteilung des Wassergehalts (Qualitätsrisiko)*
- *Agglomeration durch Frostwirkung (technisches Risiko)*
- *Entmischung und Feinabrieb (Qualitätsrisiko)*
- *austretendes Wasser bzw. Sickersaft (Umweltrisiko)*³¹

Ein Großteil dieser Risiken findet ihren Ursprung in biologischen Prozessen innerhalb der Biomasse. Allerdings ist es möglich in diese Prozesse von außen einzugreifen, indem man verschiedene Lagertechniken anwendet. So können z.B. Ort und Art der Lagerung (innen/außen, mit/ohne Abdeckung), Dauer der Lagerung, optimierte Temperaturen, guter Luftzutritt und damit maximale Wärme- und Feuchtigkeitsabfuhr und gewählte Schüttdichten ihren Teil zu einer unkomplizierten und weniger Risiko behafteten Lagerung beitragen.

Bei den verschiedenen Lagerungstechniken unterscheidet man im Groben zwischen Bodenlagerungen im Freien, mit oder ohne Witterungsschutz, der Lagerung in Gebäuden bzw.

³¹ M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2009, S.289



Lagerhallen und der Lagerung in dafür vorgesehenen Behältern wie z.B. Rundsilos oder Rechtecksilos mit Schubböden. Bei der Wahl des Lagerortes muss geschaut werden ob die Brennstoffe bereits aufbereitet wurden, ob eine Wiederbefeuchtung verhindert werden muss, bzw. ob ein Lufttrockener Lagerzustand gefordert ist, beispielsweise um einen gewissen Feuchtegehalt zu halten.

Geschieht dies außerhalb von Gebäuden können Witterungsschutze wie z.B. Dächer oder Planen das Mittel der Wahl sein, zudem sollten Holzpaletten bzw. Bodenplatten den direkten Kontakt zum Boden und den damit verbundenen Feuchtigkeitszutritt verhindern. Zu beachten ist allerdings, dass Planen aus Kunststoff die Trocknung der Biomasse stark behindern können, da kein Luftaustausch stattfinden kann und somit der Wassergehalt nicht sinken kann. Auch können bei der sogenannten Haufenschüttung, wie sie in der Regel außerhalb von Gebäuden angewandt wird, die oben bereits genannten Lagerrisiken verstärkt auftreten.

Wird die geerntete Biomasse dagegen innerhalb von Gebäuden gelagert, ist der Witterungsschutz fast perfekt. Es muss lediglich trotzdem auf eine ausreichende Belüftung geachtet werden um einer Kondenswasserbildung an den Gebäudewänden vorzubeugen. Ansonsten eignen sich fast sämtliche Gebäude, Ställe und Hallen sowohl aus dem landwirtschaftlichen, aber auch aus dem gewerblichen Bereich. Liegt die Biomasse bereits in Form von Schüttgütern vor, ist zudem auf eine ausreichende Stabilität der der Seitenwände zu achten. Grundsätzlich ist belegt, dass eine Einlagerung in Hallen, die weitere Bearbeitungszeit verringert und zudem die Zeitbedarf für die Ein-, und Auslagerung deutlich verringert.

Neben der Lagerung in Hallen ist die Lagerung von Schüttgütern in speziell dafür vorgesehenen Behältern eine typische Vorgehensweise. Diese können entweder in Gebäuden stehen oder bei entsprechendem Witterungsschutz auch außerhalb. Dabei unterscheidet man zwischen Flachlagerzellen und Hochbehältern wie Rundsilos oder Rechtecksilos. Je nach Größe, Form und Brennstoff bestehen spezielle Anforderungen an die Silos bezüglich der Stärke der Wände, den angebrachten Lüftungssystemen und den eingesetzten Lagerein- und Austragungssystemen. Das Schüttgut sollte aber immer „fließfähig trocken“ sein um eine unkomplizierte Entnahme zu gewährleisten. In der Regel bestehen die Behälter aus Holz, Kunststoff oder Metall und sollten über eine möglichst glatte Oberfläche verfügen, um einfach und hygienisch reinigbar zu sein. Rundsilos eignen sich dabei besonders für die Lagerung von Holzspänen. Sie werden in Höhen von bis zu 40 Metern und einem Durchmesser von bis zu 12 Metern gefertigt und sind relativ schnell durch Fertigteile aufzubauen. Hierbei sind jedoch sicherheitsrelevante Vorschriften zu beachten, die in der *„technischen Richtlinie Dampf 414 und der VGB 112 der Berufsgenossenschaft“*³² fixiert sind. Schubbödenlagerungen sind im Gegensatz dazu einfacher zu installieren und durchaus flexibler in der Beschickung und Entleerung. Sie werden auf festen Lagerböden installiert und lassen sich mit LKWs beschicken oder entladen. Im Vergleich zur Haufenschüttung wie es weiter oben beschrieben wurde, steigt das Speichervolumen so durch die seitlichen Begrenzungen um bis zu 100%.

Zudem werden für die Beschickung und Entnahme des Brennstoffs, spezielle Ein-, und Austragungssysteme verwendet. Dabei handelt es sich im Groben um Radlader, Schnecken, Kräne und Förderbänder. *„Für die Auswahl des geeigneten Systems sind zahlreiche Einflussfaktoren zu beachten:*

- *Transportgut (Stückigkeit, Feuchte, Empfindlichkeit)*
- *Transportentfernung*

³²R. Marutzky, K. Seeger, Energie aus Holz und anderer Biomasse, S. 85



- Höhendifferenz
- Lärmbelästigung
- Witterungseinflüsse
- laufende Energiekosten
- Wartungs-, Instandhaltungskosten
- Investitionskosten
- Verfügbarkeit³³

Radlader bilden dabei die einfachste Form des Ein-, und Austragungssystem. Sie sind flexibel einsetzbar und zudem sehr leistungsstark. Alternativ zu den von Menschenhand bedienten Radladern, gibt es automatische Fördersysteme. Sie werden entweder als mechanisches System eingesetzt (Kettensysteme, Schnecken oder Spiralen) oder als pneumatisches System (Gebläse) im Bereich des Feinhackgutes oder der Holzspäne.

Trocknung:

Die Trocknung der gelagerten Biomasse stellt den kompliziertesten Schritt innerhalb der Bereitstellungskette dar. Er ist unverzichtbar, da die frische Biomasse über einen zu hohen Feuchtegehalt verfügt (zwischen 40-60%) und dieser sich direkt auf den Heizwert der Biomasse auswirkt. Sowohl für die Weiterverarbeitung beispielsweise zu Holzpellets aber auch im thermischen Verwertungsprozess innerhalb der Feuerungs-, oder Vergasungsanlage, ist also eine gleichbleibende Materialfeuchte unerlässlich. So kann ein zu feuchter Brennstoff zu einem enormen Anstieg der Emissionen führen, bzw. einen hohen Anteil an unverbrannten Material führen.

„Die gezielte Trocknung der eingesetzten Sortimenten erweist sich zunehmend mehr als notwendig und auch als Chance, Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Holzsortimenten nachhaltig zu verbessern. Es ist ein Weg, um hinsichtlich Homogenität und Gleichmäßigkeit des Heizwertes näher an die konkurrierenden Brennstoffe Öl, Gas und Kohle heranzukommen.“³⁴

Diese Einschätzung, bzw. Bewertung des Trocknungsprozesses stammt aus dem Jahr 1999 und gewinnt in Hinblick auf die Weiterverarbeitung der Biomasse zu z.B. Holzpellets eine enorme Bedeutung. Hier ist es unerlässlich stabile Feuchtegehalte und damit auch stabile Heizwerte garantieren zu können.

Betrachtet man nun also die verschiedenen Trocknungsverfahren muss zwischen natürlicher Trocknung und technischer Trocknung unterschieden werden. Die gewählte Trocknungsmethode wird dabei entscheidend von der Größe, der Struktur und dem Feuchtegehalt des Hackguts beeinflusst.

Natürliche Trocknung:

Für die natürliche Trocknung werden dabei folgende Verfahren angewandt:

- Bodentrocknung

³³R. Marutzky, K. Seeger, Energie aus Holz und anderer Biomasse, S. 90

³⁴R. Marutzky, K. Seeger, Energie aus Holz und anderer Biomasse, S. 73



- natürliche Konvektion
- Selbsterwärmung

Die Bodentrocknung stellt dabei die einfachste Form der Trocknung dar. Das Trockengut wird auf dem Boden auf losen Haufen aufgeschüttet und die vorbeistreichende Luft nimmt die Feuchtigkeit aus dem Holz auf. Diese Methode wird meistens bei Waldrestholz angewandt. Auch für die Trocknung von Holzhackgut eignet sich die Methode der Bodentrocknung. Jedoch muss beachtet werden, dass bei Schüttgut durch die im inneren entstehende Eigenwärme, welche bis zu 80% erreichen kann, die Gefahr der Selbstentzündung steigt. Holzhackgut muss also in regelmäßigen Abständen gewendet werden, bei guten klimatischen Bedingungen und einer geringen Schütthöhe kann aber eine Abtrocknung auf bis zu 20% Wassergehalt innerhalb weniger Tage stattfinden. Um weitere Trocknungsschritte bzw. Energieaufwände zum Trocknen zu sparen, kann also eine Bodentrocknung durchaus sinnvoll sein.

Effektiver als die Bodentrocknung aber vom Prinzip her gleich, ist die Trocknung durch natürliche Konvektion. Dabei wird das Material in Behältern eingelagert, welche eine natürliche Luftdurchströmung durch das Material zulassen. Die Luft wandert so durch das Holzhackgut, nimmt die Feuchte auf und transportiert sie so ab. Zu beachten ist hierbei dass je nach Jahreszeit eine Abnahme der Feuchtigkeit, aber auch ein erneuter Anstieg des Feuchtegehalts durch feuchte Luft passieren kann.

Neben dem Prinzip der Bodentrocknung und der natürlichen Konvektion trägt die Selbsterwärmung von aufgeschütteten Materialien zu einer Trocknung bei. Durch rasch einsetzende biologische Abbauprozesse innerhalb der Haufen kommt es im Inneren zu einer Erwärmung von bis zu 80%. Durch diese Erwärmung wird Wasser verdampft, steigt in dem Haufen auf und erzeugt so eine aufwärts gerichtete Luftbewegung. Hat man z.B. das Holzhackgut in von den Seiten und von unten Luft durchlässigen Behältern gelagert, kann kühle und trockene Luft nachströmen und so äußerst effizient zur natürlichen Trocknung beitragen, jedoch mit geringen Substanzverlusten. Zu beachten ist jedoch, dass das Verfahren der natürlichen Selbsterwärmung mit erheblichen Risiken verbunden ist. Nur bei sehr grobem Hackgut kann die Luft problemlos ohne technische Unterstützung durch die Haufen strömen. Wird das Hackgut feiner und somit dichter, wird die Luftdurchströmung behindert und es kann zu Schimmelbildungen kommen und das Risiko der Selbstentzündung steigt.

Technische Trocknung:

Neben der natürlichen Trocknung gibt es verschiedene technische Verfahren um die geerntete Biomasse zu trocknen. Diese haben den Vorteil, dass die Trocknung schneller abläuft und Lagerrisiken verringert werden können. Grundsätzlich geschieht die Trocknung des Hackguts fast immer während der Lagerung. Technische Anlagen zur Trocknung stellen also meistens eine Ergänzung zu bestehenden Lagerplätzen da. Sie können also innerhalb der Bereitstellungskette in den meisten Fällen zeitlich und räumlich als Einheit betrachtet werden. Man unterscheidet dabei zwischen Systemen mit und ohne Gutförderung.

Bei dem System ohne Gutförderung handelt es sich meistens um sogenannte Satz-, bzw. Kastentrockner. Dabei befindet sich das zu trocknende Hackgut entweder in Silos oder in kastenförmigen Behältern in Gebäuden, welche mit einem belüfteten Boden ausgestattet sind. Durch ein Gebläse wird von unten Luft in den Haufen geleitet, welcher so durchströmt wird und mit den Techniken der natürlichen Trocknung Feuchtigkeit aufnimmt. Hierbei muss überlegt werden ob eine

Durchströmung mit Luft auf Umgebungstemperaturniveau oder eine Warmlufttrocknung Sinn macht. Im Wesentlichen hängt es von der verfügbaren Trocknungszeit ab. Die folgende Abbildung zeigt das Grundprinzip eines solchen Satz- bzw. Kastentrockners.

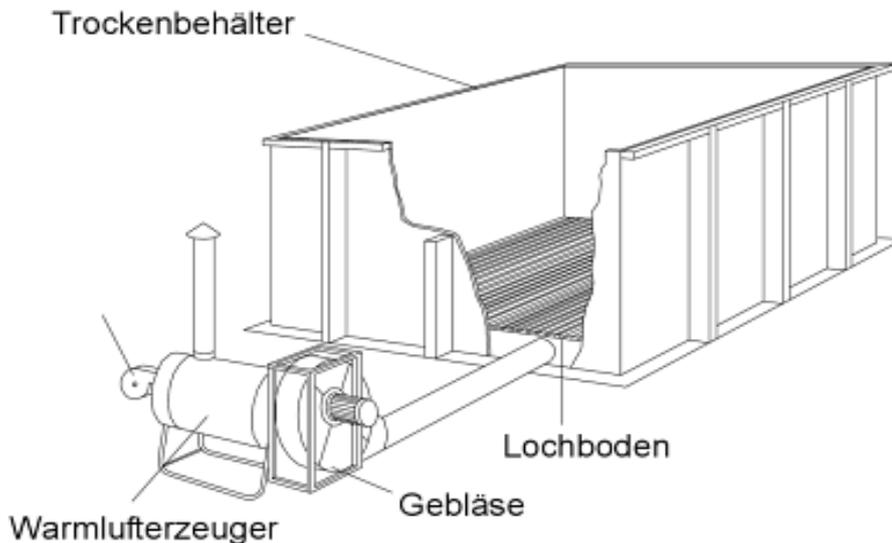


Abbildung 20: Grundprinzip eines Satz- bzw. Kastentrockners³⁵

Neben diesem System kommen noch Systeme mit Gutförderung, also mit Bewegung im Trockengut zum Einsatz. Auch hier gibt es Ausführungen von Satz- bzw. Kastentrocknern, nur dass hierbei kontinuierlich das Hackgut umgewälzt wird. Häufiger kommen jedoch sogenannte Schubwender, Bandtrockner und Trommeltrockner zum Einsatz. Diese sind nicht an der Lagerstelle installiert, so dass hier nicht mehr von einer räumlichen und zeitlichen Einheit innerhalb der Bereitstellungskette gesprochen werden kann. Der Aufwand ist somit deutlich höher und auch kostenintensiver, doch z.B. bei der Vortrocknung von Hackgut, bzw. Sägespänen welche für die Pelletherstellung genutzt werden sollen, unerlässlich. Generell arbeiten sämtliche Trockner nach einem ähnlichen Prinzip. Über ein luftdurchlässiges Förderband oder Vibrorinnen wird das feuchte Hackgut durch den Trockner geführt und dabei von einem Warmluftstrom getrocknet. Exemplarisch wird in der folgenden Abbildung die Funktionsweise eines Bandtrockners aufgezeigt. Er arbeitet mit relativ geringen Trocknungstemperaturen von ca. 75 bis 110 °C. Von der Trocknungsaufgabe aus wird das Hackgut gleichmäßig auf einem luftdurchlässigem Förderband verteilt und durchläuft so langsam den Trockner. Dabei wird es innerhalb des Trocknungsbereichs mit Warmluft durchströmt. Fühler messen dabei kontinuierlich die verbleibende Restfeuchte und geben so ein Signal an das die Steuereinheit des Förderbandes welches daraufhin die Geschwindigkeit drosselt oder erhöht. Am Ende des Förderbandes gelangt das getrocknete Hackgut zum Auswurf, wird gegebenenfalls noch mit Bürsten gereinigt und kann nun weiterverarbeitet werden.

³⁵ M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2009

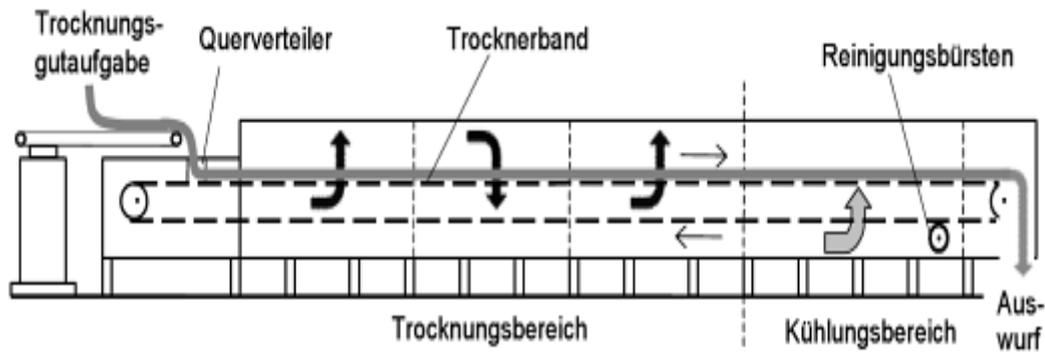


Abbildung21: Funktionsweise eines Bandrockners³⁶

Pelletierung:

Die Grundidee, Holzreste und Sägespäne die im Holzverarbeitendem Gewerbe als Abfallprodukt angefallen waren, energetisch weiter zu verwerten ist schon Jahrzehnte alt. Damals wurden die Holzreste direkt verbrannt und somit wieder direkt zur Energieerzeugung genutzt. In den folgenden Jahren wurden erste Versuche unternommen Briketts herzustellen. Diese hatten den Vorteil dass so die Abfälle verdichtet wurden, der Heizwert gesteigert und neue Lagerkapazitäten freigesetzt werden konnte. Seit Anfang der 90er Jahre fing man an Pellets, in den meisten Fällen Holzpellets herzustellen. Die Technik dazu stammt ursprünglich aus Kanada. Auch hierbei waren die Überlegungen die Gleichen. Es sollte ein Brennstoff geschaffen werden, der ein geringeres Volumen als ganze Holzscheite aufweisen kann, dabei über einen hohen Heizwert verfügt und zudem einfach in der Handhabung ist. So sind Holzpellets heutzutage ein sehr feinstückiger, fast staubfreier Brennstoff der leicht zu verpacken und optimal zu dosieren ist. Diese Qualitätsanforderungen spiegeln sich in europaweit geregelten Richtlinien und Normen wieder. In diesen werden neben der Größe weitere Brennstoffparameter wie Wassergehalt, Heizwert, Dichte, Festigkeit und insbesondere auch der Einsatz von Bindemitteln reglementiert. Die beiden wichtigsten Richtlinien im deutschen Raum sind dabei die DIN 51 731 und die DIN plus-Pellets, auf europäischer Ebene die CEN TC 335 welche eine Erweiterung der bestehenden Normen CEN/TS 14961 und CEN/TS15234 bildet.

Soll die gelagerte und getrocknete Biomasse zu Holzpellets weiterverarbeitet werden, stellt die Pelletierung einen weiteren Schritt innerhalb der Versorgungskette, genauer innerhalb des Bereiches „Bereitstellung“ ein. Dabei müssen erneut verschiedene Arbeitsschritte hintereinander bearbeitet werden, so dass sich eine eigene Prozesskette wie folgt ergibt:

³⁶ M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2009

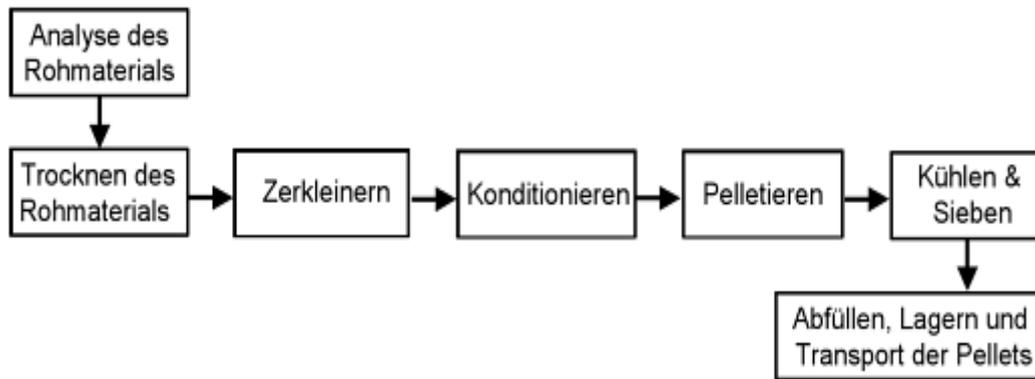


Abbildung 22: Prozesskette beim Pelletieren³⁷

Die Analyse des Rohmaterials zur Pelletherstellung erfolgt dabei in Hinblick auf den späteren Einsatz. So können die Anforderungen an Wassergehalt, Stückigkeit und Faserstruktur des Rohmaterials unterschiedlich sein, je nachdem ob die späteren Pellets z.B. in kleinen oder großen Anlagen verbrannt werden. Auch gibt die Analyse des Rohmaterials schon einen Aufschluss über den Arbeitsaufwand und damit Energieeinsatz der folgenden zwei Prozessschritte (Trocknen und Zerkleinern).

Der Prozessschritt „Trocknen des Rohmaterials“ findet meist, wie in dem vorherigem Kapitel „technische Trocknung“ beschrieben, statt. Mit Hilfe von Bandtrocknern etc. wird der Wassergehalt der Späne auf 10-14% gesenkt. Nach dem Trocknen findet eine erneute Zerkleinerung der Sägespäne statt. Neben einer einheitlichen Größe wird dadurch die spezifische Oberfläche der Späne erhöht wodurch sich das natürlich im Holz vorhandene Bindemittel Lignin bei der folgenden Pressung aufspalten kann. So muss später weniger Bindemittel von außen beigemischt werden.

Auch der folgende Schritt das Konditionieren zielt auf eine Verbesserung der Bindeeigenschaften der Holzspäne ab. Dabei wird im Konditionierer, in dem die Späne für kurze Zeit verweilen, der Feuchtegehalt der Späne ermittelt um ihn eventuell weiter zu senken oder zu erhöhen. In jedem Fall muss der Wassergehalt an dieser Stelle gleichmäßig für alle Späne sein um so das Lignin zu erweichen. Neben dem natürlichen Bindemittel werden im Konditionierer weitere Bindemittel von außen hinzugegeben. In Deutschland wird für die Herstellung von Holzpellets vorrangig Weizen- und Maisstärke verwendet. Dabei gibt es klar definierte Werte wie viel Bindemittel von außen beigemischt werden darf, da sie neben physikalisch-, mechanischen Veränderungen auch chemisch-, stoffliche Veränderungen bewirken können. Die Obergrenze liegt hierfür in Europa bei 2%.

Nach dem Konditionieren kommt der eigentliche Schritt des Pressens, bei dem aus dem aufbereiteten Pressgut die späteren Pellets hergestellt werden. In den meisten Fällen werden dazu Kollergangpressen mit Lochmatrizen verwendet. Die folgende Abbildung zeigt das Arbeitsprinzip einer Kollergangpresse mit Ringmatrize:

³⁷ M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2009

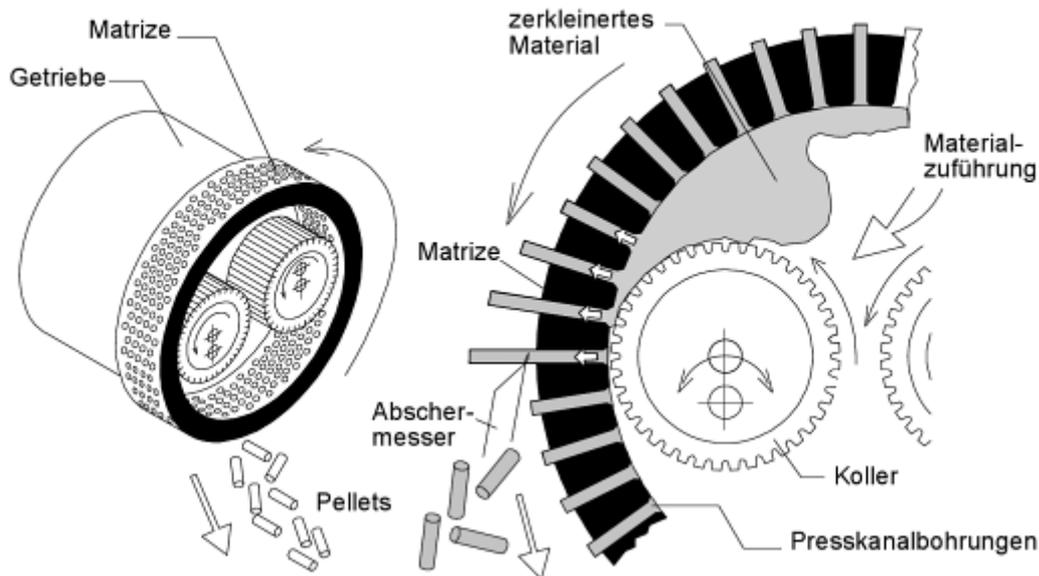


Abbildung 23: Arbeitsprinzip einer Kollergangpresse mit Ringmatrize³⁸

Nach diesem Prozessschritt weisen die Pellets einen Durchmesser von 6 bis 8 mm und eine Länge zwischen 5 und 45 mm auf. Durch die Pressung bei teilweise über 1000 bar bleiben die Pellets bis zur Verfeuerung in einem äußerst stabilen Zustand. Sie müssen jedoch noch abgekühlt werden und von lose anhaftendem Material getrennt werden. Nach dem sie die Presse verlassen haben herrschen noch Temperaturen von bis zu 130 °C welche auf 25°C abgesenkt werden muss. Dazu werden Gegenstromkühler eingesetzt, welche zudem nochmal 1 bis 2% Restfeuchte mit abführen. Anschließend wird gesiebt und die Pellets werden in weiteren Prozessschritten abgefüllt, wieder eingelagert oder zu Feuerungsanlagen transportiert. Auch hierbei müssen gewisse Anforderungen erfüllt werden, um beispielsweise eine Wiederbefeuchtung zu vermeiden.³⁹ Abschließend lässt sich sagen, dass trotz der auf den ersten Blick energieintensiv erscheinenden Trocknungs- und Pressprozessschritten, der Energiebedarf während der Pelletierung deutlich unter 2% des Endenergiegehalts der fertigen Pellets liegt. Im Vergleich dazu werden über 10% des Endenergiegehalts bei fossilen Energieträgern wie Erdöl zur Veredlung benötigt.⁴⁰

Für die verschiedenen Verfahrensschritte, Biomassen und Nutzungspfade ergeben sich Gesteungskosten zwischen 3,8 und 18 €Cent pro kWh. Die folgende Abbildung liefert einen detaillierten Überblick.

³⁸ M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2009

³⁹ Vgl. M. Kaltschmitt, H. Hartmann Energie aus Biomasse, 2009, S.268 -275

⁴⁰ Vgl. Kai Dobelmann, Planung und Installation von Bioenergieanlagen, Kapitel 2, S. 35

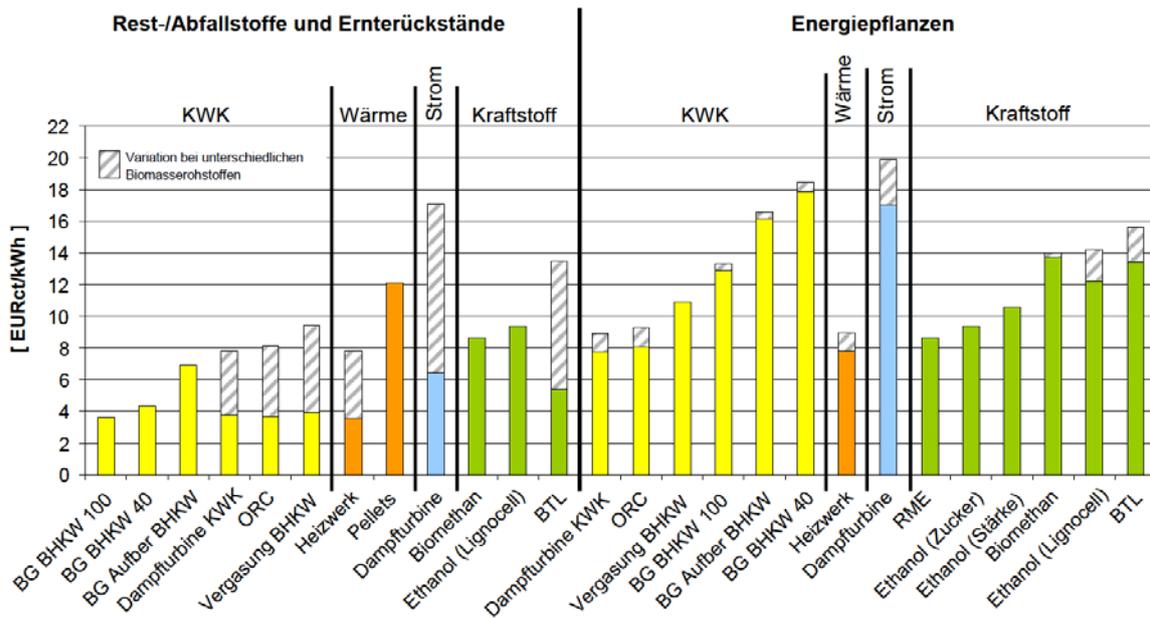


Abbildung 24: Gestehungskosten unterschiedlicher Prozessketten unterteilt nach den Konversionsverfahren und den Bereichen KWK, Wärme, Strom und Kraftstoffe⁴¹

⁴¹ König A.: Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis zum Jahr 2030, Dissertationsschrift Uni Stuttgart, 2010.



6. Analyse und Beschreibung möglicher Rahmenbedingungen der Biomassenströme

Umfangreiche Analysen insbesondere in ⁴² lassen eine relativ eindeutige Hierarchie im Hinblick auf die Erreichung energie- und umweltpolitischer Zielsetzungen und vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen Betrachtung von technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten für eine vorteilhafte und zielführende Biomassenutzung erkennen:

1. Wärmebereitstellung
2. KWK-Nutzung von Festbrennstoffen (z. B. Holz, Stroh)
3. Bereitstellung gasförmiger Kraftstoffe (Biomethan bzw. SNG)
4. Bereitstellung flüssiger Biokraftstoffe der 2. Generation / Stromproduktion im Kondensationsbetrieb / Biogas-Nutzung im BHKW mit hoher Wärmenutzung
5. Bereitstellung von flüssigen Biokraftstoffen der 1. Generation / Biogas-Nutzung im BHKW mit geringer Wärmenutzung

Es werden Schlussfolgerungen im Hinblick auf eine effiziente Landnutzung und Energiepflanzennutzung ableitet.

- Die Nutzung von KUP ist im Vergleich zu anderen Energiepflanzen mit hohen Massenerträgen und geringen stofflichen und energetischen Aufwendungen verbunden und führt zu einem Energieträger (Holz), für den die Nutzungstechnologien zur Bereitstellung von Wärme und Strom ausgereift sind. Hohe Massenerträge können auch mit Mais erreicht werden, der jedoch mit einem deutlich höheren Aufwand an Dünger und Pflanzenschutzmittel verbunden ist als mehrjährige Kulturen wie KUP (oder Miscanthus).
- Für die Nutzung von Mais zur Biogasproduktion sollte eher der Pfad der Aufbereitung des Gases zur Kraftstoffbereitstellung eingeschlagen werden, als der Pfad zur Verstromung mit geringen Wärmenutzungsgraden auf dem landwirtschaftlichen Hof.
- Der Anbau von Raps zur Bereitstellung von Rapskorn als Rohstoff für die RME-Produktion weist vergleichsweise geringe Hektarerträge und einen hohen Aufwand an Dünger und Pflanzenschutzmittel auf. Der geringe Gesamtnutzungsgrad der Prozesskette zur Produktion von RME führt zu einer vergleichsweise wenig effizienten Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche beim Anbau und der Nutzung von Raps.
- Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Flächennutzung sollte darüber hinaus bei der Nutzung anderer Rohstoffe wie z. B. bei Waldrestholz und Stroh berücksichtigt werden, dass mit einer übermäßigen Biomasseentnahme aus dem Ökosystem auch ein nennenswerter Nährstoffentzug verbunden ist, der ggf. durch Düngemaßnahmen ausgeglichen werden muss.

Die Nutzung von Reststoffen stellt sich stets deutlich günstiger im Hinblick auf die mit der energetischen Biomassenutzung verbundenen Zielsetzungen und Erwartungen, nämlich der kostengünstigen Vermeidung von THG-Emissionen und Substitution fossiler Energieträger, dar. Daher sollte bei einer zukünftigen Nutzung von Biomasse verstärkt auf die Reststoffpotenziale zugegriffen werden. Dies gilt insbesondere für die bisher kaum genutzten Strohpotenziale. Aufgrund der

⁴² König A.: Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis zum Jahr 2030, Dissertationsschrift Uni Stuttgart, 2010

vergleichsweise geringen Gesamtpotenziale von Reststoffen ist allerdings der Beitrag, der damit zur THG-Minderung in Deutschland zu erwarten ist, eher gering.

Optimierungspotenzial für die Prozessketten besteht beispielsweise bei der Produktion von Biokraftstoffen der 1. Generation durch die energetische Nutzung der Koppelprodukte. Hier muss durch Optimierung der Produktionsketten erreicht werden, dass die notwendigen TGH-Minderungen erreicht werden.

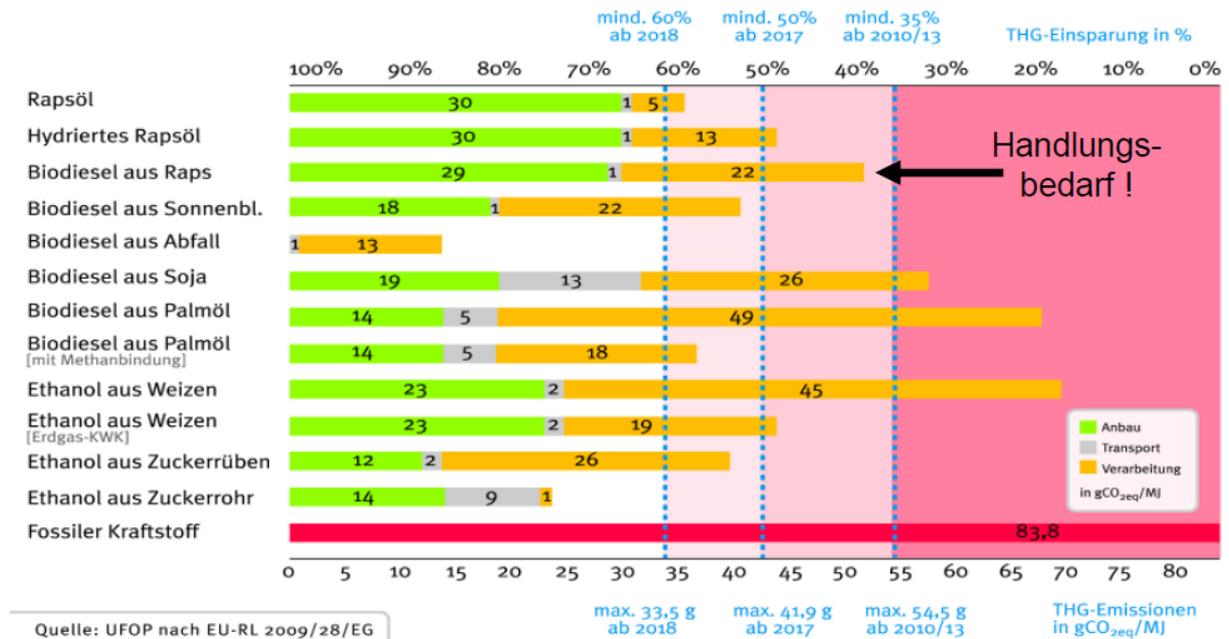


Abbildung 25: Handlungsbedarf im Bereich TGH Emissionen zur Erreichung der politischen Ziele⁴³

Die Entwicklungen der heutigen und zukünftigen Konversionstechnologien sollten auch im Hinblick auf eine verstärkte Nutzung von halmgutartiger Biomasse vorangetrieben werden, damit die enormen Energiepflanzen- und Strohpotenziale möglichst effizient genutzt werden können. Zudem sollte bei der Produktion und Bereitstellung der Biomasse, vor allem in der Landwirtschaft, der Energieeinsatz verringert werden. Durch eine Anpassung mittels spezieller Züchtungen oder genetische veränderter Pflanzen, an die von der konventionellen Nahrungs- und Futtermittelproduktion abweichenden Ansprüche an die Pflanzen, können zusätzliche Potenzialsteigerungen und höhere Flächenerträge realisiert werden. Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe schätzt, dass in 2050 ca. 23 % des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland über Biomassen gedeckt werden kann, Abbildung 26.

⁴³ UFOP nach EU-RL 2009/28/EG: Standart - TGH _ Emissionen für Biokraftstoffe

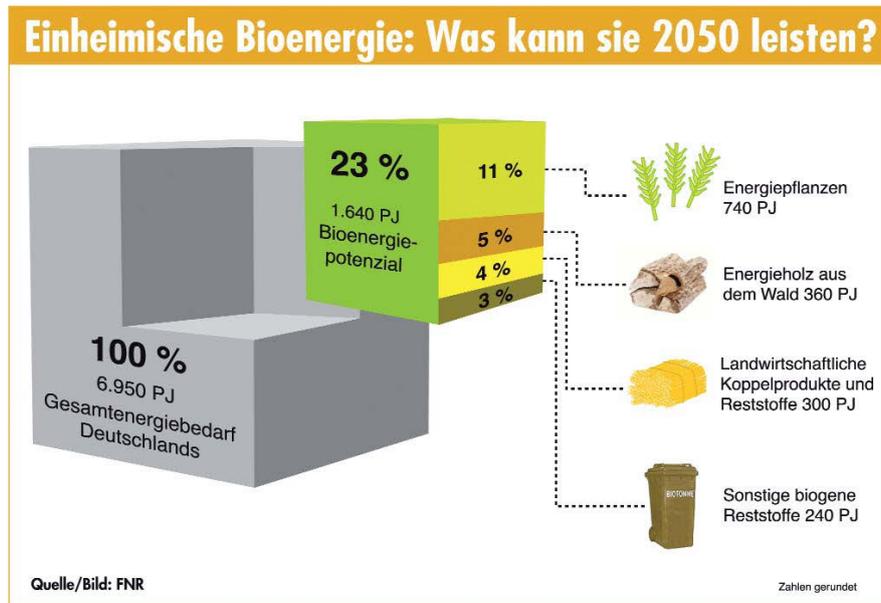


Abbildung 26: Anteil der Biomasse an der Energiebereitstellung in Deutschland in 2050⁴⁴

Das Bundeslandwirtschaftsministerium hält den Zuwachs an Anbaufläche für Kurzumtriebsplantagen trotz umfangreicher Forschungsförderung für relativ gering und ausbaufähig. Die Gründe werden in der vertraglichen Gestaltung der langfristigen Bindung der Flächen, den hohen Anfangsinvestitionen und dem eingeschränkten Anbau auf Grünland gesehen. Diese Argumente sprechen alle für den Anbau von Energiepflanzen, insbesondere Kurzumtriebsplantagen auf Industriebrechen.⁴⁵

⁴⁴ FNR 2012: Spitzentechnologie ohne Ende

⁴⁵ Dr. Hans-Jürgen Froese, Leiter des Referats 525 Entwicklung der Energiepflanzenproduktion im Rahmen der EU-Agrar- und Energiepolitik. 3. Symposium Energiepflanzen, Berlin, November 2011