bioenergie.fnr.de

GRUNDLAGEN UND PLANUNG VON BIOENERGIEPROJEKTEN

DACHLEITFADEN BIOENERGIE

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

IMPRESSUM

Herausgeber
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Redaktion
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR),
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit

Autorinnen/Autoren
Dr. sc. agr. Ludger Eltrop, Dr. sc. agr. Marlies Härdtlein, Dr.-Ing. Till Jenssen,
Dr.-Ing. Enver Doruk Özdemir, Dipl.-Ing. Martin Henßler, Dr.-Ing. Christoph Kruck
Die Verantwortung für den Inhalt liegt alleine bei den Autoren.

Bilder
Titel: Getty Images, FNR
Sofern nicht am Bild vermerkt: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Gestaltung/Realisierung
www.tangram.de, Rostock

Druck
www.druckerei-weidner.de, Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 640
FNR 2014

9 783942 147132

ISBN 3-942147-13-2

VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,
Biomasse ist der vielseitigste regenerative Energieträger. In fester, flüssiger und gasförmiger Form kommt Biomasse für die Bereitstellung von Wärme, Prozessdampf, Strom und Biokraftstoffen zum Einsatz. Energie aus Biomasse spielt im Reigen der verschiedenen erneuerbaren Energien die Hauptrolle. An den erneuerbaren Energien hat Bioenergie einen Anteil von rund 70 % und trägt 8 % zum Gesamtenergieverbrauch in Deutschland bei.

Deutschland nimmt mit der Energiewende – mit dem Ausstieg aus der Kernenergie, den ambitionierten Zielen zur Energieverbrauchsreduzierung bei Strom, Wärme und Mobilität und der Umstellung der Energiewirtschaft auf vorwiegend erneuerbare Energieträger – international eine Vorreiterrolle ein. Im Jahr 2050 sollen 60 % des Energiebedarfs in Deutschland aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Bioenergie ist dabei unverzichtbar.

Der Ausbau der Bioenergie und anderer erneuerbarer Energien gemäß den Energie- und Klimazielen der Bundesregierung und der einhergehende Umbau des Energiesystems ist eine gesellschaftliche Herausforderung ersten Ranges. In Deutschland sind erhebliche nutzbare Potenziale für Bioenergie vorhanden, gleichwohl ist die Bioenergie nicht unbegrenzt verfügbar. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Ackerflächen und die Konversion der Biomasse hat hohen Anforderungen an Ertrag, Effizienz und Nachhaltigkeit zu genügen. Die land- und forstwirtschaftliche Flächennutzung ist dabei auch mit naturschutzfachlichen und landschaftsökologischen Ansprüchen abzugleichen.

Immer mehr Bürger, Kommunen, Regionen und Unternehmen erkennen die Chancen einer nachhaltigen Bioenergienutzung und die damit verbundenen Möglichkeiten für Arbeit und Wertschöpfung insbesondere in ländlichen Räumen. Hier entwickeln sich aus einzelnen Bioenergieprojekten funktionierende Bioenergiedörfer, in denen Bürger, Gesellschaften und Genossenschaften wirtschaftlich erfolgreich sind und dabei wesentlich zum Klima- und Umweltschutz beitragen.

Der Dachleitfaden Bioenergie bietet Informationen zu den übergeordneten Fragen der Bioenergienutzung. Er richtet sich an all diejenigen, die Bioenergieprojekte initiieren, diese als Investor oder Projektierer planen oder aber in Banken und Behörden prüfen und bewerten. Möge Ihnen dieser Leitfaden für die Entscheidungsfindung sowie bei der Planung und Umsetzung von Bioenergieprojekten eine wertvolle Hilfe sein.

Dr.-Ing. Andreas Schütte
Geschäftsführer Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

INHALT

1	**Der Dachleitfaden – Ziele und Inhalte im Kontext der Leitfadenfamilie**	**6**
1.1	Die Leitfadenfamilie – Information, Orientierung, Umsetzung	6
1.2	Der „Dachleitfaden Bioenergie“ – Zielsetzung	7
1.3	Der „Dachleitfaden Bioenergie“ – Aufbau und Gliederung	8
2	**Biomasse als regenerativer Energieträger**	**10**
2.1	Bioenergie – Stand und Ausgangslage	10
2.2	Biomasse und Bioenergie – Definitionen	12
2.3	Bioenergie heute – Rahmenbedingungen und Anforderungen	12
2.4	Bioenergie – das politische Umfeld	14
2.5	Energieerzeugung aus Biomasse – Technologien, Pfade und Systeme	15
3	**Biomassepotenziale weltweit und in Deutschland – Zahlen und Fakten**	**20**
3.1	Potenziale weltweit	21
3.2	Potenziale in Deutschland	25
3.3	Treiber von Bioenergiepotenzialen	28
4	**Nachhaltigkeit von Bioenergie**	**30**
4.1	Für und Wider der Energiegewinnung aus Biomasse	30
4.1.1	Ökologische Dimension der Nachhaltigkeit	31
4.1.2	Ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit	34
4.1.3	Soziale Dimension der Nachhaltigkeit	36
4.2	Nachhaltigkeit einordnen: Prinzipien, Indikatorensätze und Verfahren	40
4.2.1	Die Nachhaltigkeitsverordnungen für flüssige Biomasse	42
4.2.2	Die Nachhaltigkeitsindikatoren der Global Bioenergy Partnership (GBEP)	44
4.2.3	Multikriterielle Analyse (MCDA) und Bewertung von Wärmetechnologien	44
4.2.4	Leitplanken für die internationale Biomassenutzung	46
4.3	Synopse Nachhaltigkeit	46
5	**Planung und Realisierung umfangreicher Bioenergieprojekte**	**48**
5.1	Herausforderungen und Aufwand – Kategorisierung von Bioenergieprojekten	48
5.2	Projektablauf bei umfangreichen Bioenergieprojekten	50
5.2.1	Projektskizze und Machbarkeitsstudie	52
5.2.2	Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung	53
5.2.3	Genehmigungsverfahren	54
5.2.4	Ausschreibungsverfahren	54

5.2.5	Lieferung, Montage, Schulung, Inbetriebnahme, Probebetrieb, Abnahme	55
5.2.6	Betrieb der Bioenergieanlage	55
5.3	Projektbeteiligte und Projektstrukturen	56
5.3.1	Projektbeteiligte	56
5.3.2	Projektstrukturen	58
5.4	Biomassebereitstellung, Betreibermodelle und Rechtsformen	60
5.4.1	Biomassebereitstellung	60
5.4.2	Betreibermodelle für Bioenergieanlagen	62
5.4.3	Rechtsformen	63
5.5	Finanzierung und Förderung	65
5.5.1	Finanzierung	65
5.5.2	Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Förderprogramme	69
5.6	Öffentlichkeitsarbeit	70
6	**Beispiele der guten fachlichen Praxis**	**75**
6.1.1	Bioenergiedorf Feldheim	75
6.1.2	Holzheizkraftwerk mit ORC-Modul zur regenerativen Nahwärme- und Stromversorgung	76
6.1.3	Anlage zur Wärmeversorgung und Nutzung verschiedener Holzsortimente	78
6.1.4	Biogasanlage mit umfassendem Wärmenutzungskonzept	79
6.1.5	Heizwerk mit Strohverbrennung	80
6.1.6	Anlage zur Biokraftstoffnutzung	81
6.1.7	Bioenergiedorf Wettesingen	82
7	**Autoreninformation und Literaturverzeichnis**	**83**
7.1	Informationen zu Autorinnen und Autoren	83
7.2	Literaturverzeichnis	84
7.3	Informationsangebot FNR Mediathek	93

1 DER DACHLEITFADEN – ZIELE UND INHALTE IM KONTEXT DER LEITFADENFAMILIE

Biomasse ist und bleibt der wichtigste erneuerbare Energieträger in Deutschland. Die energetische und auch die stoffliche Nutzung von Biomasse haben sich in den letzten Jahren sehr dynamisch und mit hohen Steigerungsraten entwickelt. Biomasse ist ein vielseitiger Werk- und Brennstoff, zu dem eine Fülle unterschiedlichster Nutzungstechnologien zur Verfügung steht. Die Bioenergie eröffnet darüber hinaus neue Optionen in der Land- und Forstwirtschaft. Sie ist damit zu einem veritablen Faktor mit wichtiger allgemeinwirtschaftlicher und energiepolitischer Bedeutung für Deutschland geworden. Mit einem Satz: Bioenergie ist ein Multitalent der erneuerbaren Energien.

Die Bioenergie ist aber auch in die Kritik geraten. Sie verdränge die Nahrungsmittelproduktion, sei wenig effizient und nachhaltig, und trage nur in geringem Maße zur Energieversorgung bei.

Der vorliegende „Dachleitfaden Bioenergie“ will im Kontext dieser unterschiedlichen Bewertungen das Wissen und die Erfahrungen aus den letzten Jahren der ‚modernen‘ Bioenergie aktuell aufarbeiten und für mehr Klarheit und Orientierungswissen zur energetische Nutzung von Biomasse sorgen. Gleichzeitig möchte er auf wissenschaftlicher Grundlage in die Leitfadenfamilie der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) einführen.

1.1 Die Leitfadenfamilie – Information, Orientierung, Umsetzung

Der „Dachleitfaden“ und die Leitfadenfamilie der FNR haben das Ziel in Form von praxisorientierten Handreichungen und Standardwerken die energetische Nutzung von Biomasse in ihren wesentlichen Technologiefeldern (feste, gasförmige und flüssige Bioenergieträger) darzustellen und für Fachleute und Laien aufzubereiten. Alle Werke der Leitfadenfamilie wenden sich an fachlich versierte Interessenten, die einerseits einen Überblick über verfügbare Technologien und Nutzungsmöglichkeiten und andererseits auch ein vertieftes Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse und Technologien bekommen wollen.

Im Zuge des Ausbaus des Bioenergiesektors haben sich seit der Erstellung des ersten „Leitfaden Bioenergie“ im Jahre 2000 (mit vollständiger Überarbeitung 2005 und der 3. Auflage 2007) die Technologien erheblich ausdifferenziert. Dies äußert sich auch in den verschiedenen Publikationen und ‚Leitfäden‘ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) zum Thema „Energetische Biomassenutzung“ (siehe www.fnr.de):

- die Leitfäden „Biogas“ (2004, mit der 6. überarbeiteten Auflage 2013), „Biogasaufbereitung und -einspeisung (2006, mit der 4. vollständig überarbeiteten Auflage 2014)“, „Bioenergie im Gartenbau“ (2007) und „Wege zum Bioenergiedorf“ (2008 mit der 3. Auflage 2011),
- die Handbücher „Bioenergie-Kleinanlagen“ (2003 mit der 3. überarbeiteten Auflage 2013) und „Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen“ (2007 mit der 2. Auflage November 2009),
- die Studien, z. B. die vergleichende Analyse „Biokraftstoffe“ (mit der 2. Auflage 2009), sowie
- die Marktübersichten „Pelletheizungen“ (2002 mit der überarbeiteten und aktualisierten 7. Auflage 2013), „Scheitholzvergaser-/Kombikessel“ (2004; mit der überarbeiteten und aktualisierten 8. Auflage 2012) und „Hackschnitzelheizungen“ (2007 mit der überarbeiteten und aktualisierten 4. Auflage 2013), oder
- der Schriftenreihe Gülzower Fachgespräche mit einer Fülle unterschiedlicher Themen mit sehr weitem Fokus z. B. zur Strohenergie (2012) oder zu Energiepflanzen (2009) oder sehr konzentrierter Ausrichtung wie z. B. „Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses“ (2011).

Mit dem vorliegenden „Dachleitfaden Bioenergie“ wird eine übergeordnete Struktur der Leitfadenfamilie entwickelt (siehe Abb. 1.1). Mit dem Dachleitfaden werden grundsätzliche Informationen zur Bioenergie, zu ihren Potenzialen und Nachhaltigkeitsaspekten (z. B. ökologische Bilanzen und Wirtschaftlichkeit) und zur Planung und Realisierung von Projekten für die verschiedenen Anwendungsmöglichkeit der Bioenergie im Bereich Strom- und Wärmeversorgung vergleichend und im Kontext zueinander dargestellt. Damit bildet der Dachleitfaden eine Klammer um die verschiedenen Leitfäden und vereint Aspekte, die für die verschiedenen Biomassesortimente und die dazugehörigen Technologien gleichermaßen relevant sind. Durch die ausführliche Behandlung von Grundlagen der Projektentwick-

Abb. 1.1: Struktur der Leitfadenfamilie

lung für Bioenergieprojekte wird die praxisorientierte Ausrichtung auch des Dachleitfadens unterstrichen.

Durch die Erstellung des Dachleitfadens wird auch eine Straffung der einzelnen Leitfäden in Bereichen angestrebt, die alle Nutzungen und Technologien gleichermaßen betreffen und nicht spezifisch für einzelne Sortimente oder Bioenergieträger sind.

Jeder einzelne Leitfaden soll für sich genommen weiterhin ein kompaktes Gesamtwissen und die notwendigen Informationen zur Entwicklung des jeweiligen Projektes bieten. Dort, wo es allgemein wichtige Informationen und Zusammenhänge gibt (z. B. im Bereich der „Nachhaltigkeitsbewertung“) wird jedoch ein Bezug zum übergeordneten ‚Dachleitfaden‘ hergestellt. Wo der Dachleitfaden allgemeine Grundsätze und Sachverhalte vermittelt und die erste Prüfung die „Machbarkeit“ der Projektidee sicherstellen soll, vermittelt der einzelne (Fach-)Leitfaden die vertieften Detailinformationen für ein spezielles Segment bzw. einen Nutzungsbereich.

Je nach Interessens- und Bedarfslage der Leserinnen und Leser kann der Dachleitfaden und die zugeordneten Fachinformationen (Leitfäden, Handreichungen, Datensammlung) auch selektiv gelesen werden. Die verschiedenen Werke folgen dabei, dem in Abbildung 1.2 dargestellten grundsätzlichen Aufbau mit den jeweils benannten inhaltlichen Schwerpunkten.

Damit stellt die Leitfadenfamilie ein umfassendes Werk für fast jeden Anspruch und jedes Interesse zur energetischen Nutzung von Biomasse dar.

1.2 Der „Dachleitfaden Bioenergie“ – Zielsetzung

Der vorliegende „Dachleitfaden Bioenergie“ will in diesem Rahmen ein grundlegendes Informations- und Orientierungswissen zum Thema Bioenergie für einen weiten Adressatenkreis – fachlich interessierte Laien, Entscheidungsträger und Experten – bieten. Er stellt das ‚Dach‘ und die Plattform für relevante Grundinformationen zur Entwicklung von Bioenergieprojekten dar. Weiterführende und spezielle Informationen für die verschiedenen Anwendungsfelder werden in den jeweiligen Fachleitfäden geboten.

Dachleitfaden Bioenergie	Teil 1: Grundlagen der energetischen Biomassenutzung	• Rahmenbedingungen und Nutzung von Biomasse (Kap. 2) • Potenziale Biomasse (Kap. 3) • Nachhaltigkeit von Bioenergie (Kap. 4)
	Teil 2: Grundlagen der Projektentwicklung (Kap. 5)	• Projektphasen • Projektstrukturen • Betreibermodelle und Rechtsformen • Finanzierung und Förderung • Öffentlichkeitsarbeit
	Teil 3: Beispiele der guten fachlichen Praxis	
Fachleitfäden und Handreichungen zur Nutzung fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse	• Grundlagen • Bereitstellung von Biomasse-Brennstoffen und Substraten • Grundlagen zur Energiebereitstellung und -umwandlung • Anlagentechnik und Anlagenbeispiele • Kosten und Wirtschaftlichkeit • Rechtliche Anforderungen und Rahmenbedingungen • Förderung und Unterstützung • Anlagen mit spezifischen Detailinformationen	
Datensammlung Bioenergie	• Grafiken, Tabellen und Abbildungen zur Weiterverarbeitung im Grafik- und EXCEL-Formaten	
Spezielle Themen und Marktübersichten	• Spezielle Biomassesegmente • Spezielle Anwendungsfälle • Marktanalysen • Marktübersichten	

Abb. 1.2: Gliederung und grundsätzlicher inhaltlicher Aufbau der Werke in der Leitfadenfamilie als Leseorientierung zur Information bzw. Entwicklung und Realisierung von Bioenergie-Projekten

Hierzu wird im „Dachleitfaden“ die Bioenergie in einer großen Breite und Allgemeingültigkeit behandelt und die wesentlichen Anwendungsfelder, nämlich

- die Bereitstellung und Nutzung von Wärme, Strom und Kraftstoffen,
- feste, flüssige und gasförmige Bioenergieträger, sowie
- kleine, mittlere und große Anlagen

behandelt. Der Dachleitfaden bemüht sich hierbei um die Erfüllung eines ganzheitlichen Anspruches. Er will eine Mittlerrolle zwischen Experten und fachlich interessierten Laien (z. B. politischen Entscheidungsträgern) einnehmen, also die wichtigen Grundlageninformationen so kompakt und doch erschöpfend zusammenstellen, dass eine reflektierte und fundierte Grundsatzentscheidung für oder gegen ein Projekt möglich wird. Er ist einerseits mit einem Abstraktionsgrad formuliert, um der geforderten Breite und Allgemeingültigkeit gerecht werden zu können, andererseits bietet er auch konkrete Projektbeispiele, anhand derer die eigene Idee überprüft werden kann. Es wird grundsätzlich auf die Situation in Deutschland als geographischem Raum eingegangen. Durch neu und aktuell recherchierte Informationen in einer Quelle entfällt die Informationsbeschaffung bei vielen verschiedenen Informationsstellen.

Die Ziele des vorliegenden „Dachleitfaden Bioenergie“ sind damit:

- Interesse an der Entwicklung und Umsetzung eigener Projektideen zu wecken,
- einen ersten Einblick in die vielfältigen Möglichkeiten zur Nutzung von Biomasse als Energieträger (Grundlagen, Abläufe und Technologien) zu verschaffen,
- fachliche Hintergrundinformationen für eine reflektierte Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen (dem „Für und Wider“) der Bioenergienutzung, insbesondere den Fragen zur Nachhaltigkeit, bereitzustellen, und
- einen Überblick über Strukturen und Phasen der Projektentwicklung und -realisierung, und damit zu den Möglichkeiten und Grenzen einer Umsetzung, zu geben.

Der Dachleitfaden möchte für möglichst viele Personen Informationen über den aktuellen Stand und zukünftige Optionen für die Bioenergie bereitstellen und das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer zukunftsorientierten Energie- und Umweltpolitik schaffen. Er macht deutlich, dass eine stärkere Nutzung der Bioenergie aufgrund der vorhandenen Potenziale auch in Deutschland möglich ist und dabei wichtige Beiträge zum Klimaschutz geleistet werden können. Gleichzeitig möchte der Dachleitfaden für einen reflektierten und differenzierten Umgang mit der Bioenergie werben und die sachlichen Grundlagen für einen solchen Diskurs bereitstellen. Denn auch die vielen positiven Aspekte der Bioenergie schließen negative Auswirkungen und Zielkonflikte per se nicht aus: Biomasse ist sicherlich kein unbegrenzt steigerbarer Energievorrat! Mit anderen Worten: die Bioenergie bietet viele Möglichkeiten, sie hat aber auch Grenzen. Diesem Ansatz zur ausgewogenen Darstellung ist die gesamte Leitfadenfamilie verpflichtet.

1.3 Der „Dachleitfaden Bioenergie“ – Aufbau und Gliederung

Der „Dachleitfaden Bioenergie“ umfasst fünf fachliche Kapitel, in denen gebündelte und grundsätzliche Informationen zur Bioenergie vorgestellt und analysiert werden. Diese Themen lassen sich in drei Teile gliedern. Im ersten Teil werden die wesentlichen Entwicklungen der Bioenergie in den letzten Jahren und die grundsätzlichen Nutzungsmöglichkeiten in aller Kürze dargestellt (Kap. 2). Weiterhin werden die wichtigen Themen zur Einordnung der Möglichkeiten und Grenzen der Bioenergie in den Abschnitten „Potenziale“ (Kap. 3), und „Nachhaltigkeit“ (Kap. 4) behandelt. Im zweiten Teil werden „Grundsätze der Projektentwicklung und -realisierung“ (Kap. 5) vorgestellt, soweit sie Bioenergieprojekte in ihrer gesamten Breite betreffen. In den Fachleitfäden werden hierzu spezielle Fachinformationen zu den jeweiligen Themen bereitgestellt. Schließlich werden in einem dritten Teil beispielhafte Projekte ‚der guten fachlichen Praxis‘ aus einzelnen Teilbereichen der Bioenergie vorgestellt. Diese Projektdarstellungen sind in erheblich vertiefter Weise auch in den einzelnen Fachleitfäden vorzufinden.

Im Folgenden werden Aufbau und Inhalte die einzelnen Kapitel des Dachleitfadens kurz vorgestellt.

Kap. 2: Biomasse als regenerativer Energieträger – Entwicklung, Rahmenbedingungen und Technologien

Im Kapitel 2 werden die wesentlichen Entwicklungen im Bioenergiesektor der letzten Jahre vorgestellt sowie die politischen Rahmenbedingungen, national, EU-weit und weltweit aufgezeigt. Weiterhin werden ein Überblick über den aktuellen Stand der Nutzung fester, gasförmiger und flüssiger Bioenergieträger und damit die notwendigen Basisinformationen für eine effiziente und nachhaltige Nutzung an die Hand gegeben.

Kap. 3: Biomassepotenziale weltweit und in Deutschland – Zahlen und Fakten

Im Kapitel 3 werden die rohstoffseitigen Rahmenbedingungen und Potenziale für die energetische Nutzung von Biomasse erörtert. Dazu gehört eine Definition und Erläuterung der Verwendung des Potenzialbegriffs, anhand dessen die Menge und Verfügbarkeit der Biomasserohstoffe vorgenommen wird. Anschließend wird die Datenbasis für die Potenzialabschätzungen dargestellt, die Potenziale weltweit und in Deutschland aufgezeigt und mit dem gegenwärtigen Stand und Umfang der Biomassenutzung abgeglichen. Hiermit wird das „freie“ oder „ungenutzte“ Potenzial genauer beziffert. Durch die Potenzialanalysen sollen dem Leser Informationen und Perspektiven für die Bioenergiebereitstellung weltweit und in Deutschland und damit eine Grundlage für strategische Planungen zur energetischen Nutzung von Biomasse aufgezeigt werden.

Kap. 4: Nachhaltigkeit der Bioenergie – Das Für und Wider einer Energiegewinnung aus Biomasse

Die Bioenergie hat für Deutschland eine große Bedeutung für die Energiebereitstellung aber auch für die Treibhausgasbilanz bekommen. Dies schließt auch wichtige ökonomische und sozio-ökonomische Effekte ein. Weltweit und auch in Deutschland sind hierbei verstärkt die Umweltwirkungen der Biomasse-

nutzung in die Kritik geraten bzw. thematisiert worden. Daher wird in Kapitel 4 explizit das Thema „Nachhaltigkeitsbewertung der Bioenergie“ behandelt und vor dem Hintergrund des ‚Drei-Säulen-Modells‘ der Nachhaltigkeit die ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen und Zusammenhänge der Bioenergie beleuchtet. Dies umfasst auch die knappe Einführung in ganzheitliche Bilanzierungsmethoden und Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Außerdem werden Indikatoren(-systeme) für verschiedene Bioenergieverfahren mit beispielhaften Ergebnissen vorgestellt. Schließlich werden die unterschiedlichen Nachhaltigkeitsaspekte der Bioenergie in einer Synopse zusammengeführt und diskutiert. Ziel ist es, dem Leser die fachlichen Grundlagen für eine reflektierte Auseinandersetzung mit den Nachhaltigkeitsaspekten der Bioenergienutzung zur Verfügung zu stellen.

Kap. 5: Planung und Realisierung von Bioenergieprojekten
In Kapitel 5 wird ein Überblick über die Grundlagen der Projektentwicklung und Umsetzung sowie Organisation und Struktur eines Bioenergie-Projektes gegeben. Hierbei wird u. a. darauf eingegangen, welche Phasen es bei der Entwicklung, Planung und Realisierung von Bioenergieprojekten gibt, welche Projektbeteiligten zu berücksichtigen sind, welche Betreiber-, Organisations- sowie Finanzierungsmodelle es für Bioenergieanlagen gibt und wie die Organisation der Brennstoff- oder Substratversorgung sicherzustellen ist. Auf der Grundlage der Erfahrungen bei der Realisierung von Bioenergievorhaben in den letzten Jahren werden weiterhin die Möglichkeiten zur Öffentlichkeitsarbeit aufgezeigt. Damit werden dem Leser die notwendigen Information für eine erfolgreiche Projektrealisierung an die Hand gegeben.

Kap. 6: Beispiele der guten fachlichen Praxis
Im abschließenden Kapitel 6 werden aus allen Bereichen der Bioenergie Projektbeispiele der guten fachlichen Praxis gegeben. Dabei kann nur eine sehr eingeschränkte Bandbreite an Projekten vorgestellt werden, weitere Beispiele werden in den Fachleitfäden vorgestellt. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf Projekten, die eine gute Integration verschiedener Technologien, ggf. aus mehreren Bereichen der Bioenergie sowie eine hohe Gesamteffizienz aufweisen und die bestehenden Rahmenbedingungen optimal nutzen. Die Beispiele sollen die breiten und teils allgemeinen Grundlageninformationen im Dachleitfaden auf eine praxisorientierte Basis stellen.

Die breite Ausrichtung des Dachleitfadens bringt es mit sich, dass nicht alle Aspekte erschöpfend behandelt werden können. Der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung der Grundlagen für eine robuste und erfolgreiche Projektentwicklung von Bioenergieprojekten. Weiterführende Literatur findet sich einerseits in den einzelnen stärker auf einzelne Technologien ausgerichteten Fachleitfäden, andererseits aber auch in den anderen Werken und Themenportalen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) – www.fnr.de.

2 BIOMASSE ALS REGENERATIVER ENERGIETRÄGER

2.1 Bioenergie – Stand und Ausgangslage

Die Bioenergie ist vor dem Hintergrund ihrer Eigenschaft als gespeicherte Sonnenenergie, der Vielfältigkeit ihrer Erscheinungsformen und der Endlichkeit und Verteuerung konventioneller Energieträger eine vielversprechende und erneuerbare Art der Energieversorgung. Sie trägt bereits heute den höchsten Anteil zum regenerativen Teil der Energieversorgung in Deutschland bei. Dank der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Biomasse zur Wärme-, Strom- und Kraftstofferzeugung und Dank erprobter Technologien sowie Erfolg versprechender Entwicklungen bestehen gute Aussichten, dass sie auch zukünftig wichtige Beiträge zur Energieversorgung und zur Treibhausgasminderung leistet. Dementsprechend spielt die Bioenergie auch im Energiekonzept der Bundesregierung eine prominente Rolle [Bundesregierung, 2011].

In der letzten Dekade hat sich der Bioenergiesektor rasant verändert und weiter entwickelt:

- Die Nutzung der Bioenergie ist enorm angestiegen. Sie liegt 2013 bereits bei 8 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Ihr Anteil unter den erneuerbaren Energieträgern in Deutschland beträgt 62 % [BMWi, 2014].
- Die Bioenergie wird in unterschiedlichsten Anwendungen (Wärme/Kälte, Strom, Kraftstoffe) und Technologien breit genutzt. Eine Reihe neuer Techniken und Verfahren wurden entwickelt, eingeführt und/oder verbessert. Durch eine Standardisierung und breite Marktpräsenz sind die Kosten vieler Technologien deutlich zurückgegangen.
- Die Rahmenbedingungen zur Nutzung der Bioenergie haben sich durch neue Gesetze und Verordnungen deutlich verändert, und
- Die Marktbedingungen (Kosten, Preise, Unternehmen, Handel) haben sich durch Etablierung und Professionalisierung von Bereitstellungs- und Nutzungskonzepten und eine Internationalisierung des Brennstoffhandels seit den Anfangsjahren im großen Maße geändert.

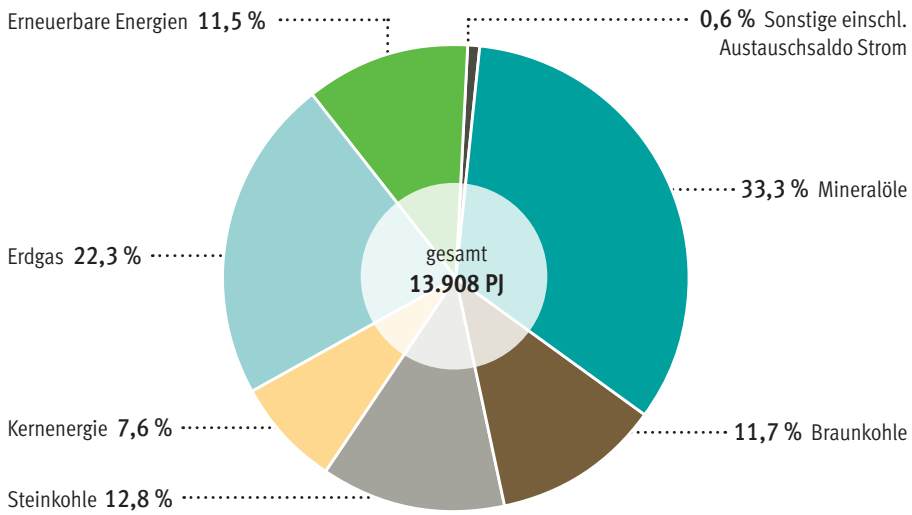
Heute ist die Energieversorgung in Deutschland weiter durch einen hohen Anteil fossiler Energieträger dominiert. Der Primärenergieverbrauch in Deutschland resultiert zu ca. 33 % (4,6 EJ) aus Mineralölprodukten, zu etwa 25 % (3,4 EJ) aus Stein- und Braunkohlen, zu ca. 22 % (3,1 EJ) aus Erdgas und zu 8 % (1,1 EJ) pro Jahr aus der Kernenergie (Abb. 2.1).

Der Anteil der Versorgung aus erneuerbaren Energien steigt. Sie tragen insgesamt mit 11,5 % (1,6 EJ) zum Primärenergiebedarf in Deutschland bei [AGEB, 2014] und sind damit bedeutender als der Anteil aus Kernenergie. Unter den erneuerbaren Energien in Deutschland hat die Bioenergie den größten Anteil. Bei einem Endenergieverbrauch 2013 von 9.300 PJ und einem Gesamtanteil der erneuerbaren Energien von 12,3 % (1.145 PJ), liegt der Anteil der Bioenergie insgesamt bei 710 PJ und fast 8 %. Dabei ist der Anteil bei der Wärmebereitstellung mit 117 von insgesamt 133 TWh (88 %) deutlich größer als bei der Stromerzeugung (48 von 153 TWh, 31 %). Bei der Bereitstellung regenerativer Kraftstoffe ist die Biomasse nahezu der ausschließliche Energieträger [BMWi, 2014]. Bei der Stromerzeugung führte die energetische Biomassenutzung in Deutschland 2013 zur Reduktion von 27 Mio. t Treibhausgasemissionen und bei der Wärmeerzeugung waren es weitere 33 Mio. t Treibhausgasemissionen [BMWi, 2014]. Darüber hinaus trägt die energetische Biomassenutzung zur Stärkung der Land- und Forstwirtschaft sowie des ländlichen Raumes bei. Hier werden erhebliche Wertschöpfungspotenziale mobilisiert und zumeist regional genutzt.

Insgesamt gesehen ist das Interesse an der Bioenergie weiterhin sehr hoch. Ihre Bedeutung für die Energieversorgung und den Klimaschutz ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen und wird auch zukünftig weiter zunehmen. Abbildung 2.2 verdeutlicht die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte.

Besonders in der Zeitspanne von 2000 bis 2007 ist der Anteil der Bioenergie an der Bereitstellung von Endenergie deutlich gestiegen, er nahm kontinuierlich zu und erreichte 2013 einen Anteil von 8 %. Der Zuwachs ist sowohl für den Anteil an der Stromerzeugung als auch für die Wärmeerzeugung erkennbar. Lediglich der Anteil am Kraftstoffverbrauch hat in den letzten Jahren seit 2007 wieder abgenommen und liegt 2013 bei 5,3 %.

PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH 2013 IN DEUTSCHLAND, DIFFERENZIERT NACH ENERGIETRÄGERN

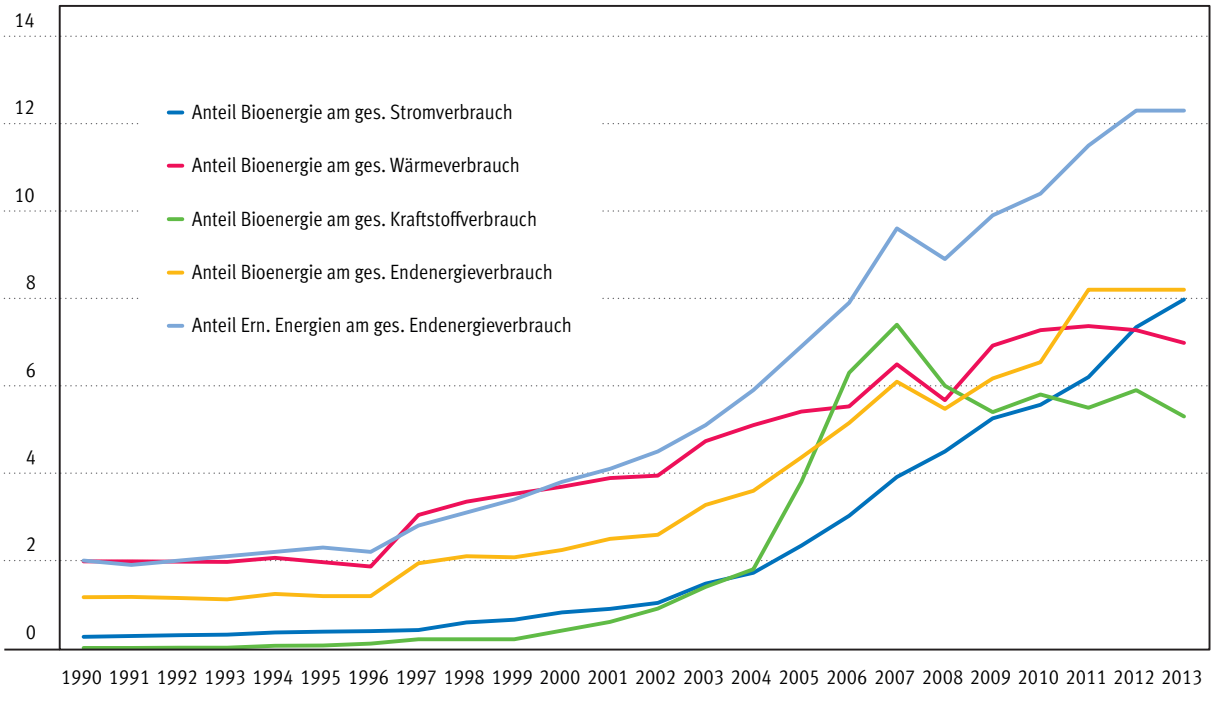


Quelle: nach [AGEB, 2014]

© FNR 2014

Abb. 2.1: Primärenergieverbrauch 2013 in Deutschland, differenziert nach Energieträgern (nach [AGEB, 2014])

PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH 1990 BIS 2013 IN DEUTSCHLAND, DIFFERENZIERT NACH ENERGIETRÄGERN



Quelle: nach [BMWi, 2014]

© FNR 2014

Abb. 2.2: Entwicklung des Anteiles der Bioenergie und der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch (EEV) in Deutschland von 1990 bis 2013 [nach BMWi, 2014]

2.2 Biomasse und Bioenergie – Definitionen

Biomasse: Unter dem Begriff **„Biomasse“** werden alle Stoffe organischer Herkunft zusammengefasst, also die in der Natur lebende und wachsende Materie (z. B. Bäume, Gräser) und die daraus resultierenden Abfälle sowohl von der lebenden als auch von der abgestorbenen organischen Masse (z. B. tierische Exkremente, Stroh). Die Abgrenzung zu den fossilen Energieträgern beginnt beim Torf, dem fossilen Sekundärprodukt der Verrottung. Torf zählt im engeren Sinn dieser Begriffsabgrenzung nicht mehr zur Biomasse, obwohl in einigen Ländern (u. a. Schweden, Finnland, Osteuropa) Torf durchaus der Biomasse zugerechnet und intensiv energetisch genutzt wird.

Zur Biomasse zählen also alle Pflanzen und Tiere, ihre Abfälle und Nebenprodukte sowie im weiteren Sinne auch durch Umwandlung entstehende Stoffe, wie Papier- und Zellstoff, organische Rückstände der Lebensmittelindustrie, organische Haus- und Industrieabfälle, Biogas, Pflanzenöl, Alkohol etc. Unter Biomasse im erweiterten Sinne wird damit jegliche Phyto- und Zoomasse verstanden, von der schätzungsweise $1{,}84 \cdot 10^{12}$ t Trockenmasse auf den Kontinenten existieren. Phyto- oder Pflanzenmasse wird zum größten Teil von autotrophen Organismen gebildet, die in der Lage sind, ihre Energie durch Fixierung der Sonnenenergie im Prozess der Photosynthese zu gewinnen. Heterotrophe Organismen dagegen, die primär die Zoomasse bilden, sind für den Energiegewinn auf den Abbau von anderer organischer Substanz angewiesen.

Biomasse zur energetischen Verwertung kann in Primär- und Sekundärprodukte der pflanzlichen Produktion unterteilt werden. Die Primärprodukte sind durch direkte photosynthetische Ausnutzung der Sonnenenergie entstanden. Im Hinblick auf die Energiebereitstellung zählen dazu die land- und forstwirtschaftlichen Produkte aus dem Energiepflanzenanbau (u. a. schnellwachsende Bäume, Energiegräser) oder pflanzliche Abfallprodukte aus Land- und Forstwirtschaft sowie der Industrie (u. a. Stroh, Rest- und Altholz). Die Sekundärprodukte entstehen durch Ab- oder Umbau der organischen Substanz in höheren Organismen (z. B. Tiere). Zu ihnen gehören Gülle, Klärschlamm oder Haus- und Industriemüll mit organischen Bestandteilen.

Der Biomassebegriff ist rechtlich in einer Vielzahl von Regelwerken definiert (siehe [BMU, 2011a]). Von besonderer Bedeutung sind:

- **Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare Energien Direktive, EU RED):** Danach ist „Biomasse“ der biologisch abbaubare Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur sowie den biologisch abbaubaren Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten.
- **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** in Verbindung mit **Biomasseverordnung/BiomasseV 2012**: Im EEG §3 wird Biomasse definiert als die Fraktionen, die in der Biomasseverordnung festgelegt sind.
- Die Biomasseverordnung in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung, legt in § 2 Abs. 1 fest, dass Biomasse ein „Energieträger aus Phyto- und Zoomasse“ ist. Hierzu gehören auch „aus Phyto- und Zoomasse resultierende Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, deren Energiegehalt aus Phyto- und Zoomasse stammt“. In Form einer listenmäßigen Aufstellung werden in der Biomasseverordnung die Formen von Biomasse konkret benannt, die im EEG eine Anerkennung bekommen oder nicht anerkannt sind (siehe Tab. 2.1). Die meisten Stoffe, die nach einer früheren Fassung der BiomasseV anerkannt waren, gelten in Altanlagen auch weiterhin als anerkannt (Bestandsschutz). In der Biomasseverordnung 2012 wird geregelt, für welche Stoffe eine zusätzliche einsatzstoffbezogene Vergütung in Anspruch genommen werden kann und welcher energetische Referenzwert für die Berechnung der Vergütung anzuwenden ist bzw. wie die Vergütung berechnet wird [BiomasseV, 2012].

Bioenergie: Im Gegensatz zum Biomasse-Begriff, der die stoffliche Grundlage in Form eines Energieträgers definiert, werden unter dem Begriff **„Bioenergie“** die energetischen Umwandlungsprodukte und -prozesse verstanden, die auf dem Rohstoff bzw. Energieträger ‚Biomasse‘ basieren [IE, 2006]; [BMELV, 2004]. Hierzu zählen eine Reihe von Begriffen, die weniger im Hinblick auf ihre Zusammensetzung und Eigenschaften, als vielmehr vor dem Hintergrund ihrer Herkunft als „Bio-Energien“, also z. B. Bio-Strom, Bio-Wärme, Bio-Kraftstoffe, Bio-Methan, Bio-Diesel oder biogene Gase bezeichnet werden.

2.3 Bioenergie heute – Rahmenbedingungen und Anforderungen

Die weitere technisch-ökonomische Entwicklung der Bioenergie unterliegt nach einer Dekade intensiver Entwicklung nunmehr einer Reihe unterschiedlicher Bedingungen.

1. **Biomasse als gespeicherte Sonnenenergie:** Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie oder „photosynthetisch fixierte“ Energie. Mithilfe von Pflanzen wird bei der Biomasse-Primärproduktion in der Photosynthese solare Strahlung in organische Materie umgewandelt. Sofern nicht mehr Biomasse beansprucht wird als nachwächst – und somit lediglich der Energiezuwachs genutzt wird – ist ein zentrales Kriterium für die ‚regenerative‘ Eigenschaft von Bioenergie und damit die nachhaltige Nutzung von Biomasse erfüllt.

2. **Bioenergie als grundlastfähige Energie:** In der Speichereigenschaft von Biomasse liegt ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zu anderen Optionen der energetischen Nutzung von Sonnenenergie. Biomasse lässt sich direkt, anders als Wind- und Solarenergie, durch Transport und Lagerung räumlich und zeitlich getrennt vom (Ort des) Aufwuchses nutzen. So können unmittelbar räumlich und zeitlich variierende Energiebedarfe, wie z. B. tages- und jahreszeitliche Schwankungen, ausgeglichen und ‚gepuffert‘ werden. Aufgrund dieser Eigenschaft ist Bioenergie, eine zur Abdeckung von Grundlast des Energiebedarfs geeignete regenerative Energieform.

3. **Bioenergie zum flexiblen Ausgleich fluktuierender Energieerzeugung:** Gleichwohl ist Bioenergie durch ihre Speichereigenschaft auch sehr gut geeignet, in Zeiten geringer

TAB. 2.1: ANERKANNTE UND NICHT ANERKANNTE BIOMASSESTOFFE

Gemäß Biomasseverordnung 2012, als Biomasse anerkannte und nicht anerkannte Stoffe

Anerkannte Biomasse (§ 2)	Nicht anerkannte Biomasse (§ 3)
1. Pflanzen und Pflanzenbestandteile	1. fossile Brennstoffe sowie daraus hergestellte Neben- und Folgeprodukte
2. aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger, deren sämtliche Bestandteile und Zwischenprodukte aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 BiomasseV erzeugt wurden	2. Torf
3. Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, Forst- und Fischwirtschaft	3. gemischte Siedlungsabfälle aus privaten Haushaltungen sowie ähnliche Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen einschließlich aus gemischten Siedlungsabfällen herausgelöste Biomassefraktionen
4. Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung	4. Altholz mit Ausnahme von Industrierestholz
5. aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 durch Vergasung oder Pyrolyse erzeugtes Gas und daraus resultierende Folge- und Nebenprodukte	5. Papier, Pappe, Karton
6. aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 erzeugte Alkohole, deren Bestandteile, Zwischen-, Folge- und Nebenprodukte aus Biomasse erzeugt wurden	6. Klärschlämme im Sinne der Klärschlammverordnung
	7. Hafenschlick und sonstige Gewässerschlämme und -sedimente
8. Treibsel aus Gewässerpflege, Uferpflege und -reinhaltung	8. Textilien
9. durch anaerobe Vergärung erzeugtes Biogas, sofern zur Vergärung nicht Stoffe nach § 3 Nummer 3, 7 oder 9 oder mehr als 10 Gewichtsprozent Klärschlamm eingesetzt werden	9. tierische Nebenprodukte im Sinne von Artikel 3 Nummer 1 der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ABl. L 300 vom 14.11.2009, S. 1), die durch die Richtlinie 2010/63/EU (ABl. L 276 vom 20.10.2010, S. 33) geändert worden ist, … (weitere Einschränkungen zu Punkt 9 siehe BiomasseV § 3!!)
	10. Deponiegas
	11. Klärgas

Verfügbarkeit von fluktuierenden erneuerbaren Energien (Wind, Solar), eine regenerative Energieversorgung sicherzustellen und einen erhöhten Bedarf zu befriedigen. In einer solchen Situation kann Bioenergie auch zur Abdeckung von Spitzenlast bzw. zum Auffüllen von Lasttälern verwendet werden. Dies würde bedeuten, dass Biomasse dann eingesetzt wird, wenn zu wenig andere regenerative Energie zur Verfügung steht. So kann Bioenergie im Rahmen der Energiewende zu einer wichtigen regenerativen Säule bei der Versorgungssicherheit und Energieträgerumstellung werden. Diese Option erfordert neue ökonomische Modelle zum Betrieb von Biomasseanlagen. Sie wird gegenwärtig unter den Bedingungen von immer größeren Anteilen an regenerativer und fluktuierender Energieerzeugung aus Wind und Sonne stärker diskutiert und in Modellvorhaben praktisch erprobt. Das EEG unterstützt die Entwicklung durch Regelungen zu Direktvermarktung und Marktprämienmodell.

4. **Bioenergie international:** Die energetische Biomassenutzung ist weiterhin eine stark von lokalen bzw. regionalen Bedingungen geprägte Energieform. International gesehen gibt es dabei auf der einen Seite die ärmeren Staaten der Erde, in denen für Großteile der Bevölkerung Biomasse und insbesondere Holz die einzige Energieform darstellt und für die Nahrungszubereitung und Wärmeversorgung verfügbar bzw. bezahlbar ist. Auf der anderen Seite gibt es die entwickelten Staaten, z. B. in Europa und Nordamerika, die nach Jahrzehnten mit erheblichen Nahrungsüberschüssen und Stilllegungsflächen den Energiepflanzenanbau entwickelt haben und in der Biomassenutzung eine wirksame Option zu Klimaschutz und Treibhausgasminderung sehen. Im Zuge der Entwicklung von Biokraftstoffmärkten für Bioethanol und Biodiesel sowie dem verstärkten Einsatz von Holz in der Stromerzeugung haben sich auch Export-/Importmärkte für Pflanzenöle, Bioethanol und Energieholz entwickelt. Dabei sind globale Märkte entstanden, auf denen Rohstoffe/Bioenergieträger und auch Bioenergieanlagen gehandelt werden. Auch wenn der internationale Handel mit z. B. Pflanzenölen und Ethanol für Energienutzung gegenüber dem für andere Nutzungen (vor allem Nahrungs- und Futtermittel) nachrangig ist, ist die Marktentwicklung teils mit großer Sorge hinsichtlich möglicher Verstärkung von Hunger in ärmeren Ländern und Rodung/Inkulturnahme von Urwäldern und sonstigen Flächen hoher Biodiversität zu sehen. Vor dem Hintergrund der Ernährungssicherung und verschiedener Nutzungskonkurrenzen werden daher an die Biomassenutzung in Europa strenge Anforderungen gestellt. Die Nachhaltigkeit der Biomasseerzeugung und -nutzung ist für Bereiche wie Biokraftstoffe und Stromerzeugung aus flüssigen Bioenergieträgern nachzuweisen Es gilt, im Rahmen politischer Verhandlungen die Nachhaltigkeitsanforderungen weiter auszubauen und auf andere Formen der Flächennutzung

auszuweiten. Mittels internationaler Standardisierung, Zertifizierung und Qualitätssicherung (u. a. „International Sustainability and Carbon Certification ISCC“ und RED Cert) wird eine Marktentwicklung unterstützt, die den verschiedenen Ansprüchen Rechnung trägt.

5. **Bioenergie im Effizienzdruck:** Vom verfügbaren weltweiten Potenzial für die Bioenergie befinden sich – dies wird in den Kapiteln 3.1. und 3.2 detailliert dargelegt – weltweit und in Deutschland bereits rund 50 % in Nutzung [Kaltschmitt/Thrän, 2008]; [WBGU, 2008: 101]. Es wird deutlich, dass die Potenziale der Bioenergie nicht unendlich steigerbar sind. Vor dem Hintergrund zunehmender Nutzungskonkurrenzen muss die Bioenergie daher Mindestanforderungen an die Effizienz und Nachhaltigkeit erfüllen. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, die Nutzung der begrenzt vorhandenen Potenziale möglichst effizient zu gestalten. Dies gilt sowohl für bestehende Anlagen, die beispielsweise durch ‚Repowering‘ ertüchtigt werden können, als auch für geplante, projektierte Anlagen. Je nach Art der Biomasse ist die Potenzialerschließung sehr verschieden. Es gibt einige Sortimente (z. B. Stroh und ähnliche Nebenprodukte und Reststoffe der landwirtschaftlichen Erzeugung), die bisher noch (fast) gar nicht genutzt werden. Diese Sortimente gilt es, verstärkt in Anwendung zu bringen und Gründe für ihre Nicht-Nutzung aufzuzeigen und entsprechende Hemmnisse abzubauen.

6. **Bioenergie und Nachhaltigkeit:** Ungeachtet vieler Vorteile ist die Bioenergie im Zuge eines verstärkten Klimaschutzes, allgemeiner Umweltstandards (z. B. zu Feinstaubemissionen) und der intensiven Landnutzung in die öffentliche Diskussion und Schlagzeilen geraten (siehe auch Leopoldina, 2012). Dies betrifft insbesondere die Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion und bestimmte Bewirtschaftungspraktiken, Kritikpunkte sind beispielsweise mangelnde Nutzungseffizienz bestehender Anlagen (z. B. im Hinblick auf eine geringe Wärmenutzung und Gesamtwirkungsgrade), geringfügige Nutzung weniger intensiv genutzter Biomassesortimente (insbesondere Reststoffe und halmgutartige Brennstoffe wie z. B. Stroh) oder technischer Verfahren (Vergasung, Organic Rankine Cycle (ORC)). Dies haben die großen wissenschaftlichen Beratungsgremien der Bundesregierung – der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen [WBGU, 2008], der Sachverständigenrat für Umweltfragen [SRU, 2007] – und die Akademien der Wissenschaften [Leopoldina, 2012] und die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften [acatech, 2012] zum Anlass für eine kritische Würdigung des Bioenergiesektors und seiner Entwicklungen genommen. Es lässt sich festhalten, dass es unterschiedliche, kontroverse und sich teilweise schlagartig verändernde Einschätzungen in der öffentlichen Wahrnehmung zur Bioenergie gibt.

2.4 Bioenergie – das politische Umfeld

Die Bioenergie als wichtige erneuerbare Energie hat in den letzten Jahren aus vielfältigen Gründen eine gesellschaftliche und politische Unterstützung erhalten. Dies erfolgte weil die Bioenergie eine Reihe positiver Wirkungen erzeugt, u. a.

- leistet sie einen wichtigen Beitrag zur regenerativen Energieerzeugung,
- führt sie zur Einkommenssicherung und zu neuen Berufsmöglichkeiten in der Land- und Forstwirtschaft,
- trägt sie in bedeutendem Maß zur Erfüllung von Klimaschutzzielen bei, sichert und erweitert sie die Möglichkeiten an zukunftsfähigen und innovativen Arbeitsplätzen,
- stärkt sie besonders den ländlichen Raum und führt zu erhöhter regionaler Wertschöpfung.

Diese und andere Gründe haben dazu geführt, dass die Bioenergie auf den verschiedenen politischen Ebenen einerseits gefördert, andererseits zur Vermeidung und Minimierung möglicher negativer Nebenwirkungen auch ‚gefordert‘ wurde. Hier wurde national und international ein System an gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen etabliert, das die Bedingungen auch für die weitere Entwicklung der Bioenergie vorgibt. Hierunter fallen besonders:

1. Der Biomasse-Aktionsplan der EU

Mit dem Biomasse-Aktionsplan der EU [BMAP EU, 2005] soll ein einheitliches Vorgehen in der EU zur Förderung der Bioenergie vereinbart werden. Das Potenzial für Biomasse in der EU wurde für 2010 mit ca. 185, für 2020 mit ca. 225 und für 2030 mit ca. 280 Mio. Tonnen Öl-Äquivalente ermittelt. Im Biomasse-Aktionsplan (BMAP) wurden Maßnahmen zur Steigerung der Energieerzeugung aus Biomasse vorgeschlagen (Annex 1), dabei wurden alle Sektoren, die Wärme-, Strom- und Kraftstofferzeugung als Anwendungsbereiche identifiziert. Der BMAP schlägt vor die Qualitätsstandards für die Bioenergie zu überprüfen, Forschung und Entwicklung zu stärken und die Mitgliedsstaaten dazu zu bewegen, nationale Ziele für die Marktanteile der Bioenergie zu entwickeln. Einsatzmöglichkeiten zur energetischen Biomassenutzung werden aus europäischer Sicht beschrieben.

2. Die Richtlinie 2009/28/EG der EU zur „Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen …“ :

Mit der Richtlinie 2009/28/EG wird ein gemeinsamer Rahmen für die Förderung von erneuerbaren Energien in Europa vorgeschrieben. In der Richtlinie wird das EU 20/20/20 Ziel (20 % Steigerung der Energieeffizienz, 20 % Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch, 20 % Minderung der CO_2-Emissionen gegenüber 1990) und verbindliche nationale Ziele für den Gesamtanteil von erneuerbaren Energien für das Jahr 2020, festgelegt. Für Deutschland ist dies ein Zielwert von 18 % aus erneuerbaren Energie am Bruttoendenergieverbrauch. Für den Bereich der Kraftstoffe wurde hier das Ziel formuliert 10 % des Energiebedarfs für den Mobilitätssektor aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Dies betrifft nicht notwendigerweise nur Biokraftstoffe. Auch Strom als Antriebsquelle, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wurde, fällt unter diese Regelung.

Für Biokraftstoffe und flüssige Brennstoffe werden auch Kriterien für die Nachhaltigkeit festgelegt. So wurde bereits fest-

gelegt, dass die Minderung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu konventionellen fossilen Kraftstoffen mindestens 35 %, ab 1. Januar 2017 mindestens 50 %, und für Anlagen, die den Betrieb nach Januar 2017 aufnehmen mindestens 60 % betragen muss.
Weitere wichtige Regelungen betreffen:

- Die Festlegung, dass die Mitgliedsstaaten nationale Aktionspläne für die Umsetzung der Richtlinie und die Festlegung von nationalen Gesamtzielen festlegen müssen.
- Die Organisation des statistischen Transfers zwischen Mitgliedsstaaten für eine einheitliche Berichterstattung.
- Die Verpflichtung für einen Herkunftsnachweis für Energie aus erneuerbaren Quellen.

3. Die Umsetzung der EU-Richtlinien in nationale Gesetzgebung in Deutschland erfolgte durch

- den Aktionsplan für erneuerbare Energien vom August 2010 [BMU, 2010],
- den „Nationalen Biomasseaktionsplan für Deutschland" [BMELV, BMU, 2010], und
- das Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung [BMWi, BMU, 2010].

4. Das „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung" der Bundesregierung 2010 und die Energiewende

Im Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 wurden die energiepolitische Ausrichtung Deutschlands bis zum Jahre 2050 und die Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien festgelegt. Am 6. Juni 2011 wurde nach der Havarie des Atomkraftwerkes Fukushima in Japan ein weiteres „Energiepaket" beschlossen, mit dem die Maßnahmen des Energiekonzeptes erweitert und die Umsetzung beschleunigt werden sollen. In diesem Eckpunktepapier „Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich" werden der Ausstieg aus der Kernenergie mit dem Abschalten der letzten Anlagen Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 bis zum Jahre 2022 und weitergehende Klimaschutzziele, nämlich die Minderung der Treibhausgasemissionen um 40 %, bis 2020, um 55 % bis 2030, um 70 % bis 2040 und um 80 % bis 95 % bis 2050 (gegenüber dem Stand von 1990) festgeschrieben. Zudem beinhaltet es die Forderung zu Anpassung und Novellierung des EEG.

Zur Umsetzung der Ziele für die erneuerbaren Energien und insbesondere auch die Ziele für die Bioenergie ist eine Reihe weiterer Regelungen erlassen worden.

- Die Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) zur Regelung der Standards und Nachhaltigkeitsanforderungen für flüssige Biokraftstoffe (siehe hierzu gesondert Kap. 4)
- Das Erneuerbare Energien Gesetz EEG für die Stromerzeugung, letztmalig zum Jahresbeginn 2012 novelliert, in dem u. a. für die Bioenergieanlagen, die 2012 in Betrieb gehen, eine zusätzliche Rohstoffvergütung festgelegt wurde. Hier wird mit einer besonderen Bonusregelungen zwischen der Einsatzvergütungsklasse 1 (Energiepflanzen wie Mais oder Rüben) und der Einsatzvergütungsklasse 2 (ökologisch günstige Reststoffe) unterschieden. (siehe hierzu Details in den jeweiligen Fachleitfäden, z. B. Leitfaden feste Biobrennstoffe Kap. 4)
- Das Erneuerbare Energien Wärmegesetz EEWärmeG zur Förderung der Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme und Kälte.
- Die Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV 2010) regelt in vielen verschiedenen Abteilungen den Betrieb und die Emissionsanforderungen für Anlagen zur Wärmeerzeugung.
- Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009), die eine Energieeinsparung im Gebäudebereich erwirken soll und die Erstellung von Energieausweisen für Gebäude durch Hauseigentümer und Wohnungsmieter aufzeigen soll.

Die Regelungen werden im Detail auch in den einzelnen Fachleitfäden erläutert.

2.5 Energieerzeugung aus Biomasse – Technologien, Pfade und Systeme

Der Energieträger Biomasse kann zur Deckung der End- bzw. Nutzenergienachfrage in unterschiedlichsten Techniken und Verfahren eingesetzt werden. Die verschiedenen Optionen unterscheiden sich dabei in Abhängigkeit von der eingesetzten Biomasse (z. B. Waldrestholz, Rapssaat, Weizen, Gülle, Klärschlamm) und der gewünschten End- bzw. Nutzenergie (z. B. Wärme, Strom, Ethanol, Rapsölmethylester, Pyrolyseöl) erheblich.

Die Herausforderung besteht darin, die Verfahrens- oder Versorgungskette von der Bereitstellung des geeigneten Rohstoffes (Brennstoff, Substrat, Energieträger) über die Technik zur Energieerzeugung (Verbrennungskessel, Turbine, Gärreaktor, etc.) bis hin zur Erzeugung der Nutzenergie (Licht, Wärme, Fortbewegung) in optimaler Weise zu organisieren. Ziel ist es, eine gegebene Nachfrage nach End- bzw. Nutzenergie möglichst sicher, ökonomisch sinnvoll und mit möglichst wenig Umweltwirkungen zu decken und damit das energiewirtschaftliche Dreieck von Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit zur erfüllen. Dabei sind eine Vielzahl von Randbedingungen einzuhalten, z. B. in Bezug auf den Einsatz der geeigneten Technik (technische Dimension), die Minimierung der Kosten bzw. Aufwendungen (ökonomische Dimension), der Einhaltung von Umweltstandards (ökologische Dimension), oder die Berücksichtigung von Bedarfssituationen oder Befindlichkeiten der Konsumenten oder der Bevölkerung (soziale und gesellschaftliche Dimension). Damit wird die Auswahl, Planung und der Einsatz der richtigen Technologie häufig – zumindest bei großen und komplexen Anlagen – zur ‚Systemfrage', bei der eine Vielzahl von Randbedingungen integriert werden müssen. Ein gezieltes Stoffstrommanagement kann dabei helfen, den Rohstoff Biomasse in möglichst geeigneter und effizienter Form zu nutzen.

- Die Technologien und Verfahren(sketten) zur energetischen Nutzung von Biomasse können im Überblick in der von Kaltschmitt und Hartmann (2001) entworfenen Darstellung zusammengefasst werden (Abb. 2.3). Hier sind die Verfahren und Pfade i) zur Biomasse-Produktion, ii) zur Aufbereitung der Biomasse zu Brennstoffen, Substraten, etc., also der eigentlichen Bereitstellung, iii) zu den Konversionstechnologien zur Energieerzeugung oder Umwandlung in einen Sekundärenergieträger, und iv) zur Erzeugung von End- oder Nutzenergie dargestellt.

Biomasse-Produktion

Für die Biomasse-Produktion geht es darum, den geeigneten Rohstoff für die energetische Nutzung zu erzeugen und bereitzustellen. Hier sind ebenfalls Biomasse-Bereitstellungsverfahren einbezogen, die in einer sogenannten „Kaskadennutzung" aus anderen Nutzungspfaden, z. B. einer stofflichen Nutzung (als Werk- oder Baustoff) kommen.

Die Biomasse kann dabei in Gruppen gemäß Tabelle 2.2 eingeteilt werden.

Für die Beurteilung der Eignung von Bioenergieträgern für die energetische Nutzung sind im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung auch alle vor- und nachgelagerten Prozesse, wie z. B. Aufwendungen für die Düngung, die Nutzung von Maschinen und Anlagen (Kraftstoffe, Schmieröle, Anlagenbetrieb, etc.) oder die Anbauverhältnisse, z. B. eine Landnutzungsänderung zu berücksichtigen. Dies erfolgt in „Lebenszyklusanalysen (LCA)" oder „Ökobilanzen" und ist vielfach im Stand der Forschung enthalten.

Biomasse-Bereitstellung und -Aufbereitung

Für die Bereitstellung der Biomasse in einer für die Energieerzeugung geeigneten Form muss sie aufbereitet, transportiert, ggf. gelagert oder in sonstiger geeigneter Form behandelt werden. Hierunter fallen:

- Die Ernte und das Verfügbarmachen am Ort der Weiterverarbeitung.
- Aufbereiten und konditionieren, z. B. pressen, trocknen, mischen, anfeuchten etc. Hierzu zählen auch die Pelletierung oder die Erzeugung eines energiereicheren Sekundärenergieträgers durch Torrefizierung (siehe hierzu auch „Leitfaden feste Biobrennstoffe").
- Der Transport, ggf. in mehrfachen Abschnitten, z. B. vom Feld zum Häckselplatz oder ins Silo, vom Häckselplatz zum Kraftwerk, etc.
- Ggf. auch eine Lagerung, soweit notwendig, z. B. bei zeitlich enger Erntemöglichkeit z. B. für Silomais, KUP-Holz, Miscanthus, etc.

Diese Wege müssen nicht für jeden Biomasse-Rohstoff vollständig beschritten werden. Sie sind für Energiepflanzen häufig aufwendiger als für Reststoffe und Nebenprodukte, da letztere

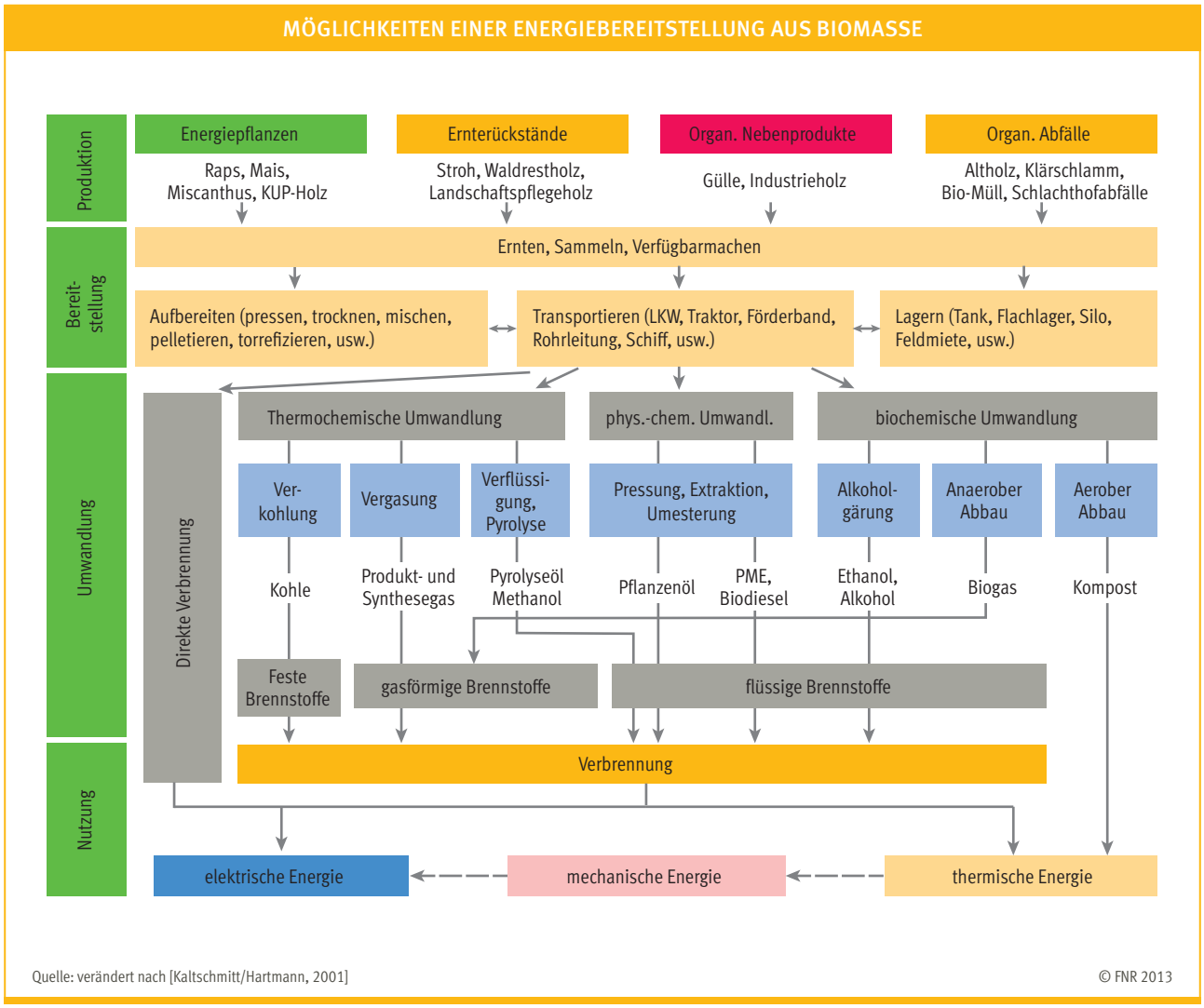


Abb. 2.3: Möglichkeiten einer Energiebereitstellung aus Biomasse

TAB. 2.2: EINTEILUNG VON BIOMASSE ALS ROHSTOFF ZUR ENERGIEERZEUGUNG MIT BEISPIELEN UND NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN

1.	Energiepflanzen oder Anbaubiomasse, eigens für die Energieerzeugung angebaute Nutzpflanzen	• Raps, Soja, Ölpalme, Sonnenblume, Jatropha u. a. Ölpflanzen (für die Bio-Öl und RME-Herstellung) • Kurzumtriebsplantagen (KUP) Holz (u. a. Pappel, Weide), Miscanthus, Energiegetreide (für die Wärme- und Stromerzeugung in Verbrennungs- und Vergasungsanlagen) • Mais, Getreideganzpflanzen (GPS), Topinambur, Silphie o. ä. (für die Biogas-Produktion) • Zuckerrübe, Zuckerrohr, Getreidekorn, Kartoffel u. a. (für die Zuckergewinnung und Ethanolerzeugung) • Algen (zur Erzeugung von Bio-Öl oder als Substrat in Biogasanlagen)
2.	Rückstände aus land- und forstwirtschaftlichen und landschaftspflegerischen Produktionsketten	• Waldrestholz • Stroh (von Getreide, Raps, o. ä.) • Landschaftspflegematerial (Holz und Halmgut) • Straßenbegleitgrün • Baumschnitt aus Parks und Anlagen, Plantagen, Streuobstwiesen und Rebflächen
3.	Organische Nebenprodukte und sonstige Biomasse von landwirtschaftlichen oder industriellen Verfahren	• Gülle aus der Tierproduktion • Industrierestholz aus der holzbe- und -verarbeitenden Industrie • Schwemmholz
4.	Organische Abfälle, die nicht mehr ‚naturbelassen' sind und aus verschiedenen Produktionslinien stammen können und u. a. nach dem Abfallrecht behandelt werden.	• Altholz und (mit Holzschutzmitteln) behandeltes Holz • Klärschlamm • Schlachthofabfälle • Bioabfälle aus Kantinen und Restaurants • Biomüll aus Haushalten und Gewerbe • Produktionsspezifische Bioabfälle aus der lebensmittelverarbeitenden Industrie

ja schon am Ort der Verarbeitung bzw. in einer bestimmten Aufbereitungsform vorliegen.

Die eigentliche Bereitstellung bzw. Aufbereitung der Biomasse für die jeweiligen Technologiebereiche wird in den einzelnen Fachleitfäden im Detail behandelt.

Technologien zur Energieerzeugung aus Biomasse

Die Technologien zur Energiewandlung von Biomasse stellen das Kernelement der Bioenergie dar. Hierbei wird häufig nicht direkt Energie z. B. in Form von Strom oder Wärme, sondern ein Sekundärenergieträger (z. B. Pflanzenöl, Biogas) erzeugt, der später wiederum in geeigneten Aggregaten zur eigentlichen Energieerzeugung umgewandelt wird. Es werden vier Technologiegruppen unterschieden, in denen jeweils unterschiedliche Biomasse-Rohstoffe zum Einsatz kommen und teils sehr unterschiedliche Wandlungsprinzipien umgesetzt werden.

1. Die direkte Verbrennung

Die direkte Verbrennung ist eines der wichtigsten Energieerzeugungsverfahren aus Biomasse in Deutschland und weltweit. Sehr unterschiedliche Formen von Biomasse, schwerpunktmäßig aber feste, trockene und lignozellulosereiche Biobrennstoffe (z. B. Holz und Stroh) werden in Reaktoren bzw. Verbrennungskesseln mit Sauerstoff im Überschuss verbrannt bzw. oxidiert. Es entsteht Wärme, die direkt genutzt oder in einem Stromerzeugungsaggregat (Turbine und Generator) in Strom umgewandelt werden kann. In Sonderfällen kann auch direkt Strom erzeugt werden, z. B. in Brennstoffzellen bei Nutzung biogener Gase, z. B. Wasserstoff oder Methan aus Biomasse.

2. Verfahren zur thermochemischen Umwandlung (Vergasung, Pyrolyse, Verkohlung)

Mit der Verbrennung verwandt sind die Verfahren zur thermochemischen Umwandlung von Biomasse. Hier werden ähnliche Brennstoffe wie oben – ggf. in anderer Aufbereitungsform – unter Mangel oder gar in Abwesenheit eines Oxidationsmittels (unterstöchiometrisch oder anaerob) mithilfe von Wärme umgesetzt. Es wird also bewusst eine unvollständige Verbrennung betrieben, die z. B. bei der Vergasung in einem Produktgas resultiert, das Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H) und Methan (CH_4) als wertbestimmende Bestandteile enthält. Bei Abwesenheit von Sauerstoff, also unter anaeroben Bedingungen, können unter dem Einfluss jeweilig unterschiedlicher Reaktionsbedingungen (z. B. Druck, Temperatur, Reaktionszeit) größere Mengen an flüssigen (Bio-Öl) oder festen (Holzkohle) Produkten bzw. Sekundärenergieträgern entstehen.

3. Die physikalisch-chemische Umwandlung

Die Gruppe der physikalisch-chemischen Umwandlungsverfahren betrifft hauptsächlich die Erzeugung von Öl und ölbürtigen Sekundärenergieträgern aus Pflanzenölen, z. B. Pflanzenöle und Biodiesel. Hier wird, ausgehend von den in vielen Pflanzen enthaltenen Fetten und Ölen, die durch physikalische Pressung oder Extraktion entnommen werden, ein flüssiger Energieträger oder Kraftstoff erzeugt. Da das Pflanzenöl als Kraftstoff direkt nur für wenige Fälle geeignet ist (meist nur für speziell angepasste Fahrzeuge oder Motoren), wird es oft chemisch umgewandelt (umgeestert) und als Pflanzenmethylester (z. B. aus Raps = RME, oder Sojabohne) in einen dieselähnlichen Kraftstoff umgewandelt. So kann der Kraftstoff in vielen Motoren regulärer Kraftfahrzeuge eingesetzt werden.

4. Verfahren zur biochemischen Umwandlung (z. B. Alkoholgärung, Biogaserzeugung)

In der Gruppe der biochemischen Umwandlungsverfahren erfüllen Mikroorganismen oder Hefepilze die Aufgabe der Umwandlung. In dieser Gruppe können fast alle Biomassen eingesetzt werden, die zur Verfügung stehen, vorwiegend jedoch feuchte

und aus leicht abbaubaren Grundstoffen (Zucker, Fette, Proteine) bestehende Biomasse. Trockene und feste Biomasse wie z. B. Holz muss ggf. vorab, z. B. durch enzymatische Behandlung, in eine geeignete Form umgewandelt werden. Der Abbau erfolgt meist unter anaeroben Bedingungen, um eine vollständige Oxidation der Biomasse zu vermeiden und die Bildung höherwertiger (Sekundär-)Energieträger zu begünstigen.

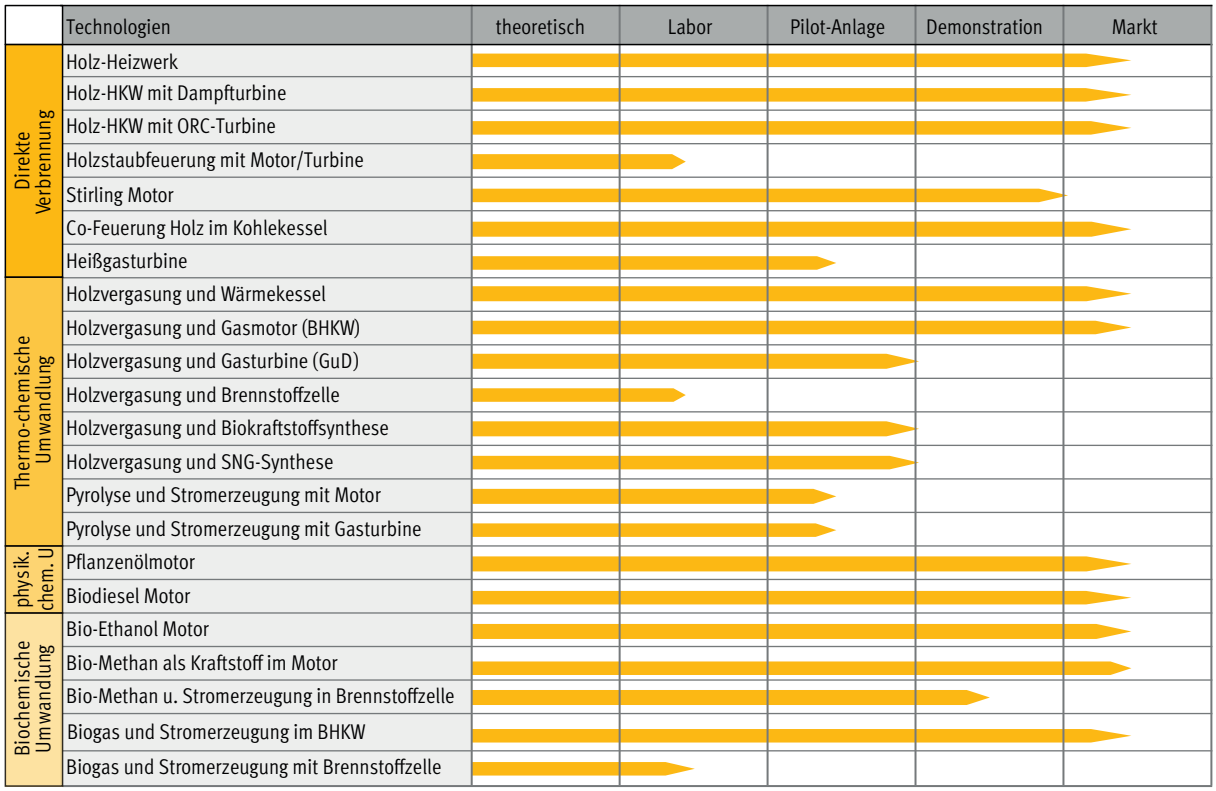
In diese Gruppe fällt vor allem **die Alkoholgärung**, in der aus zucker-, stärke- und lignozellulosehaltigen Biomassen durch die Alkoholgärung von Hefen ein Alkohol als Kraftstoff erzeugt wird. Die komplexeren Makromoleküle Stärke und Lignozellulose müssen vorab, z. B. durch Säurehydrolyse oder enzymatischen Abbau, in vergärbare Zuckerbausteine umgewandelt werden. Durch Destillation wird der Alkohol so hoch konzentriert, dass er entweder in Form von Mischungen (mit Anteilen von 5 bis 85 % z. B. bei E5, E10, E85) oder als reiner Otto-Kraftstoff in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden kann.

Die Erzeugung von **Biogas** stellt ein weiteres sehr wichtiges biochemisches Umwandlungsverfahren dar, bei dem überwiegend aus feuchter Biomasse-Reststoffe ebenso wie Energiepflanzen – durch die Einwirkung einer Vielzahl unterschiedlicher Mikroorganismen ein gasförmiger Bioenergieträger (das „Biogas“) erzeugt wird. Dieses Biogas besteht überwiegend aus Methan (40 bis 60 %) und kann sehr flexibel und effizient für die Erzeugung von Wärme, Strom und Kraftstoff eingesetzt werden. In den letzten Jahren sind viele Anlagen entstanden, 2013 gab es in Deutschland mehr als 7.500 Biogasanlagen, die sehr unterschiedliche Substrate und Verfahren einsetzen. In letzter Zeit besteht ein besonderes Interesse an der Errichtung von Anlagen zur Erzeugung von Biomethan als Substitute Natural Gas (SNG). Dies beinhaltet eine Aufbereitung des Rohbiogases in ein einspeisefähiges und methanreiches Gas.

Erzeugung von End- oder Nutzenergie aus Biomasse oder Sekundärenergieträgern

Letztlich haben alle Umwandlungsverfahren das Ziel, einen End- oder Nutzenergieträger zu erzeugen, der den aktuellen Energiebedarf abdeckt. Auch die bei der Biomasse-Umwandlung erzeugten festen, flüssigen oder gasförmigen Sekundärenergieträger werden hierbei in die End- oder Nutzenergie Wärme, Strom oder Kraft (z. B. für die Fortbewegung) umgesetzt. Dabei sind die derzeit für die energetische Nutzung von Biomasse am Markt verfügbaren Anlagen häufig zur Bereitstellung von Wärme ausgelegt. Die Stromerzeugung aus Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) hat in den letzten Jahren einen großen Schub erlebt und ist heute neben der Wärmeerzeugung die Technologie der Wahl für die Bioenergie.

ENTWICKLUNGSSTAND 2013 VON TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN ZUR ENERGETISCHEN NUTZUNG VON BIOMASSE



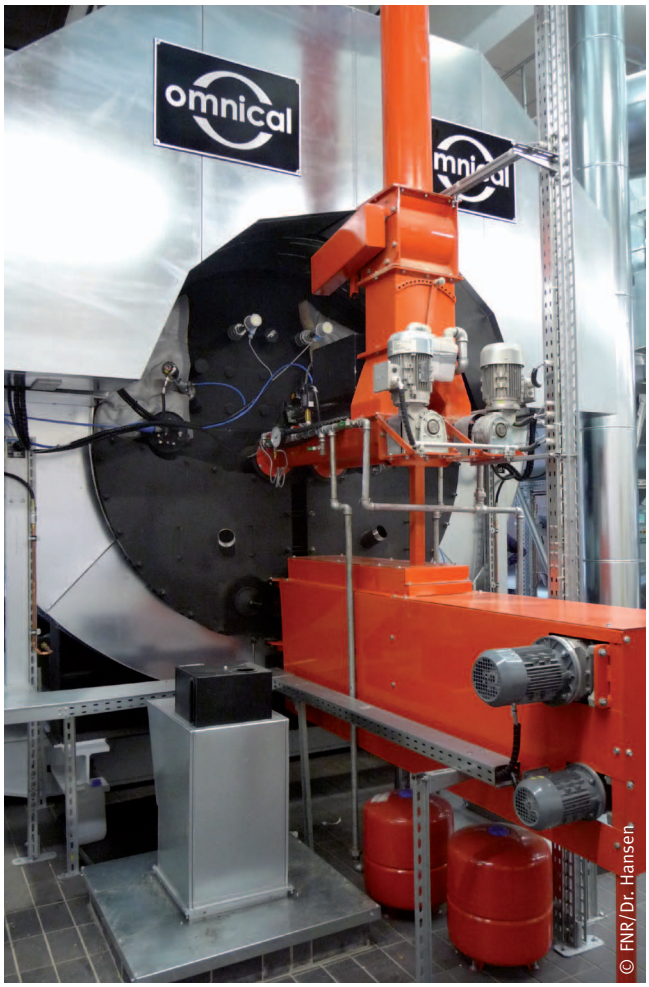
Quelle: verändert nach [Fichtner, 2002]

© FNR 2013

Abb. 2.4: Entwicklungsstand 2013 von Technologien und Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse

Die End- oder Nutzenergieerzeugung geschieht meist in Verbrennungsmaschinen mit unterschiedlicher Bauart, z. B. als Kolbenmotor, Turbine, Stirlingmotor oder einer Brennstoffzelle. Oberstes Ziel ist es hierbei wiederum, mit größtmöglicher Effizienz und geringstmöglichem Aufwand und Kosten diese Energiewandlung zu bewerkstelligen. Für die Bioenergie sind hierbei in den letzten Jahren eine Fülle von Techniken entwickelt und zur Serienreife geführt worden. Die Grundlagen hierzu werden in den Fachleitfäden jeweils näher ausgeführt.

Die Energiewandlungstechnologien haben in den letzten Jahren eine unterschiedliche Marktreife erreicht. Abbildung 2.4 zeigt dies für den Stand 2013 einer Auswahl an Technologien und für die Entwicklungsstadien von theoretischen Potenzial bis zur Marktreife.



© FNR/Dr. Hansen

© FNR/Dr. Hansen

© FNR

3 BIOMASSEPOTENZIALE WELTWEIT UND IN DEUTSCHLAND – ZAHLEN UND FAKTEN

Welche Potenziale bestehen zur Biomassenutzung? Wie viel Biomasse für energetische Nutzungszwecke verträgt eine Region? Ausgangspunkt fast aller Untersuchungen zu den Möglichkeiten der Bioenergie – seien es konkrete Umsetzungsstudien für Bioenergieanlagen oder strategische Analysen auf Ebene der Länder, Nationalstaaten oder weltweit – ist die Frage nach der Rohstoff- bzw. Ressourcenverfügbarkeit. Mit Potenzialuntersuchungen steht der Energieforschung ein gängiges Instrumentarium zur Verfügung, um solche Abschätzungen vornehmen zu können. Sie ermöglichen es, die gegebenen rohstoffseitigen Rahmenbedingungen für die energetische Biomassenutzung aufzuzeigen. Allerdings werden oft unterschiedliche Potenzialbegriffe verwendet, auf die deshalb im Folgenden zunächst eingegangen wird. Weitestgehend etabliert hat sich die vierteilige Differenzierung in theoretische, technische, wirtschaftliche sowie erschließbare Potenziale.

Ziel der folgenden Ausführungen ist eine Darstellung der technischen Potenziale an Bioenergieträgern weltweit und in Deutschland. Dabei werden nur die wesentlichen und heute bedeutenden Biomassefraktionen betrachtet. Auf Grund der Vielzahl unterschiedlichster Biomasseströme (u. a. Waldrestholz, Dung, organische Müllfraktion), einer jeweils ungenügenden Datenbasis und weiterer Faktoren (z. B. Technologieentwicklung) ist eine vollständige Erhebung weder derzeit noch – aller Voraussicht nach – zukünftig möglich. Bei Potenzialuntersuchungen geht es also darum, Abschätzungen zu treffen, die der Realität möglichst nahe kommen. Sofern möglich wird zwischen einer Nutzung von Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Stroh, Waldrestholz) sowie von eigens produzierten Energiepflanzen unterschieden. Für einen aktuellen Anwendungsfall sind jeweils eigene Potenzialerhebungen durchzuführen.

Das **theoretische Potenzial** beschreibt das in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch nutzbare Energieangebot, z. B. die in der gesamten Pflanzenmasse gespeicherte Energie. Es wird allein durch die gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt und markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrages zur Energiebereitstellung. Wegen unüberwindbarer technischer, ökologischer, struktureller und administrativer Schranken kann das theoretische Potenzial meist nur eingeschränkt erschlossen werden. Ihm kommt deshalb zur Beurteilung der tatsächlichen Nutzbarkeit erneuerbarer Energien keine praktische Relevanz zu.

Das **technische Potenzial** beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der derzeitigen technischen Möglichkeiten nutzbar ist. Es stellt die am meisten verwendete Bezugsgröße dar. Im Einzelnen werden bei der Berechnung die verfügbaren Nutzungstechniken, ihre Wirkungsgrade, die Verfügbarkeit von Standorten auch im Hinblick auf konkurrierende Nutzungen sowie „unüberwindbare" strukturelle, ökologische und sonstige Beschränkungen berücksichtigt. In Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungstechniken und sonstiger Randbedingungen (produktionsseitige Begrenzungen, bedarfsseitige Restriktionen) kann es damit auch unterschiedliche technische Potenziale einer Option zur Nutzung regenerativer Energien geben.

Unter dem **wirtschaftlichen Potenzial** wird derjenige Anteil des technischen Potenzials verstanden, der wirtschaftlich wettbewerbsfähig einsatzfähig ist. Um die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des betrachteten regenerativen Energieträgers beurteilen zu können, sind die jeweiligen Einsatzbereiche (Wärme, Strom oder Kraftstoffe), die vorgesehenen Konversionstechnologien und die innerhalb dieser Bereiche mit ihm jeweils konkurrierenden anderen Energiebereitstellungssysteme zu untersuchen. Außerdem wirken sich Faktoren wie die Abschreibungsdauer und Zinshöhe genauso aus wie Fördergelder. Das wirtschaftliche Potenzial einer Biomassenutzung wird damit sehr stark von den konventionellen Systemen und den jeweiligen Energieträgerpreisen beeinflusst, dadurch besteht eine hohe Zeitabhängigkeit. Es ist deshalb insbesondere bei stark differierenden Preisen der fossilen Energieträger und sich verändernden Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien großen Schwankungen unterworfen. Eine gewisse Unbestimmtheit beim Gebrauch dieses Begriffs besteht darin, dass eine betriebswirtschaftliche und eine volkswirtschaftliche Sichtweise (bspw. inklusive externer Kosten) eingenommen werden kann.

Das **erschließbare Potenzial** oder Erwartungspotenzial von Optionen zur Biomassenutzung beschreibt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag zur Energieversorgung. Dieser Beitrag ist meist geringer als das wirtschaftliche Potenzial, da dieses i. Allg.

nicht sofort, sondern allenfalls langfristig vollständig erschließbar ist. Dies liegt u. a. in der noch gegebenen Funktionsfähigkeit vorhandener (auch fossiler) Anlagen (Produktionskapazitäten der Hersteller) sowie einer Vielzahl sonstiger Hemmnisse (u. a. mangelnde Information, fehlende Akzeptanz, rechtliche und administrative Begrenzungen) begründet, die einer Nutzung selbst unter wirtschaftlichen Bedingungen entgegenstehen.

Das theoretische Potenzial beschreibt das gesamte Energieaufkommen, das technische bzw. wirtschaftliche Potenzial, den davon technisch nutzbaren bzw. wirtschaftlich tragfähigen Teil und das erschließbare oder Erwartungspotenzial den letztlich, tatsächlich zu erwartenden Anteil. Das erschließbare Potenzial liegt also – im Regelfall – erheblich, teilweise sogar um mehrere Größenordnungen unter dem theoretischen Potenzial. Insbesondere das wirtschaftliche und das erschließbare Potenzial müssen streng genommen mit der Zeitdimension versehen werden, da sich ihre Höhe in Abhängigkeit des betrachteten Zeitpunkts – auf Grund des technischen Fortschritts und veränderter wirtschaftlicher oder energiepolitischer Rahmenbedingungen – ändert, z. B. wenn energie- und umweltpolitische Entscheidungen bestimmte Hemmnisse auf- oder abbauen, die unmittelbar die Nutzungsmöglichkeiten des regenerativen Energieangebots beeinflussen.

Mit jeder dieser vier Kategorien werden bezüglich des Potenzials weitere Einschränkungen getroffen, mit der Folge, dass sich das erzielte Ergebnis schrittweise verringert, wie Abbildung 3.1 illustriert. Auf Basis dieses Grundverständnisses werden in der Literatur vielfältige Begriffsvariationen verwendet, etwa das effiziente, ökologische oder nachhaltige Potenzial [Holm-Müller, Breuer, 2006]; [DLR, 2004]; [Hepperle, Teuffel, 2007].

Weil die Aussagekraft des theoretischen Potenzials gering und die Unklarheiten beim wirtschaftlichen und erschließbaren Potenzial besonders hoch sind, wird im Folgenden das technische Biomassepotenzial weiter betrachtet. Es ist der meist verwendete und am eindeutigsten definierte Potenzialbegriff und ist zudem geringen Schwankungen unterworfen. Für die letztlich gegebenen Möglichkeiten und Grenzen des erneuerbaren Energieangebots sind auf lange Sicht die technischen Potenziale maßgebend, auf die daher nachfolgend Bezug genommen wird.

3.1 Potenziale weltweit

Weltweit fallen eine Vielzahl von Biomassefraktionen an, die im Prinzip energetisch genutzt werden können. Nachfolgend wird unterschieden zwischen holz- und halmgutartigen Biomasserückständen, -nebenprodukten und -abfällen sowie Dung. Zusätzlich kann Biomasse im Rahmen eines Energiepflanzenanbaus gewonnen werden. Die Darstellung beruht im Wesentlichen auf [FNR, 2007]; [Kaltschmitt et al., 2009]; [Kaltschmitt/Hartmann, 2001].

Eines der wichtigsten Biomassesortimente ist **Holz**. Es fällt bspw. bei der Waldbewirtschaftung als Rückstand, Nebenprodukt oder Abfall an. Davon kann auf Grund gegebener Restriktionen (z. B. Erhaltung des Humus- und Nährstoffgehalts) nur das während des Anbaus und der Ernte des Stammholzes anfallende Material als energetisch nutzbar angesehen werden. Zusätzlich kann der bisher ungenutzte Holzzuwachs – eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Wälder unterstellt – energetisch verwertet werden. Hinzu kommen die Holzrückstände und Nebenprodukte, die während der industriellen Weiterverarbeitung anfallen und nicht stofflich genutzt werden. Darüber hinaus sind die Holzfraktionen, die aus dem Nutzungsprozess ausscheiden (d. h. Altholz), potenziell als Energieträger einsetzbar.

Daneben fallen auch außerhalb der eigentlichen Wälder holzartige Biomassen an, die ggf. als Energieträger nutzbar sind, z. B. Straßenbegleitgrün, Holz aus Parks und Anlagen, Feldhecken. Derartige Biomassefraktionen werden hier unter sonstigem Holz subsumiert. Werden die verschiedenen Fraktionen

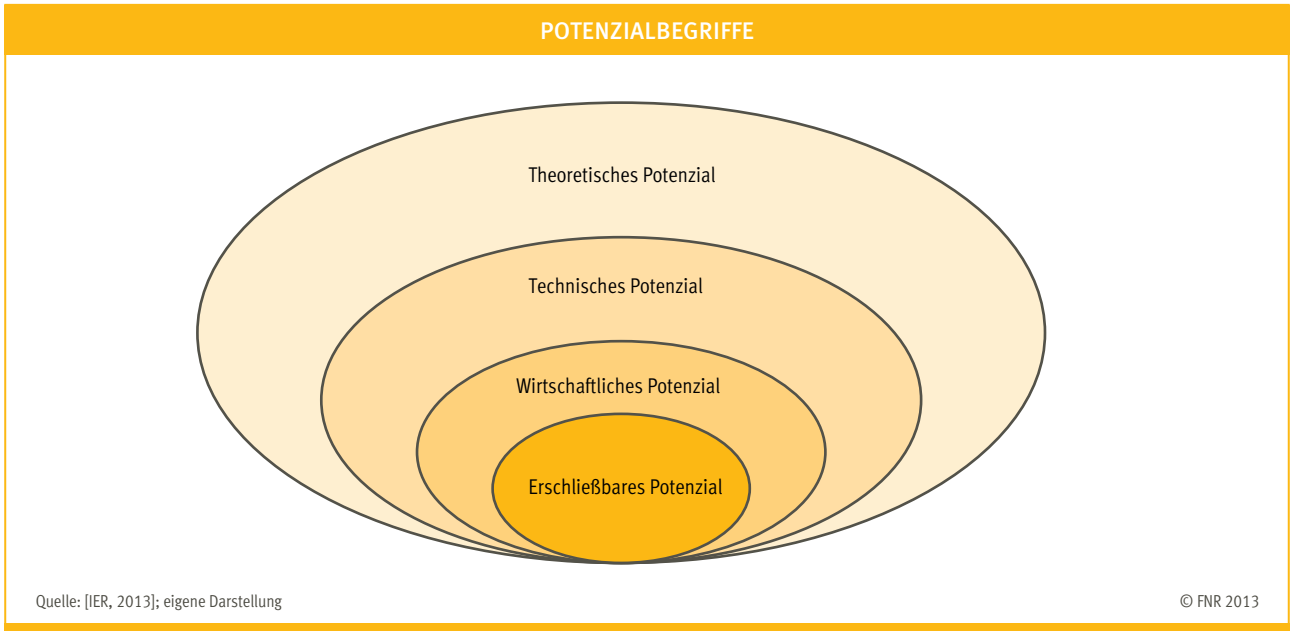


Abb. 3.1: Potenzialbegriffe

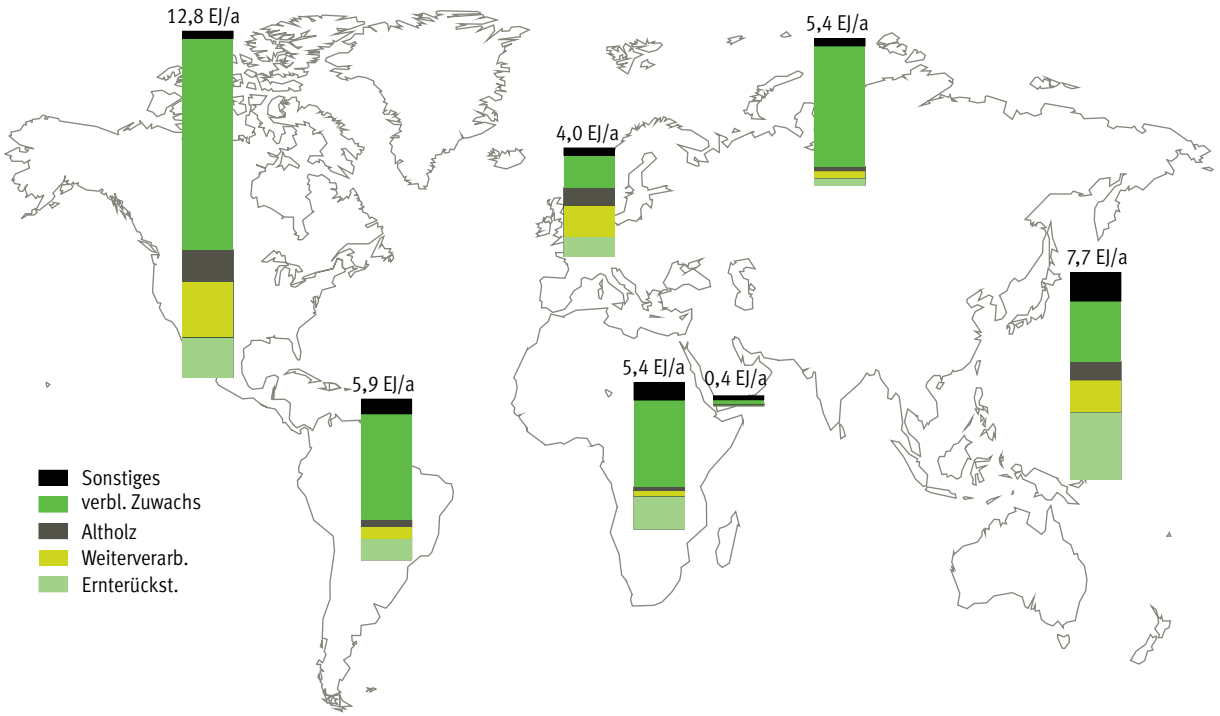
weltweit u. a. auf der Basis verfügbarer Einschlagszahlen bzw. der vorhandenen Waldflächen und mittlerer, regional unterschiedlicher Holzzuwächse ermittelt, errechnet sich weltweit ein technisches Potenzial von rund 42 EJ pro Jahr, welches in Abbildung 3.2 nach Ländergruppen aufgeschlüsselt wird. Etwas mehr als die Hälfte dieses technischen Potenzials stammt aus dem bisher ungenutzten und deshalb im Grundsatz energetisch nutzbaren Holzzuwachs, etwa 17 bzw. 13 % aus den beim Einschlag bzw. der industriellen Weiterverarbeitung anfallenden Produktionsrückständen und rund 7 bzw. 8 % aus dem jährlich anfallenden Altholz bzw. aus dem sonstigen Holz. Die größten energetisch nutzbaren Holzpotenziale sind in Nordamerika vorhanden; sie resultieren insbesondere aus dem bisher ungenutzten Holzzuwachs. Deutlich geringere Potenziale ergeben sich für Asien sowie für Afrika und Lateinamerika einschließlich der Karibik. Europa verfügt über ein technisches Holzpotenzial in Höhe von 4,0 EJ pro Jahr.

Bei einer Vielzahl landwirtschaftlicher Kulturen fallen Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle an, die als biogene Festbrennstoffe Verwendung finden können. Dies ist beispielsweise für das bei der Getreideproduktion anfallende Stroh der Fall. Bei der Zuckerherstellung aus Zuckerrohr ist Bagasse ein Koppelprodukt, dessen Einsatz als Energieträger bereits weit verbreitet ist. Dies gilt auch für die bei der Herstellung von Pflanzenölen anfallenden Pressrückstände, sofern sie nicht in der Tiermast Verwendung finden. Beispielsweise werden die bei der Olivenölherstellung anfallenden Kerne und das Fruchtfleisch z. T. bereits energetisch verwertet.

Werden derartige energetisch nutzbare Fraktionen an halmgutartigen Rückständen und Nebenprodukten weltweit erhoben und die gegebenen Restriktionen berücksichtigt, errechnet sich insgesamt ein technisches Potenzial von rund 17 EJ pro Jahr. Enthalten sind auch holzartige und sonstige Biomassen in Landwirtschaft und Gartenbau (z. B. Reisspelzen, Rückstände von Olivenbäumen, Rebstöcken, Obstbäumen, Kokosnussschalen etc.). In Abbildung 3.3 ist eine Differenzierung nach Weltregionen vorgenommen. Die größten Energiepotenziale von landwirtschaftlichen Ernte- und Produktionsrückständen liegen in Asien (überwiegend die Biomassefraktionen Stroh, Reisspelzen und Bagasse) und übertreffen andere geographische Gebiete, in denen Getreideanbau dominiert (z. B. Nordamerika, Europa), deutlich. In Europa besteht ein technisches Potenzial von 1,6 EJ pro Jahr. Bei den hier dargestellten Potenzialen handelt es sich ausschließlich um Rückstände aus der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Andere Biomassefraktionen, die auf diesen landwirtschaftlichen Nutzflächen angebaut werden (z. B. nachwachsende Rohstoffe) bzw. sich hier befinden, blieben in der hier vorliegenden Potenzialabschätzung unberücksichtigt.

Der bei der Nutztierhaltung anfallende Dung ist in getrocknetem Zustand als Festbrennstoff nutzbar. Wird vereinfachend unterstellt, dass rund die Hälfte der weltweit bei der Rinder- und Schweinehaltung anfallenden Exkremente dafür nutzbar wären, errechnet sich ein technisches Brennstoffpotenzial von rund 7,6 EJ Pro Jahr. Davon resultieren rund 93 % aus Rinder- und etwa 7 % aus Schweineexkrementen. Die mit Abstand größten Poten-

WELTWEITES TECHNISCHES ENERGIEPOTENZIAL HOLZARTIGER BIOMASSE



Quelle: [Kaltschmitt et al., 2009]; [Kaltschmitt/Hartmann, 2001]

© FNR 2013

Abb. 3.2: Weltweites technisches Energiepotenzial holzartiger Biomasse nach Ländergruppen

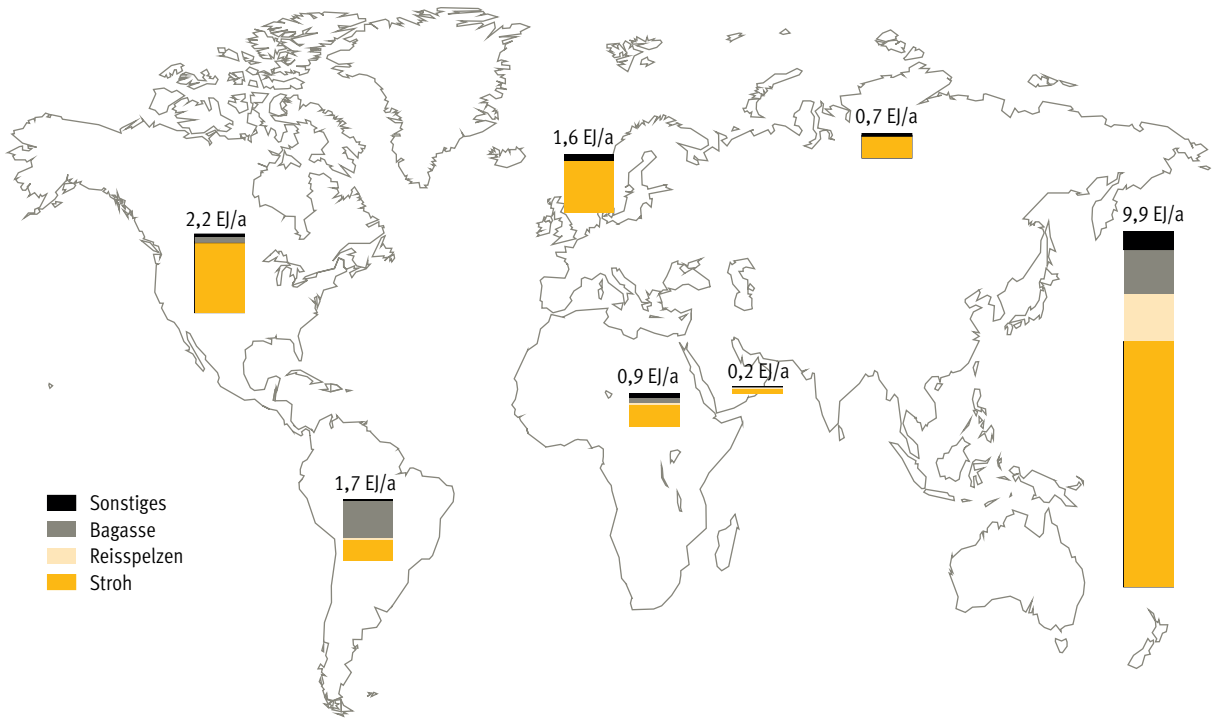
ziale sind dabei in Asien (ca. 2,7 EJ pro Jahr) gegeben. Alternativ zu einer solchen Nutzung als Festbrennstoff kann der Dung auch durch eine anaerobe Fermentation in Biogas umgewandelt werden. Mit ähnlich vereinfachenden Annahmen errechnet sich ausgehend von dem weltweiten Bestand an Rindern und Schweinen ein entsprechendes Biogaspotenzial von etwa 2,6 EJ pro Jahr.

Bei Addition der einzelnen Biomassesortimente ergibt sich insgesamt ein weltweites Potenzial von rund 104 EJ pro Jahr. Dies entspricht den Ergebnisse des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen [WBGU, 2008]. Aus Abbildung 3.4 wird ersichtlich, dass verschiedene Studien bezüglich der verfügbaren Bioenergiepotenziale zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen und dass im Laufe der Zeit eine Veränderung erwartet wird. Im vorliegenden Diagramm markieren die Querbalken den Median der Potenziale, der durch Auswertung von 14 seit 2000 erstellten Studien ermittelt wurde. Die Boxen entsprechen dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Potenzialstudien liegen, und die „Antennen“ außerhalb der Box geben das untere bzw. obere Extrem der in Potenzialstudien angegebenen Werte an. Der oben genannte Wert liegt ungefähr am oberen Quartil der 14 Studien.

Die dargestellten Potenziale werden regional sehr unterschiedlich genutzt. So steht z. B. einer sehr weitgehenden Nutzung von Biomasse in Indien und in Bangladesch eine nahezu vernachlässigbare Nutzung in vielen europäischen Ländern gegenüber. Die Abschätzung der gesamten Biomassenutzung ist relativ schwierig. Bei den „unkonventionellen“ Energieträgern liegen im Unterschied zu den „konventionellen“ (d. h. Erdöl, Erdgas, Kohle) kaum Informationen über die tatsächliche Nutzung vor, da diese nur eingeschränkt statistisch erfasst wird. Die genaue Bilanzierung ist nicht einmal in den Industriestaaten möglich, da biogene Energieträger nicht auf den üblichen Energiemärkten gehandelt, vielfach auch kostenlos abgegeben werden. Deshalb werden im Folgenden grobe Werte über die energetische Nutzung von Biomasse sowie des sich im Abgleich mit den Potenzialen ergebende „freie Potenzial“ angegeben. Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Bioenergie aber schon jetzt einen deutlich höheren Beitrag zur Deckung leisten könnte, wenn die vorhandenen technischen Potenziale genutzt würden.

Damit sind durchaus weitreichende Möglichkeiten einer Biomassenutzung auf der Welt gegeben, um Teile des Weltenergieverbrauchs durch Biomasse zu decken, dieser Anteil liegt bei fast 21 %. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, dass der fossile Primärenergieverbrauch in vielen Regionen der Welt voraussichtlich deutlich steigen wird, woraus wiederum eine Minderung der Möglichkeiten zur Deckung des Energieverbrauchs durch Biomasse resultieren würde. Andererseits ist umgekehrt auch eine Ausweitung der bestehenden Potenziale, etwa durch Ertragssteigerungen bei Pflanzenzüchtung und Produktionstechniken, denkbar (siehe Abb. 3.4).

WELTWEITES TECHNISCHES ENERGIEPOTENZIAL AN HALMGUTARTIGEN RÜCKSTÄNDEN, NEBENPRODUKTEN UND ABFÄLLEN

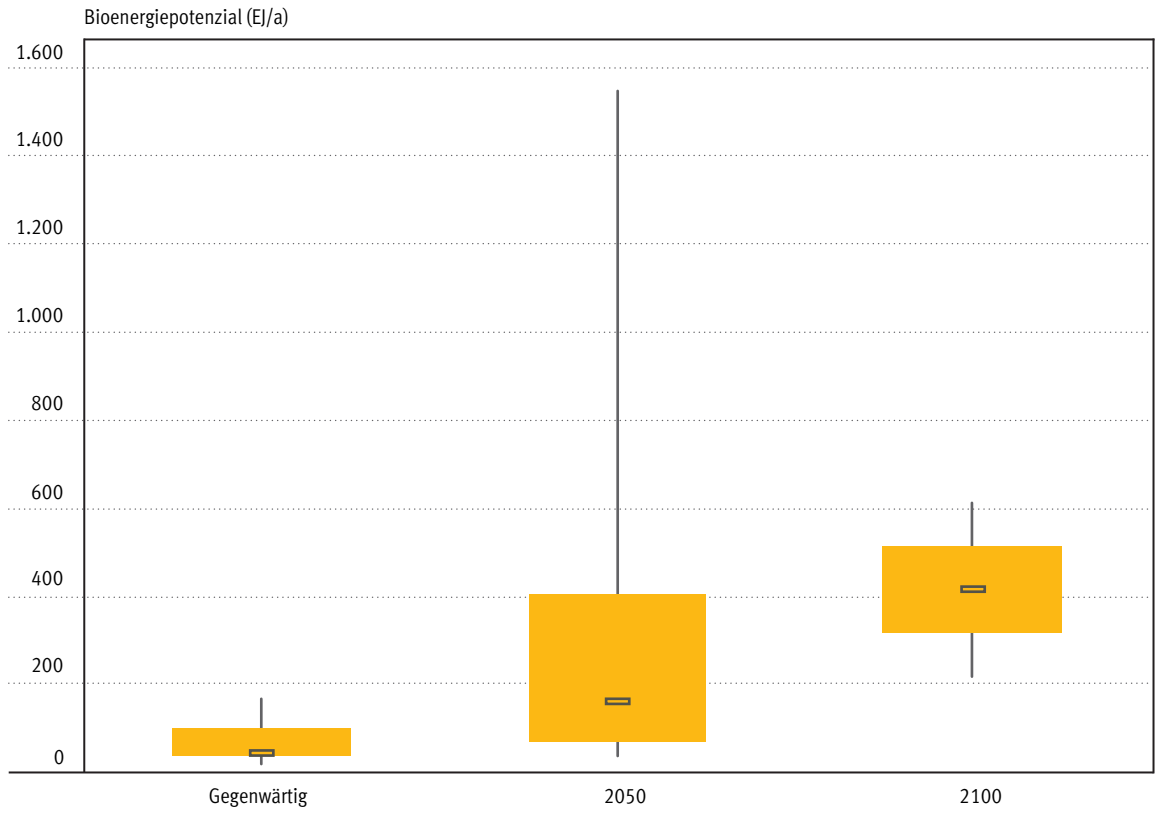


Quelle: [Kaltschmitt et al., 2009]; [Kaltschmitt/Hartmann, 2001]

© FNR 2013

Abb. 3.3: Weltweites technisches Energiepotenzial an halmgutartigen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen nach Ländergruppen

WELTWEITES TECHNISCHES ENERGIEPOTENZIAL HOLZARTIGER BIOMASSE



Quelle: [Kaltschmitt, Thrän, 2008]; [Campbell et al., 2008]; [Field et al., 2007]; [IEA Bioenergy, 2009]; [Vuuren et al., 2009]; [Hoogwijk et al., 2003]; [Smeets, Faaij, 2007]; [Haberl et al., 2010]; [Sims et al., 2006]; [Hoogwijk et al., 2005]; [Pieprzyk, 2009]; [WBGU, 2008]; [Lysen, Egmond, 2008]; [Chum et al., 2011]

© FNR 2013

Abb. 3.4: Bandbreite an berechneten Biomasse-Potenzialen weltweit (Auswertung auf Grundlage von 14 seit 2000 erstellten Studien)

TAB. 3.1: TECHNISCHE ENERGIETRÄGERPOTENZIALE FÜR BIOENERGIE

Nutzung und freie Potenziale nach Ländergruppen (absolut und Anteile)

		Nordamerika	Latein-amerika & Karibik	Asien	Afrika	Europa & Eurasien	Mittlerer Osten	Summe
Primärenergie-verbrauch* (PEV)	EJ/a	116,4	25,7	192,1	15,6	124,8	29,4	504,1
Technisches Potenzial	EJ/a	19,9	21,5	21,4	21,4	18,9	0,7	103,8
Nutzung	EJ/a	4	3,3	29,7	10,6	3,3	0,1	51
Freies Potenzial	EJ/a	15,9	18,2	–8,3	10,8	15,6	0,6	52,8
Anteil Potenzial am PEV	%	17,1	83,7	11,1	136,7	15,1	2,4	20,6
Anteil Nutzung am PEV	%	3,4	12,8	15,5	67,7	2,6	0,3	10,1
Anteil freies Potenzial am techn. Potenzial	%	79,9	84,7	–38,8	50,5	82,5	85,7	50,9

Quelle: [Kaltschmitt et al., 2009]; [BP, 2011]

** Primärenergieverbrauch (PEV) 2010: inklusive aller gehandelten Energieträger, inklusive moderner erneuerbare Energie*

3.2 Potenziale in Deutschland

Auf Grund der für Deutschland vorliegenden besseren Datenbasis erfolgt die Potenzialabschätzung hier auf der Grundlage einer detaillierten und disaggregierten Vorgehensweise genauer und differenzierter als für die weltweite Betrachtung. Nicht berücksichtigt wurden Rückstände von Verarbeitungsprozessen, wie Rapsschrot, Trester, Mühlennebenprodukte, Ausputzgetreide, Mindergetreide usw., da abgesicherte Angaben für diese Stoffe kaum vorliegen. Die folgende Darstellung bezieht sich im Wesentlichen auf die Studien [IE, 2003], [IE, 2004] und [Thrän et al., 2010], anschließend werden diese konsolidierten Zahlen in den Kontext anderer Studien gestellt.

Im Bereich der Biomasse aus der Forstwirtschaft unterscheidet man zwischen dem bei der Durchforstung anfallenden **Schwachholz** und dem eigentlichen **Waldrestholz** (d. h. Stammabschnitte und stärkere Äste mit einem Durchmesser unterhalb der Aufarbeitungsgrenze), das bei der Hauptnutzung (d. h. bei der Stammholzproduktion) anfällt. Das Potenzial an Waldrestholz beträgt bezogen auf die gesamte nachhaltig nutzbare Holzmenge 13,7 Mio. t_{FM} pro Jahr. Das entspricht einem Energiegehalt von rund 169 PJ pro Jahr. Energetisch nutzbares Schwachholz in einem Brusthöhendurchmesserbereich von 8 bis 16 cm fällt in einem Umfang von etwa 10 Mio. t_{FM} pro Jahr an (Energiegehalt von 123 PJ pro Jahr). Von dem gesamten nachhaltig nutzbaren Waldholz werden derzeit im Mittel (d. h. Sturmereignisse und die daraus resultierenden Schwankungen auf den Märkten werden nicht berücksichtigt) zu etwa 80 % eingeschlagen [website destatis]. Deshalb besteht zusätzlich eine momentan ungenutzte Reserve von etwa 10,7 Mio. t_{FM}, die energetisch genutzt werden könnte (132 PJ pro Jahr). Insgesamt resultiert damit ein Energiepotenzial von rund 424 PJ pro Jahr. Die regionale Verteilung des Energieaufkommens aus dem Wald orientiert sich im Wesentlichen an den Waldflächen. Die waldreichen süddeutschen Bundesländer weisen höhere und die weniger bewaldeten nördlichen Länder geringere technische Potenziale auf.

Landschaftspflegeholz beinhaltet das bei der Pflege u. a. von Windschutzhecken, Gewässerrändern und Straßenrändern anfallende Holz. Die entsprechenden technischen Potenziale liegen bei rund 0,46 Mio. t_{FM} pro Jahr (d. h. Verkehrswegerandgehölze: 0,11 Mio. t_{FM} pro Jahr; Gewässerrandgehölze: 0,02 Mio. t_{FM} pro Jahr; Windschutzhecken: 0,33 Mio. t_{FM} pro Jahr). Ein zusätzlich energetisch nutzbares Biomasseaufkommen stammt aus den Rechenanlagen wasserbaulicher Einrichtungen (z. B. Wasserkraftwerke, Schleusen). Mengenabschätzungen ergeben ca. 0,04 Mio. t_{FM} pro Jahr. Insgesamt ergibt sich auf Basis der sehr konservativen Annahmen ein Energiepotenzial von etwa 4 PJ pro Jahr. Weiterhin fällt Holz in Obstplantagen (Verschnitt und Rodung nach Ablauf der Nutzungsdauer), Streuobstwiesen und dem Weinbau an. Berücksichtigt man, dass nur ein Teil des Gesamtaufkommens tatsächlich nutzbar ist (20 % des gesamten Verschnitts im Obstbau, jeweils 50 % des Gesamtaufkommens im Zusammenhang mit der Obstbaumrodung, bei Streuobstwiesen und beim Weinbau) resultiert ein Gesamtenergiepotenzial in einer Größenordnung von 6 PJ pro Jahr.

Unter **Industrierestholz** werden alle Hölzer verstanden, die im Rahmen der Holzaufbereitung, der Produktion von Holzwerkstoffen und Holzprodukten sowie bei der Holzverarbeitung als Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle anfallen. Diese Hölzer werden hauptsächlich direkt vor Ort stofflich oder energetisch verwertet bzw. an weiterverarbeitende Betriebe abgegeben. In den Sägewerken liegt das Restholzaufkommen bei etwa 8 Mio. m^3 bzw. 5,7 Mio. t_{FM} pro Jahr. Es setzt sich aus Schwarten und Spreißeln (ca. 35 %), Hackschnitzeln (ca. 30 %), Säge-/Hobelspänen (ca. 30 %) und Abschnitten/Stückholz (ca. 5 %) zusammen. Der größere Teil dieser Rückstände wird in der Papier- und Zellstoffindustrie sowie der Holzwerkstoffindustrie stofflich genutzt. In der **Holzwerkstoffindustrie** fallen bei der Herstellung von Spanplatten etwa 0,95 Mio. t_{FM} pro Jahr, in der Faserplattenindustrie etwa 0,45 Mio. t_{FM}/a und in den Bereichen Tischler- und Furnierplatten etwa 0,14 Mio. t_{FM} pro Jahr an. Ein Teil davon wird wieder unmittelbar in den technologischen Prozess einbezogen. Aus der Weiterverarbeitung von Produkten der Holzwerkstoffindustrie in der Bau-, Holz- und Möbelindustrie und in der Papier- und Zellstoffindustrie resultieren ebenfalls energetisch nutzbare Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle. Insgesamt ergibt sich ein energetisch nutzbares Industrierestholzpotenzial von 4 Mio. t_{FM} bzw. 57 PJ pro Jahr.

Das technische **Altholzpotenzial** in Deutschland lag 1999 noch bei knapp 8 Mio. t_{FM} pro Jahr, 2008 aber bereits bei nur noch 6 Mio. t_{FM} pro Jahr. Die größten Anteile am Aufkommen hat Altholz aus Gewerbeabfall (ca. 35 %) und Bauabfall (ca. 31 %), gefolgt von Sperrmüll, Industrierestholz und Wertstoffen. Altholz aus Hausmüll ist mengenmäßig zu vernachlässigen. Dabei ist zu beachten, dass das Holz in den jeweiligen Stoffgruppen mit sehr unterschiedlichem Aufwand erschließbar ist. Beispielsweise lässt sich der Holzanteil im Hausmüll nur mit unvertretbar hohem Aufwand getrennt erfassen. Legt man zu Grunde, dass maximal 6,0 Mio. t_{FM} pro Jahr energetisch genutzt werden, besteht ein Energiepotenzial von 78 PJ pro Jahr zur Verfügung.

Zusammengefasst sind damit in Deutschland rund 424 PJ pro Jahr an Holz aus dem Wald, ca. 57 PJ pro Jahr an Industrierestholz, etwa 78 PJ pro Jahr an Altholz und rund 10 PJ pro Jahr an sonstigen quantifizierbaren Holzrückständen verfügbar. Das gesamte technische Energieträgerpotenzial von Holz liegt damit bei ca. 569 PJ/a.

Bei den energetisch nutzbaren **Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen** der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion handelt es sich im Wesentlichen um das bei der Getreideerzeugung anfallende Stroh. Es wird bereits mannigfaltig verwertet (u. a. Einstreu in der Nutztierhaltung, Verkauf an Gärtnereien). Der verbleibende Rest wird oft in die Ackerkrume eingearbeitet, er könnte aber auch teilweise als Energieträger genutzt werden. Das gesamte technisch gewinnbare Strohaufkommen kann aus der für die jeweilige Getreideart genutzten Anbaufläche, dem Kornertrag sowie dem mittleren Korn-Stroh-Verhältnis abgeschätzt werden. Für Deutschland ergibt sich daraus ein technisch gewinnbarer Strohanfall von rund 46 Mio. t_{FM} pro Jahr. Wird davon wegen der oben dargestellten Restriktionen rund ein Fünftel als energetisch nutzbar angesehen, resultiert ein Energiepotenzial von etwa 130 PJ pro Jahr. Die regionale Verteilung des technischen Potenzials innerhalb Deutschlands korreliert dabei im Wesentlichen mit der Getreideanbaufläche. Die flächenmäßig größten Bundesländer sind folglich durch die höchsten Potenziale gekennzeichnet.

Darüber hinaus sind halmgutartige Biomassen von Bedeutung, die auf nicht mehr für die Viehhaltung benötigtem Grün-

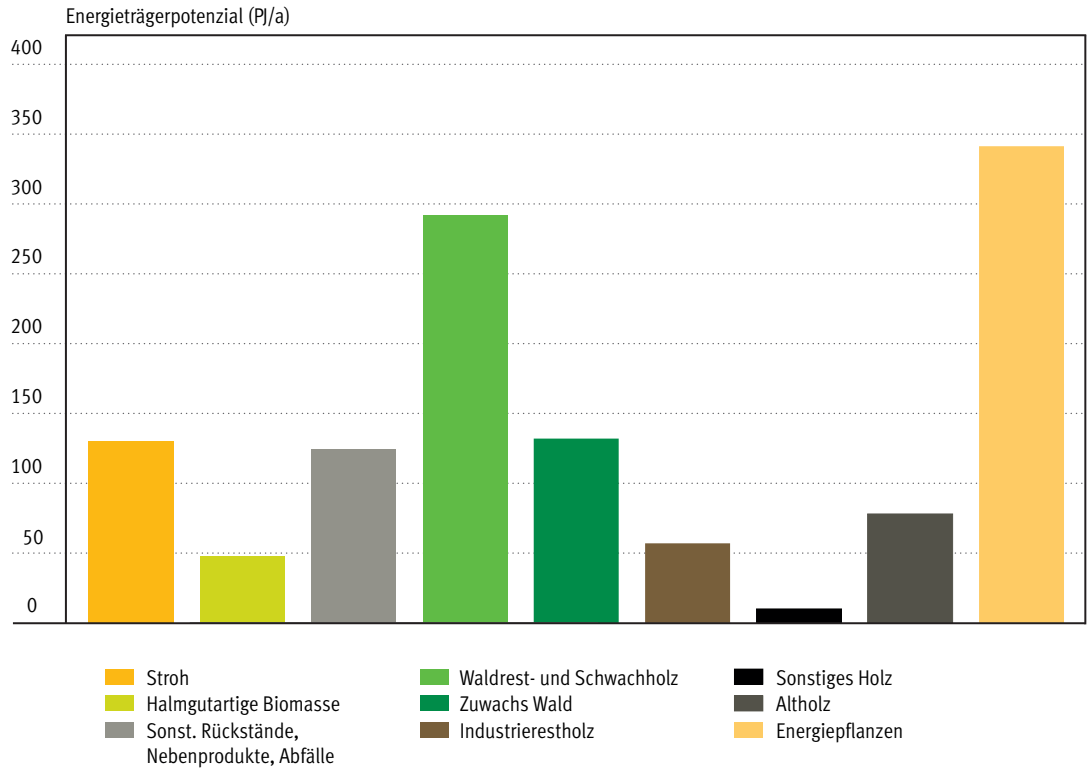
land sowie den der Landschaftspflege (z. B. Grasschnitt von Straßenböschungen, aus öffentlichen Parks, Anlagen und Gärten) unterliegenden Flächen anfallen. Das Biomasseaufkommen von **Gras vom Dauergrünland** liegt in einer Spannbreite von 2,6 bis 3,9 Mio. t_{FM} pro Jahr, das von Landschaftspflegematerial bei 0,9 bis 1,8 Mio. t_{FM} pro jahr. Insgesamt liegt damit das Energieträgerpotenzial halmgutartiger Rückstände und Nebenprodukte in einer Höhe von 172 PJ pro Jahr.

Zur Erzeugung von **Energiepflanzen** können in Deutschland Getreideganzpflanzen, Gräser mit hohem Biomasseertrag oder im Kurzumtrieb bewirtschaftete schnellwachsende Baumarten angebaut werden. Die jeweiligen technischen Potenziale werden neben pflanzenbaulichen Aspekten primär durch die landwirtschaftlichen Nutzflächen, die für die Nahrungsmittelproduktion nicht benötigt werden und für einen Energiepflanzenanbau verfügbar sind, bestimmt. Aktuell wurden 2013 2.115 Mio. ha für energetische Zwecke genutzt [website, FNR1]. Mit derzeit erreichbaren Erträgen errechnet sich für diese Flächen ein Energiepotenzial von maximal etwa 343 PJ pro Jahr bei einem Getreideganzpflanzenanbau, maximal rund 410 PJ pro Jahr bei einer Grasproduktion (u. a. Miscanthus) und maximal ca. 346 PJ pro Jahr bei im Kurzumtrieb bewirtschafteten schnellwachsenden Baumarten (z. B. Pappeln). Da in der Praxis von einem Mix der unterschiedlichen anbaubaren Pflanzenarten auszugehen sein wird, ergibt sich bei einem Anteil der jeweiligen Kulturen von jeweils einem Drittel ein technisches Potenzial von 367 PJ pro Jahr.

Insgesamt liegt das technische Potenzial der Bioenergie in Deutschland bei etwa 1.260 PJ pro Jahr, das entspricht rund 9 % des aktuellen Primärenergieverbrauchs. Abbildung 3.5 schlüsselt die im Text beschriebenen Biomassesortimente weiter auf und ermöglicht so einen detaillierten Blick auf das technische Energieträgerpotenzial in Deutschland. Die höchsten Potenziale sind im Bereich der Energiepflanzen, des Waldrestholz- und Schwachholzes sowie des Strohs auszumachen.

Abbildung 3.6 zeigt – aufgeschlüsselt in die einzelnen Sortimente-, dass auch beim Bioenergiepotenzial in Deutschland von verschiedenen Untersuchungen eine große Bandbreite an Ergebnisse ermittelt wird. Allerdings fällt die Spanne insgesamt kleiner aus als bei den weltweiten Potenzialen. Die Bandbreite an Bioenergiepotenzialen liegt zwischen 670 und 1.700 PJ/a, was einem Anteil von 5 % bis 12 % am heutigen Primärenergieverbrauchs entspricht. Der oben genannt Wert von 1.260 PJ lässt sich vor diesem Hintergrund als moderat einordnen. Es wird auch deutlich, dass die Schwankungsbreiten insbesondere bei den Sortimente zu finden sind, die über hohe Potenziale verfügen (Energiepflanzen, Waldrestholz- und Schwachholz,

TECHNISCHES ENERGIETRÄGERPOTENZIAL DER BIOMASSE



Quelle: [Thrän et al., 2010]; [IE, 2003]; eigene Darstellung

© FNR 2013

Abb. 3.5: Technisches Energieträgerpotenzial der Biomasse

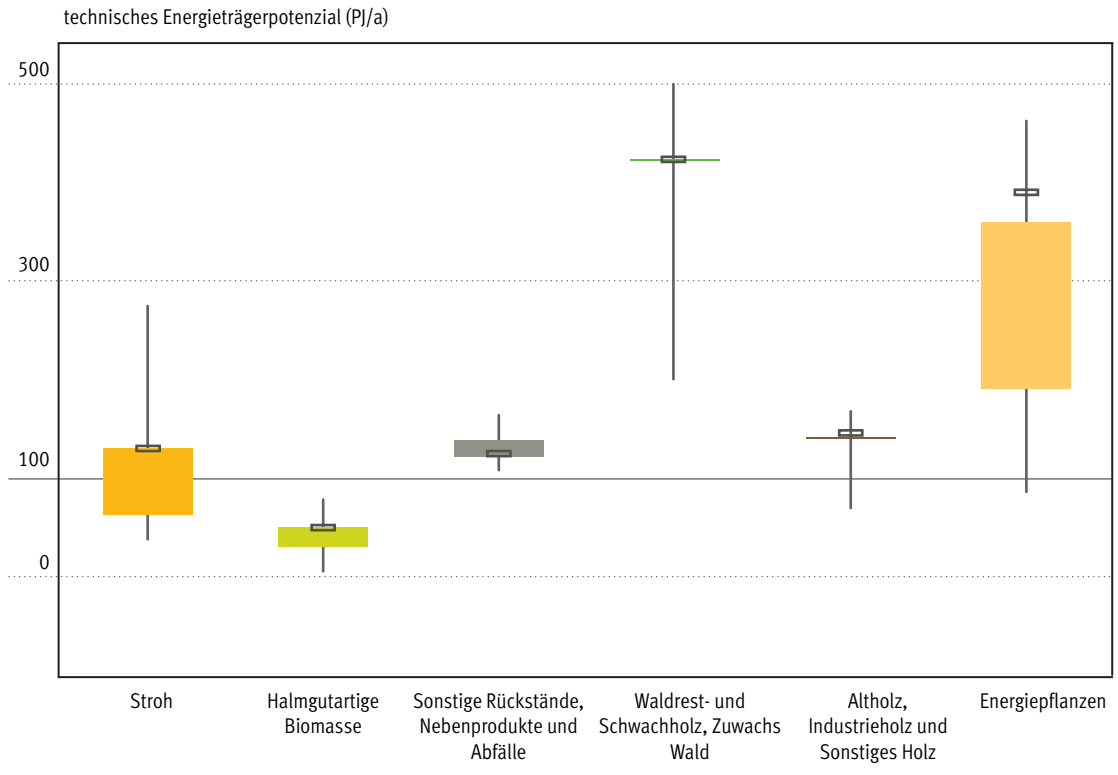
Stroh). Dies liegt insbesondere an den Unsicherheiten in Bezug auf verfügbare Flächen und Konkurrenzen begründet. Im Box-Plot Diagramm (Abb. 3.7) markieren die Querbalken die im Text genannten Werte. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen, und die „Antennen" außerhalb der Box geben das untere bzw. obere Extremum in Potenzialstudien an.

In Abbildung 3.7 sind der gegenwärtige Einsatz von biogenen Energieträgern, deren Nutzung für die Wärme-, Strom- und Kraftstofferzeugung sowie dessen Herkunft abgetragen und den Potenzialen in Deutschland gegenüber gestellt [AGEB, 2011]; [IE, 2003]; [IE, 2004]; [Thrän et al., 2010]; [Thrän, Szarka, 2011]. Von den vorhandenen technischen Potenzialen (rund 1.260 PJ/a) wurde 2010 mit 681 PJ rund die Hälfte bereits genutzt. Zusätzlich werden 149 PJ aus dem Ausland importiert. Schwerpunkte bei der Verwendung liegen in den Bereichen Strom (45 %) und Wärme (40 %).

Außerdem gilt es zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Biomassefraktionen momentan in einem sehr unterschiedlichen Grad eingesetzt werden. So gibt es Potenziale, die sich einer energetischen Nutzung bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt fast vollständig entziehen. Dies ist beim Stroh der Fall, das auf Grund des relativ schwierigen Brennstoffhandlings und aufgrund von Herausforderungen bei der Anlagentechnik bislang kaum genutzt wird. Anders sieht es bei Energiepflanzen (Raps) zur Kraftstoffproduktion (RME) aus, die in den letzten Jahren eine große Bedeutung erlangt haben. Den größten Anteil der Biomassesortimente nimmt Holz ein, so werden in Deutschland z. B. 70 % des Biomasse EEG-Stroms durch die Holzkonversion bereitgestellt [Thrän, Szarka, 2011] und 2009 bereits 43,5 % (2008: 41,8 %) des gesamten Holzaufkommens für energetisch Zwecke genutzt [Mantau, 2008]. Das bei der stofflichen Verarbeitung anfallende Industrierestholz wird fast vollständig als Energieträger genutzt – entweder in den Betrieben selbst oder in der unmittelbaren Umgebung.

Vor dem Hintergrund der durchaus beachtlichen technischen Potenziale könnte Biomasse auch in Deutschland einen deutlich höheren Beitrag zum Ersatz der derzeit eingesetzten Primärenergieträger leisten. Durch die insgesamt verfügbaren biogenen Festbrennstoffe könnten etwa 9 % des derzeitigen Energieeinsatzes ersetzt werden. Unter Berücksichtigung sämtlicher Biomassepotenziale wird in der Fachliteratur eine Abdeckung von bis zu 12 % für möglich erachtet. Diese Anteile können durch die angestrebte deutliche Senkung des Energiebedarfs noch erhöht werden. Zusammengenommen sind damit in Deutschland durchaus noch erhebliche Möglichkeiten einer über das gegenwärtige Maß hinausgehenden energetischen Nutzung der Biomasse gegeben.

BANDBREITE DES TECHNISCHEN ENERGIETRÄGERPOTENZIALS VERSCHIEDENER BIOMASSESORTIMENTE

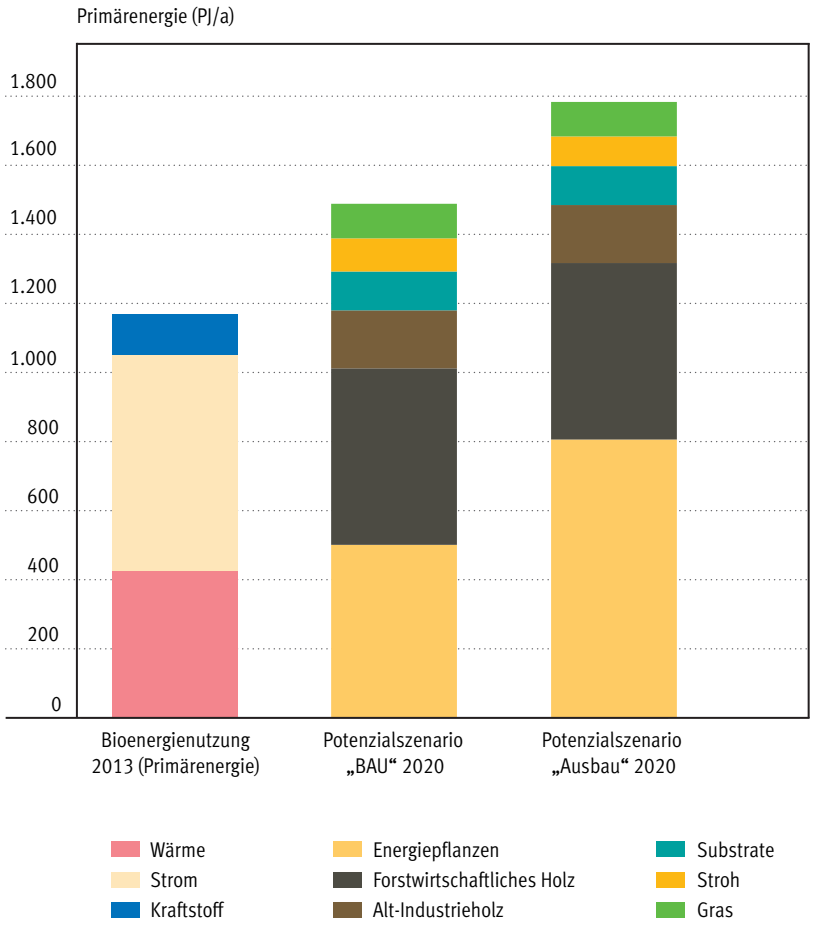


Quelle: eigene Darstellung, nach [Thrän et al., 2010]; [Thrän, Szarka, 2011]; [Zeller et al., 2011]; [BMELV, BMU, 2010]; [Kaltschmitt et al., 2009]; [Kaltschmitt et al., 2008]; [Aretz; Hirschl, 2007]; [Knappe et al., 2007]; [Rahmesohl et al., 2006]; [IE, 2003].

© FNR 2013

Abb. 3.6: Bandbreite des technischen Energieträgerpotenzials verschiedener Biomassesortimente gemäß Auswertung von 10 Studien

TECHNISCHES ENERGIEPOTENZIAL DER BIOMASSE IN DEUTSCHLAND



Quelle: eigene Darstellung, nach [AGEB, 2014]; [IE, 2003]; [IE, 2004]; [Thrän et al., 2011a]; [Thrän, Szarka, 2011]

© FNR 2014

Abb. 3.7: Nutzung, Potenziale und mögliche Entwicklung der Bioenergie in Deutschland

3.3 Treiber von Bioenergiepotenzialen

Die Höhe der Bioenergiepotenziale wird im Wesentlichen durch einige Treiber bestimmt, deren Wirkung im Folgenden kurz dargestellt wird. Tabelle 3.2 stellt ihre Wirkung an Hand von Beispielen dar.

Wesentliche Basis jeder Potenzialermittlung sind die verfügbaren Flächen **(Flächenpotenzial)**, denn ihre Höhe definiert letztendlich, in welchem Umfang Flächen für die energetische Biomassenutzung zur Verfügung stehen. Entwicklungen entstehen in diesem Bereich durch Veränderungen im Nahrungsmittelanbau, aber auch durch die Entwicklung von Naturschutzflächen oder Flächendegradierung. Letzteres kann dazu führen, dass Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung ausscheiden und dann ggf. für energetische Nutzungen zur Verfügung stehen. In den Szenarien des Deutschen Biomasseforschungszentrums (DBFZ) beispielsweise wirkt sich dies bei Kurzumtriebsplantagen besonders hoch aus. Bezieht man es auf einzelne Sortimente, so könne sich diese in einer Größenordnung von Faktor 2,5 unterscheiden. Bezieht man es auf das Gesamtbioenergiepotenzial – und geht – ceteris paribus – davon aus dass der Rest der Potenziale stabil bleibt, so ist eine Veränderung von immerhin noch 25 % zu verzeichnen [Thrän et al., 2010].

TAB. 3.2: TREIBER FÜR DIE ENTWICKLUNG VON BIOENERGIEPOTENZIALEN

Hebel	Wirkung	Sortiment	Auswirkungen	Quelle
Verfügbare Flächen	Definiert in welchem Umfang Flächen für die energetische Biomassenutzung bereitstehen	Energiepflanzen und Rückstände	Für einzelne Sortimente: Faktor 2,5	[Thrän et al., 2010]
Effizienzsteigerung/ Technologieentwicklung	Ertragssteigerung durch Pflanzenzüchtung und/ oder Produktionstechnik	Energiepflanzen und Rückstände	Höherer Biomasseertrag: Faktor 2 bis 3	[Foley et al., 2011]
Nutzbarer Anteil des Biomasseaufkommens	Beeinflusst die energetisch nutzbare Menge des Aufkommens	Rückstände	Für einzelne Sortimente: Faktor 6	[Münch, 2008]
Bevölkerungsentwicklung	Beeinflusst Nahrungsmittel- und Energiebedarf	Energiepflanzen und Rückstände	Potenzieller Flächenmehrbedarf von 25 bis 70 %	[Kaltschmitt et al., 2009]

Zum Teil werden in den verschiedenen Studien sehr unterschiedliche Anteile der Biomasse angegeben, die energetisch genutzt und somit den Bioenergiepotenzialen zugerechnet werden können. Als Beispiel kann insbesondere Getreidestroh genannt werden. Theoretisch könnte zwar das gesamte Aufkommen energetischen Zwecken zugeführt werden, dies widerspricht jedoch der betrieblichen Praxis (Einstreu und Futter) und würde außerdem die Fruchtbarkeit des Bodens (Humusreproduktion) langfristig verringern. Insofern kann dem Bioenergiepotenzial nur ein Teil des gesamten Strohaufkommens zugerechnet werden. In der Literatur wird dieser Faktor für Deutschland beispielsweise mit 10 bis 60 % beziffert [Münch, 2008]. Das Potenzial an Stroh kann allein aufgrund dieses Parameters also um den Faktor 6 variieren, bezogen auf die Gesamtbioenergiepotenziale für Deutschland wirkt sich dies immerhin noch in einer Größenordnung von rund 30 % aus.

Ein Forscherteam um [Foley et al., 2011] hat sich den möglichen weltweiten Ertragssteigerungen durch Veränderungen beim Pflanzenanbau und der Produktionstechnik (Anbau, Ernte, Transport) zugewandt. In einer optimistischen Einschätzung der weltweiten Potenziale ordnen sie **Ertragsteigerungen** von 100 bis 180 % [Foley et al., 2011]. In vielen Ländern liegt die Effizienz beim Anbau weit unter dem technisch möglichen, in Rumänien beispielsweise bei 30 % [Kaltschmitt et al., 2009]. Zusätzlich können auch Effizienzsteigerung bei den Konversionsanlagen zu einer „Streckung" des bestehenden Potenzials führen.

Einen großen Hebel macht auch – zumindest bei Zukunftsbetrachtungen – die Bevölkerungsentwicklung aus, da sie den Bedarf nach Nahrungsmitteln und den stofflichen Biomassenutzungen bestimmt. Mittelbar wirkt sich dies auf die landwirtschaftliche Nutzfläche bzw. im Umkehrschluss auf die mögliche Fläche für Energiepflanzen aus. [Kaltschmitt et al., 2009] quantifizieren den dadurch entstehen weltweiten Flächenmehrbedarf bis 2050 auf 25 bis 75 %.

Im Hinblick auf die Beiträge zur Energieversorgung stellt das verfügbare Biomasseangebot insgesamt einen begrenzt steigerbaren Faktor dar. Je nach Definition und Rahmenbedingungen, den berücksichtigten Sortimenten und Maßstabsebene lassen sich in Deutschland zwischen 9 und 12 % des Energiebedarfs durch Biomasse decken. Werden mögliche Reduktionen beim Energiebedarf eingerechnet, reichen die Schätzungen sogar bis 23 % [website FNR2].

Darüber hinaus lässt sich (erwartungsgemäß) feststellen, dass eine Abhängigkeit der Biomassepotenziale von der Raumstruktur besteht [BMU, 1999]. Mit zunehmender Besiedlung und Dichte sinkt das Biomassepotenzial deutlich. Besonders die ländlichen Kreise weisen wegen der hohen Anteile der Wald-, Acker- und Dauergrünlandflächen hohe Biomassepotenziale auf. Am Beispiel Baden-Württembergs konnte beispielsweise aufgezeigt werden, dass ländliche Kreise im Vergleich zu anderen Kreistypen über ein um den Faktor 2 (gegenüber verdichteten Kreisen) bis 7 (gegenüber Kernstädten) höheres (einwohnerspezifisches) Potenzial verfügen [Jenssen, 2010a]. Korrespondierend dazu kann auch bei der Erzeugung nachgewiesen werden, dass die Bioenergie überwiegend im ländlichen Raum stattfindet. Über 60 % der installierten Leistung an Bioenergieanlagen sind dort zu verordnen [Koch et al., 2010].

4 NACHHALTIGKEIT VON BIOENERGIE

Welche Treibhausgasminderung kann ein Bioenergieprojekt erzielen? Welche Kosten gehen mit ihm einher? Und welche Arbeitsplatzeffekte hat es? Diese und ähnliche Fragen stellen sich Entscheidungsträger, wenn sie mit der Umsetzung von Bioenergievorhaben konfrontiert werden.

Entscheidungen über Bioenergieprojekte können aber nicht allein durch die Beantwortung von Einzelfragen getroffen werden, denn oft hat man es mit Zielkonflikten zu tun: Treibhausgasminderungen gehen mit höheren Feinstaubemissionen einher oder höhere volkswirtschaftliche treffen auf geringe betriebswirtschaftliche Kosten. Im Folgenden werden die fachlichen Hintergründe, Grundlagen und Argumentationsstränge für eine reflektierte Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen (das Für und Wider) der Bioenergienutzung sowie möglicher Zielkonflikte im Hinblick auf Nachhaltigkeitsanforderungen behandelt.

Die mit sehr unterschiedlichen Argumenten geführte Diskussion wirft die Frage nach den Möglichkeiten zur Bewertung von Bioenergietechnologien auf. Immer wieder wird in diesem Zusammenhang der Begriff der „Nachhaltigkeit“ als Bewertungsgrundlage genannt. Nicht nur weil der Begriff ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammt – er geht auf den sächsischen Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz zurück, der zu Beginn des 18. Jahrhunderts eine nachhaltige Versorgung des Bergbaus mit dem Rohstoff Holz sichern wollte – eignet er sich für die Betrachtung und Bewertung der Bioenergie. Denn der ihr zugrunde liegende Ausgangsgedanke – nicht mehr, aber auch nicht weniger Holz zu ernten als nachwächst[1] – wurde vor dem Hintergrund der Industrialisierung und zunehmender Umweltprobleme zu einem von vielen Bevölkerungsschichten akzeptierten Leitbild für eine ökologisch, ökonomisch und sozial gerechte Verteilung von Lebenschancen für gegenwärtige und künftige Generationen ausgebaut.

Im Anschluss an den Brundlandt-Bericht [WCED, 1987] und die internationale Konferenz von Rio de Janeiro (1992) hat dieses Konzept sehr viel Resonanz erfahren und ist zu einer gesellschaftlich fest verankerten Größe geworden. Während über das allgemeine Verständnis weitgehende Einigkeit besteht, gibt es bei der Operationalisierung, Präzisierung und Auslegung des Nachhaltigkeitsbegriffs unterschiedliche und zum Teil widersprüchliche Auffassungen[2]. Dies liegt auch daran, dass seine Konkretisierung kontextabhängig ist und „im Spannungsfeld zwischen Abstraktheit als Konsensvoraussetzung und Konkretisierung als Handlungsvoraussetzung“ [Billharz, 2008] steht.

Die Vor- und Nachteile verschiedener Bioenergietechnologien werden in diesem Kapitel also vor dem Hintergrund des allgemeinen Nachhaltigkeitsdiskurses behandelt und einige Bewertungsbeispiele vorgestellt. Dazu werden in Kapitel 4.1 zunächst einige Möglichkeiten und Grenzen der Bioenergienutzung qualitativ aufgezeigt. Die einzelnen Argumente werden entsprechend des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit [Renn et al., 2007], das sich weltweit gegenüber anderen Illustrationsformen und Konzepten durchgesetzt hat, eingeordnet. Anschließend werden anhand von vier Methoden verschiedene Möglichkeit zur Nachhaltigkeitsbewertung der Bioenergie aufgezeigt und ihre Praxistauglichkeit demonstriert. In Kapitel 4.3 werden die Erkenntnisse abschließend zusammengefasst.

4.1 Für und Wider der Energiegewinnung aus Biomasse

Die Energiebereitstellung jedweder Form ist – unabhängig vom jeweils eingesetzten Energieträger – mittel- und unmittelbar mit z. T. unvermeidbaren Auswirkungen auf die natürliche Umwelt und die Gesellschaft sowie mit Anforderungen und Kosten für die Bereitstellung von End- und Nutzenergie verbunden. Dies gilt für eine Stromerzeugung aus Steinkohle genauso wie für die aus

[1] *Die Nutzung des Waldes ist nachhaltig, „wenn nicht mehr jährlich darin Holz gefällt wird, als die Natur jährlich darin erzeugt, und auch nicht weniger“ [Kasthofer, 1818].*

[2] *Etwa in Bezug auf die Auswahl von Nachhaltigkeitsindikatoren, die Gewichtung der Nachhaltigkeitsdimensionen und den Umgang mit Zielkonflikten, die Fundierung durch normative oder analytisch-naturwissenschaftliche Methoden beziehungsweise die Entscheidung für einen anthropozentrischen- oder biozentrischen Ansatz [Renn et al., 2007]; [Santos Bernardes et al., 2002].*

Wasserkraft und gleichermaßen für die energetische Nutzung von Biomasse. Die ökologischen, ökonomischen und sozialen Implikation dieser verschieden Bereitstellungsformen von Energie fallen zum Teil jedoch sehr unterschiedlich aus. Auch kommt es vor, dass die gleiche Technologie hinsichtlich der verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen oder Indikatoren heterogen abschneidet: so kann beispielsweise ein Holzheizkessel zwar über geringe Treibhausgasemissionen verfügen, jedoch z. B. hinsichtlich Feinstaub höhere Emissionen im Vergleich zu anderen Technologien haben. Im Folgenden werden deshalb ausgewählte Aspekte der energetischen Nutzung von Biomasse im Hinblick auf die drei Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökologie in Kapitel 4.1.1, Ökonomie in Kapitel 4.1.2 und Soziales in Kapitel 4.1.3) erörtert.

4.1.1 Ökologische Dimension der Nachhaltigkeit

Durch die Diskussion über anthropogene Klimaveränderungen ist die Entstehung der treibhauswirksamen Gase bei der Energieerzeugung in den Vordergrund der öffentlichen Diskussionen getreten. Die umweltpolitischen Diskussionen um human- und ökotoxisch wirkende Luftschadstoffe sind dagegen etwas in den Hintergrund gerückt [IPCC, 2008]. Bei der Diskussion der ökologischen Auswirkungen der Biomasseproduktion und -bereitstellung ist zwischen biogenen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Land- und Forstwirtschaft (z. B. Stroh, Waldrestholz) und einem speziellen Anbau von Energiepflanzen zu unterscheiden. Generell gilt, dass die Umweltwirkungen bei Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen gering sind, da die Umwelteffekte im Allgemeinen dem eigentlichen Hauptprodukt (z. B. dem Korn bei der Getreideproduktion oder dem Stammholz beim Holzeinschlag) angelastet werden. Mit einem Energiepflanzenanbau sind in der Regel stärkere ökologische Beeinträchtigungen verbunden, da der gesamte Produktionsprozess der eigentlichen Bereitstellung des Energieträgers dient. Zu den direkt wirksamen Emissionen zählen u. a. Kohlenstoffdioxid (CO_2), Distickstoffoxid (N_2O, Lachgas) und Methan (CH_4). Dabei ist die relative Klimawirksamkeit dieser sogenannten Treibhausgase unterschiedlich. Weltweit gesehen, kommt dem aus fossilen Energieträgern freigesetzten CO_2 mit einem Anteil von ca. zwei Drittel an den gesamten Klimagasfreisetzungen die größte Bedeutung zu.

Abbildung 4.1 gibt einen Überblick über **Treibhausgasemissionen** exemplarischer Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung als auch zur Kraftstoffherstellung. Grundsätzlich sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren, da sie vergleichend aus verschiedenen Studien, die sich mit THG-Emissionen beschäftigen, erhoben wurden, in denen jeweils nicht notwendigerweise vergleichbare Annahmen zu z. B. technischer Auslegung, betrachteten Systemgrenzen oder Umgang mit den Gutschriften angelegt wurden. Eine umfassende Bewertung kann prinzipiell nur im Hinblick auf die genannten Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Nichtsdestotrotz vermittelt die Abbildung 4.1 eine generelle Einschätzung und vergleichende Betrachtung der Emissionsniveaus der unterschiedlichen Technologien zur Nutzung von Biomasse.

Es wird deutlich, dass durch die Nutzung von biogenen im Vergleich zu fossilen Energieträgern bei der Wärme- und Stromerzeugung als auch bei der Kraftstoffherstellung Treibhausgasemissionen deutlich vermindert werden können. Beispielsweise liegen die THG-Emissionen für Heizwerke und Pelletkessel unter 50 g $CO_{2äq}$/kWh und damit um den Faktor sechs niedriger als die THG-Emissionen aus dem Wärmemix in Deutschland (295 g $CO_{2äq}$/kWh) [IE Leipzig, IfEU, 2007]. Auch bei Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien mit biogenen Energieträgern liegen die THG-Emissionen mit 50 bis 100 g $CO_{2äq}$/kWh deutlich unter den Emissionen des Strommix Deutschlands (579 g $CO_{2äq}$/kWh_{el}) [BMU, 2011a]. Die KWK-Technologien wurden in den jeweiligen Studien mit einer Wärmegutschrift bilanziert, sodass ein Vergleich mit dem Strommix möglich ist. Damit hat natürlich der Umfang der unterstellten Wärmenutzung einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Die Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffe bzw. Ernterückstände (Gülle, Waldrestholz, Stroh) führt im Vergleich mit dem Einsatz von Energiepflanzen (z. B. Mais, Raps, Kurzumtriebsplantagen) zu geringeren THG-Emissionen. Als ein Beispiel werden hier auf die THG-Emissionen im Rahmen der Biogasproduktion und -nutzung verwiesen. Während die THG-Emissionen beim Einsatz von Gülle im Bereich von 55 bis 70 g $CO_{2äq}$/kWh_{el} liegen, kommen sie beim Einsatz von Mais als Biogassubstrat auf 75 bis 110 g $CO_{2äq}$/kWh_{el}. Dies ist insbesondere bedingt durch die erhöhten Aufwendungen bei der Bereitstellung der Biomasse, v. a. die Produktion und Ausbringung von Düngemitteln.

Im Jahr 2012 wurden durch den Einsatz von Bioenergieträgern in Deutschland ca. 70,8 Mio. Tonnen CO_2 vermieden [BMU, 2013a]. Das entspricht bezogen auf die jährlichen Gesamt-CO_2-Emissionen (ca. 800 Mio. t) einem Anteil von über 8 % gegenüber den energiebedingten CO_2-Emissionen der emissionshandelspflichtigen Anlagen in Höhe von 453 Mio. Tonnen einen Anteil von immerhin 15,7 %. Bei voller Ausschöpfung der in Deutschland vorhandenen Biomassepotenziale wäre eine CO_2-Minderung in einer Größenordnung von rund 85 Mio. Tonnen erreichbar, dies entspricht einem Anteil von fast 11 % bezogen auf die gesamten heutigen CO_2-Emissionen.

Im Gegensatz zu den klimawirksamen Spurengasfreisetzungen führt eine Substitution fossiler durch biogene Festbrennstoffe meist zu Mehremissionen an N_2O und damit zu einer potenziell höheren Beeinträchtigung der stratosphärischen Ozonschicht. Diese Mehremissionen resultieren aus den energiebedingten Freisetzungen von N_2O bei der Verbrennung von Biomasse, energie- und prozessbedingten Emissionen von **Stickstoffverbindungen bei der Stickstoffdüngemittelproduktion** sowie aus deren Freisetzungen aus Böden infolge von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten diese Belastungen zu reduzieren, etwa durch den sparsamen Einsatz von Stickstoffdüngern sowie den Anbau von Stickstoff fixierenden Pflanzen (z. B. im Mischanbau, Zwischenfruchtanbau) oder dem Einsatz verbesserter Verbrennungstechnologien (u. a. Thermolyse, oder längere Verweilzeit des Stickstoffs) [FNR, 2003].

Ein weiterer Aspekt ist die Versauerung von Böden und Gewässern. Sie wird durch säurebildende Gase verursacht, die aus der Atmosphäre entweder trocken deponiert oder in Form von nasser Deposition (saurer Regen) auf die Erdoberfläche – und damit z. B. auch auf terrestrische Ökosysteme, aber auch auf Bauwerke – einwirken. Zu den säurebildenden Gasen zählen Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffmonoxid und -dioxid (NO_x), Ammoniak (NH_3) sowie Chlorwasserstoff (HCl). Beim Einsatz von biogenen Festbrennstoffen resultieren immer dann Minderemissionen dieser säurebildenden Gase im Vergleich zu den substituierten fossilen Energieträgern, wenn Steinkohle durch

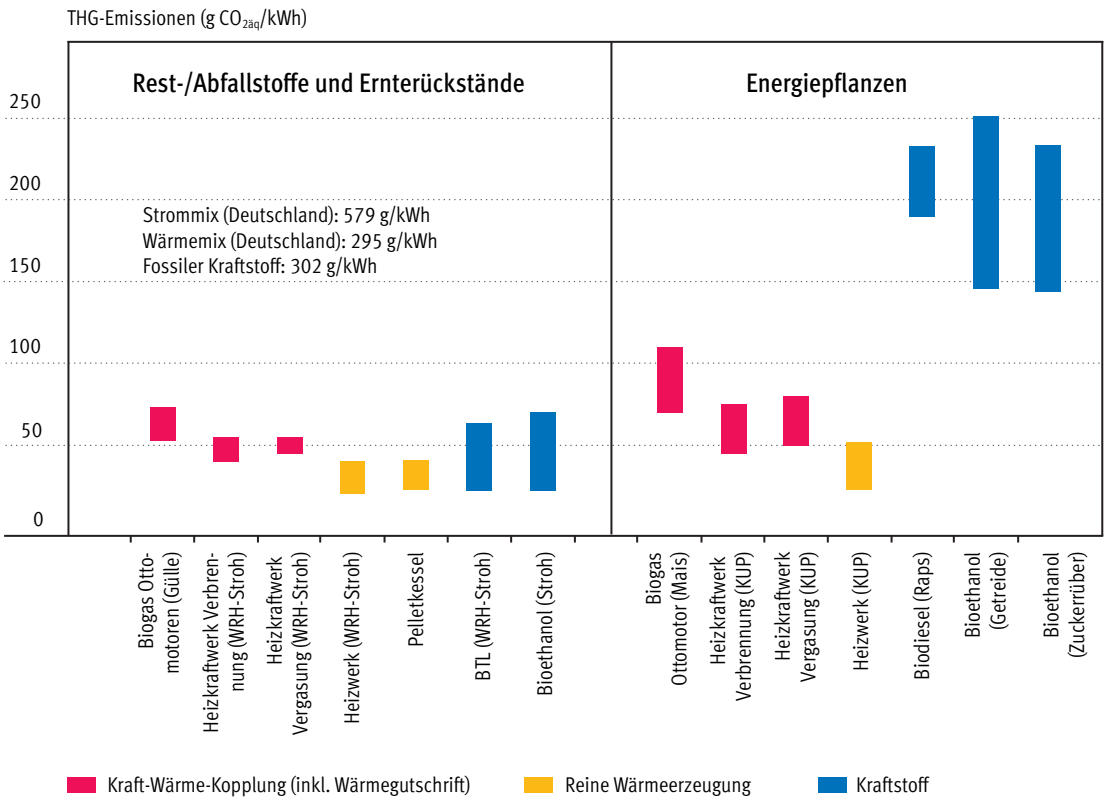
Holz ersetzt wird. Im Falle der Substitution von leichtem Heizöl durch Holz können sich je nach den Bedingungen vor Ort Minder- oder geringfügige Mehremissionen ergeben. Gegenüber Erdgas zeigen biogene Festbrennstoffe jedoch höhere Freisetzungen an Gasen mit versauernder Wirkung. So sind die spezifischen Emissionen einer biomassebasierten Stromerzeugung (mit Waldholz) etwa halb so hoch wie die eines neuen Steinkohlenkraftwerkes [Nill et al., 2001]. Die verstärkte Nutzung von Biomasse kann also beim Ersatz von Steinkohle und Heizöl zur Reduktion der Freisetzungen an Gasen mit versauernder Wirkung beitragen. Da aus gegenwärtiger Sicht biogene Festbrennstoffe aus ökonomischen Gründen überwiegend Heizöl, weniger aber Erdgas ersetzen, ist durch den verstärkten Biomasseeinsatz eine Möglichkeit zur Reduktion der Emissionen mit versauernder Wirkung gegeben.

Schwefeldioxid (SO_2) und Stickstoffoxide (NO_x) sind gekennzeichnet durch ihre schädliche Wirkung auf den Menschen und die natürliche Umwelt (d. h. **human- und ökotoxische Wirkung**). In diese Kategorie fallen auch Dieselruß, Kohlenstoffmonoxid (CO), Ammoniak (NH_3), Chlorwasserstoff (HCl) und Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) sowie eine Reihe weiterer Stoffe.

Problematisch bei Biomassefeuerungen können auch die Feinstaubemissionen sein [Struschka, 2003]. Je nach den Randbedingungen vor Ort kann es beim Ersatz fossiler durch biogene Energieträger zu Mehr- oder Minderemissionen von Substanzen mit human- und ökotoxischer Wirkung kommen. Die Emissionsunterschiede der einzelnen Emittenten variieren dabei sehr stark, sie werden maßgeblich bestimmt von der Art der Versorgungsaufgabe und damit von der Alternativlösung auf Basis fossiler Energieträger und von der eingesetzten Biomasse und der genutzten Anlagentechnologie. Eine Aussage über potenzielle Mehr- und Minderemissionen beim Ersatz fossiler durch biogene Energieträger ist somit nicht pauschal möglich, sondern bedarf einer sorgfältigen Einzelfallanalyse. Viele Auswirkungen lassen sich durch eine verbesserte Feuerungs- und/oder Filtertechnik deutlich reduzieren. Die Staubemissionen bei Kleinfeuerungsanlagen können durch Einsatz der entsprechenden Filtertechnologie beispielsweise um 60 % bis 90 % gemindert werden [Struschka, 2003]; [Nussbaumer, 2007].

Weiterhin kann es bei der Bioenergie zu negativen **Umweltauswirkungen** bei der Aufbereitung, dem Transport und der Lagerung kommen. Tendenziell sind die Risiken im Vergleich zu

SPEZIFISCHE TREIBHAUSGAS (THG)-EMISSIONEN FÜR VERSCHIEDENE BIOENERGIETECHNOLOGIEN



Quelle: [König, 2009]; [IE Leipzig, IfEU, 2007]; [Özdemir, 2012]; [FNR, 2011]; [BMU, 2011a]; eigene Abschätzungen

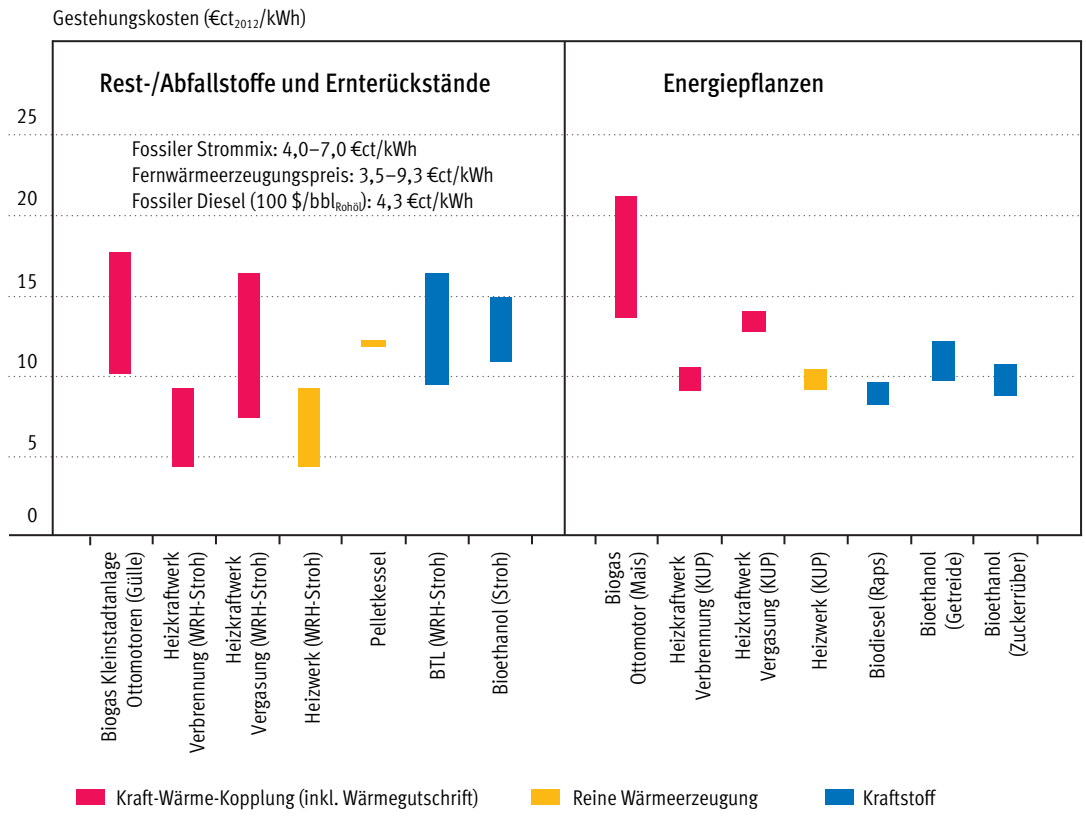
© FNR 2013

Abb. 4.1: Bandbreite an spezifischen Treibhausgas (THG)-Emissionen für die Strom- und Wärmebereitstellung sowie die Kraftstoffherstellung aus verschiedenen Bioenergieträgern (WRH: Waldrestholz; KUP: Kurzumtriebsplantagen, BTL: Biomass to Liquid)

den fossilen Rohstoffen Öl, Gas, Kohle und Uran jedoch deutlich geringer. Die Transportentfernungen betragen im Durchschnitt nur einen Bruchteil der Entfernungen, über die fossile Energieträger bis zur energetischen Nutzung im Regelfall transportiert werden. Aber auch bei längeren Transporten fallen negative ökologische Auswirkungen vergleichsweise gering aus [Jenssen, 2010a]. Insgesamt ist das Umweltrisiko bei fossilen Energieträgern z. B. durch Tankerunglücke, Tank- und Leitungsundichtigkeiten oder Gasexplosionen sowie Sabotage um ein Vielfaches höher als bei der lokalen Produktion und Bereitstellung biogener Brenn- und Rohstoffe. Dabei darf aber nicht unberücksichtigt bleiben, dass die Lagerung von Biomasse auch ein Selbstentzündungs- und Brandrisiko sowie gesundheitliche Risiken u. a. durch Pilzsporen bergen kann, die bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis weit reduziert werden können.

Um einer **Auszehrung der Böden** entgegenzuwirken muss auch bei den Flächen, die zur Produktion von Biomasse verwendet werden, auf eine ausreichende Bodenfruchtbarkeit geachtet werden. Vor allen Dingen muss zur Erhaltung des Humusgehaltes im Boden sichergestellt sein, dass immer ein gewisser Anteil organischer Masse auf den Flächen verbleibt oder in Form von organischer Düngung (pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft) zugeführt wird. Bei der Nutzung holzartiger Rückstände im Forst sowie bei Kurzumtriebsplantagen ist beispielsweise der Verbleib von Wurzel-, Laub- und Nadelmasse sowie von Blüten- und Fruchtständen auf den Flächen dringend erforderlich, da insbesondere diese Pflanzenteile Speicherorgane für Nährstoffe sind. Der Verbleib dieses Biomasseanteils auf zur Holzproduktion genutzten Flächen ist jedoch der Regelfall, da die Verfügbarmachung dieser Anteile aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll ist. Ist die Flächenbewirtschaftung vergleichsweise intensiv (z. B. bei Getreideganzpflanzen), muss zusätzlich gedüngt werden, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Grundsätzlich kann dabei ein Teil der bei der Nutzung entzogenen Mineralstoffe in Form von Asche, die z. B. bei der Verbrennung fester Bioenergieträger anfällt, auf die beernteten Flächen zurückgeführt werden. Hinsichtlich der Bodenökologie kann beim Energiepflanzenanbau gegenüber dem konventionellen Nahrungsmittelanbau insgesamt eine leichte Verbesserung abgeschätzt werden. Gegenüber dem Dauergrünland und ein- und mehrjährigen Brachen tritt durch deren gute Humusbilanz jedoch eine Verschlechterung ein.

SPEZIFISCHE GESTEHUNGSKOSTEN FÜR VERSCHIEDENE BIOENERGIETECHNOLOGIEN



Quelle: [König, 2009]; [Özdemir, 2012]; [Stenull, 2012]; [Blesl et al., 2009]; eigene Abschätzungen

© FNR 2013

Abb. 4.2: Bandbreite an spezifischen Gestehungskosten (frei Anlage) für verschiedene Bioenergietechnologien (WRH: Waldrestholz; KUP: Kurzumtriebsplantagen, BTL: Biomass to Liquid)

4.1.2 Ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit

Anhand von Gestehungskosten können die verschiedenen fossilen und biogenen Energieerzeugungspfade verglichen werden. In die Gestehungskosten gehen sämtliche Kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten ein, die für die Bereitstellung für Strom, Wärme oder Kraftstoff erforderlich sind.

Grundsätzlich sind beim Vergleich der Gestehungskosten verschiedener Energiebereitstellungspfade die ggf. unterschiedlichen Annahmen zur technischen Auslegung, Höhe der Investitionskosten, Höhe der Substratkosten, Umgang mit den Gutschriften in den verschiedenen Quellen zu beachten. Eine umfassende Bewertung kann prinzipiell nur unter Berücksichtigung dieser ggf. unterschiedlichen Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Vor diesem Hintergrund werden anhand von Abbildung 4.2 folgende generelle Schlussfolgerungen zu den Gestehungskosten gezogen.

Der Vergleich der Gestehungskosten von fossilen und biogenen Energieträgern zeigt ein differenziertes Bild. Für Kraftstoffe aus fossilen Quellen liegen bei einem Ansatz der Rohölkosten von 100 $/bbl$_{Rohöl}$ die Gestehungskosten beispielsweise bei 4,3 €ct/kWh. Damit liegen sie deutlich niedriger als die Gestehungskosten für biogene Kraftstoffe, die zwischen ca. 8 bis 17 €ct/kWh anzusetzen sind. Die Gestehungskosten des fossilen Strommix Deutschlands (4 bis 7 €ct/kWh) sind tendenziell niedriger als die der KWK-Technologien mit biogenen Energieträgern (5 bis 23 €ct/kWh), wobei Heizkraftwerke, die Waldrestholz oder Stroh einsetzen, eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Technologie darstellen.

Bei der Wärme zeigt sich, dass die Gestehungskosten, wenn Waldrestholz und Stroh genutzt werden, vergleichbar mit der Fernwärmeerzeugung sind. Die im Vergleich zum Heizwerk hohen Gestehungskosten für Pelletkessel sind darauf zurückzuführen, dass für das Heizwerk sowie für den Fernwärmeerzeugungspreis die Kosten der Wärmeleitung und für den Wärmeanschluss nicht berücksichtigt sind.

Heute wird die Versorgung Deutschlands mit fossilen Rohstoffen – trotz der großen Schwankungsbreite der Rohölpreise auf den Weltmärkten – als weitgehend gesichert angesehen. Trotzdem kann infolge politischer Instabilitäten die Energieversorgung schnell unsicher werden. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass die Vorräte im Nahen Osten und neue Fördertechnologien zukünftig erheblich an Bedeutung gewinnen werden. Aus diesem Grund hat aus Sicht eines hochindustrialisierten Landes wie der Bundesrepublik Deutschland, das zu einem guten Teil von Energieimporten abhängig ist, die Versorgungssicherheit nach wie vor eine erhebliche energiepolitische Bedeutung. Sie wird im Folgenden kurz diskutiert. Hinzu kommt die hohe Volatilität der Ölmärkte, die ihrerseits eine Leitmarktfunktion, u. a. für die Gaspreise haben.

Unser heutiges Energiesystem basiert weitgehend auf dem Einsatz nicht-erneuerbarer fossiler Ressourcen. Da die Vorräte an fossil biogenen (Öl, Gas und Kohle) und fossil mineralischen (z. B. Uran) Rohstoffen begrenzt sind, kann und darf eine einseitige Abhängigkeit von fossilen Energieträgern nicht das Ziel einer vorausschauenden und die Interessen zukünftiger Generationen berücksichtigenden Energiepolitik sein. Bei einem weltweit weiter deutlich zunehmenden Verbrauch fossiler Energieträger, wie er sich trotz aller gegenteiligen Bemühungen abzeichnet, könnten die der Menschheit insgesamt zur Verfügung stehenden Ressourcen von wenigen Generationen weiter deutlich reduziert werden. Deshalb sollten erneuerbare Energien vermehrt zur Substitution nicht-erneuerbarer Energieträger eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund der in Deutschland und weltweit vorhandenen erheblichen und damit durchaus energiewirtschaftlich relevanten Biomassepotenziale und des nach wie vor weltweit steigenden fossilen Primärenergieverbrauchs kann die Biomasse einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung und zur Streckung der Vorräte an fossilen Energieträgern leisten.

Versorgungssicherheit beinhaltet, für die Deckung der Energienachfrage jederzeit ein ausreichendes Angebot an Energieträgern sicherzustellen. Die Produktion von Energieträgern in Deutschland reicht gegenwärtig bei weitem nicht aus, um die gegebene Nachfrage zu decken. Die Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung ist mit rund 70 % sehr hoch [BMWi, 2011]. Es ist auch von einem weiteren Anstieg der Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland von Energieimporten auszugehen. Damit werden auch die Preisrisiken für die deutsche Energieversorgung steigen. Das Niveau und die Schwankungsbreite beim Ölpreis ist bereits heute ausgesprochen groß (z. B. Einfuhrpreise für Rohöl 1999: 123 €/t; 2005: 324 €/t; 2008: 484 €/t; 2010: 446 €/t [BMWi, 2011]). Mit der erwarteten steigenden Nachfrage auf den Weltmärkten für Öl und Gas – und den diskutierten politischen Instabilitäten – nimmt die Gefahr erheblicher Preisschwankungen noch weiter zu. Ziel der deutschen und europäischen Energiepolitik war und ist es, durch verschiedene Maßnahmen die Versorgungssicherheit zu erhöhen bzw. aufrechtzuerhalten. Angestrebt wird eine Diversifizierung, d. h. die Energienachfrage durch einen möglichst breit gestreuten Mix an Energieträgern zu decken. Erneuerbare Energien sind neben Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs ein wichtiger Bestandteil einer Strategie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit. Hier erscheinen biogene Festbrennstoffe besonders vielversprechend, da sie im Unterschied zu anderen Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots als gespeicherte Sonnenenergie und nicht als (schwankender) Energiestrom vorliegen und damit nachfrageorientiert eingesetzt werden können.

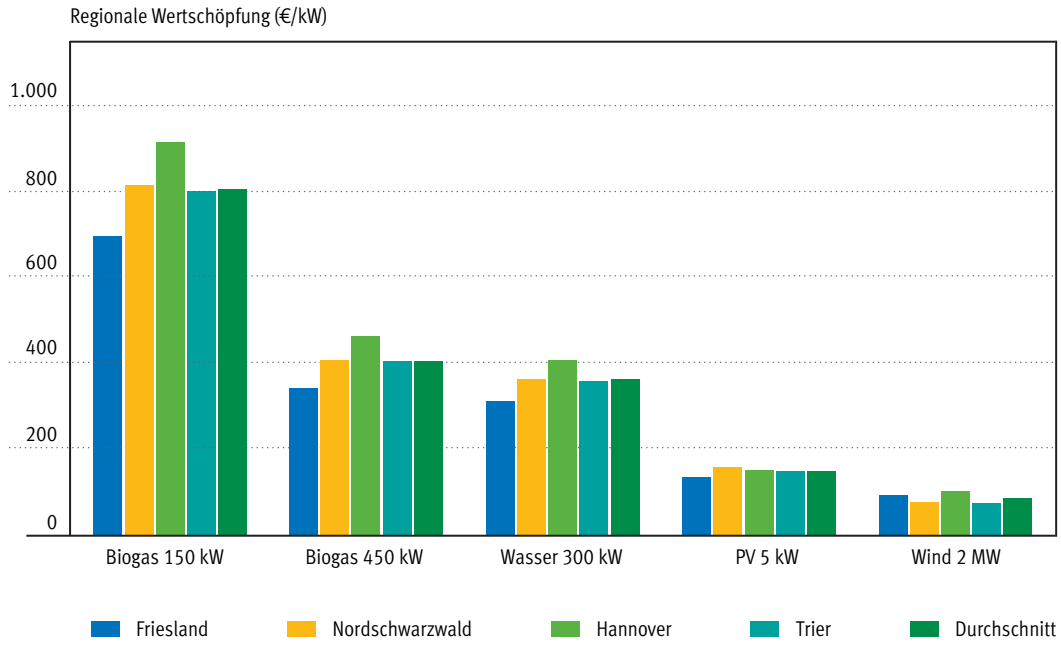
Die weltweite Nutzung von biogenen Festbrennstoffen in neu errichteten Konversionsanlagen wird in den nächsten Jahren aller Wahrscheinlichkeit nach weiter zunehmen. Der **Export** u. a. auch von Energietechnologien besitzt für Deutschland traditionell einen hohen Stellenwert. Die Entwicklung neuer Produktions- und Verwendungsalternativen für land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe in Deutschland kann auch außerhalb Deutschlands zu Problemlösungen beitragen und dadurch Impulse für den Export geben. Dies gilt besonders auch für die Entwicklung moderner Energieanlagen mit hohen Umweltschutzstandards, für die auf Grund der weltweit steigenden Umweltschutzanforderungen ein großer Markt besteht. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass andere Länder bei den Biomassenutzungstechnologien teilweise deutliche Entwicklungsvorteile gegenüber Deutschland besitzen. So liegt Österreich im Spitzenfeld der europäischen Länder hinsichtlich der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung für Bioenergietechnologien [Jauschnegg, 2011]. Außerdem besteht dort ein umfassendes Know-How bzgl. Holzfeuerungen. Für Holzfeuerungen trifft gleiches z. T. auf die Schweiz und hinsichtlich

Strohverbrennungsanlagen auf Dänemark zu. Bei der Forsterntetechnik sind insbesondere die skandinavischen Länder Marktführer. Durch eine forcierte Biomassenutzung in Deutschland kann eine entsprechende Industrie auch in Deutschland stärker als bisher aufgebaut und vorangetrieben werden. Diese kann dann auch entsprechende Exportmärkte erschließen.

Zu den wichtigsten ökonomischen Aspekten gehören die Gesamtinvestition und wirtschaftliche Impulse aus dem Betrieb, Beschäftigungseffekte sowie regionale Verteilungsaspekte bzw. **lokal- und regionalökonomische Effekte**. Im Jahr 2012 wurden insgesamt 2.550 Mio. Euro in die Neuerrichtung von Bioenergieanlagen investiert. Davon entfallen 59 % auf die Stromerzeugung und 41 % auf die Wärmeerzeugung, es liegt also ein gewisser Schwerpunkt auf der Stromerzeugung, was mit der Inanspruchnahme von EEG-Vergütungen zusammenhängen dürfte [BMU, 2013a]. Die Gesamtinvestitionen in Bioenergie entsprechen knapp 13 % der gesamten Investitionen in erneuerbare Energie. Mit 11.180 Mio. Euro liegen die Impulse aus dem Betrieb der Anlagen – also Betrieb, Wartung und Brennstoffe – um den Faktor vier höher und machen über 75 % der erneuerbaren Energien aus. Der Wirtschaftsfaktor Bioenergie schlägt sich auch in Form wachsender Beschäftigtenzahlen nieder: mit ca. 129.000 Beschäftigen entfallen rund ein Drittel aller Beschäftigungsverhältnisse im Bereich erneuerbare Energien auf die Bioenergie. Auch wenn in einzelnen Jahren ein leichter Rückgang zu verzeichnen war, ist über einen längeren Zeitraum insgesamt ein deutliches und robustes Wachstum zu beobachten, denn seit 2004 haben sich die Beschäftigen mehr als verdoppelt [BMU, 2013b]. Viele dieser Arbeitsplätze sind in ländlichen Gebieten, teils in strukturschwachen Regionen gelegen. Nimmt man überschlägig durchschnittlich 400 Beschäftigte je PJ Brennstoff an[3], ergibt sich bei Ausnutzung des in Deutschland maximal vorhandenen Potenzials an Festbrennstoffen insgesamt ein Beschäftigungspotenzial von 400.000 bis 500.000 Beschäftigte.

Angelehnt an die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung bilanziert eine Forschergruppe im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung die regionale Wertschöpfung für verschiedene erneuerbare Energietechnologien für die Beispielregionen Trier, Hannover, Friesland und Nordschwarzwald [BBSR, 2011]. Unter Wertschöpfung wird in der Volkswirtschaftslehre der Wertzuwachs an Produktionsmitteln, Waren oder Dienstleistungen, der von Personen, Unternehmen oder (wie in dem Fall der regionalen Wertschöpfung) von bzw. innerhalb eines Gebietes geschaffen wird. In Abbildung 4.3 sind beispielhafte Ergebnisse dieser Untersuchung aufgeführt, mit der große Unterschiede sowohl zwischen den Technologien/Energieträgern als auch zwischen den Regionen belegt werden. Die zwei betrachteten Biogasanlagen erzielen – wegen der Substratbereitstellung – die höchste Wertschöpfung im Durchschnitt der vier Regionen (804 €/KW bei der 150 kW-Anlage und 403 €/kW bei der 450 kW-Anlage). Die Unterschiede zwischen den Regionen werden „durch die standortspezifische Ertragslage und durch die unterschiedlichen regionalen Importquoten, die von der Größe und der Wirtschaftsstruktur der Regionen bestimmt werden“ hervorgerufen [BBSR, 2011].

SPEZIFISCHES WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIAL DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN IN VIER BEISPIELREGIONEN



Quelle: [BBSR, 2011]

© FNR 2013

Abb. 4.3: Spezifisches Wertschöpfungspotenzial durch Biogasanlagen und andere erneuerbare Energien in vier Beispielregionen [BBSR, 2011]

[3] *300 bis 500 Beschäftige je PJ Brennstoff bei [Haas, Kranzl, 2003], bzw. 200 bis 900 Beschäftige bei [Leible et al., 2003].*

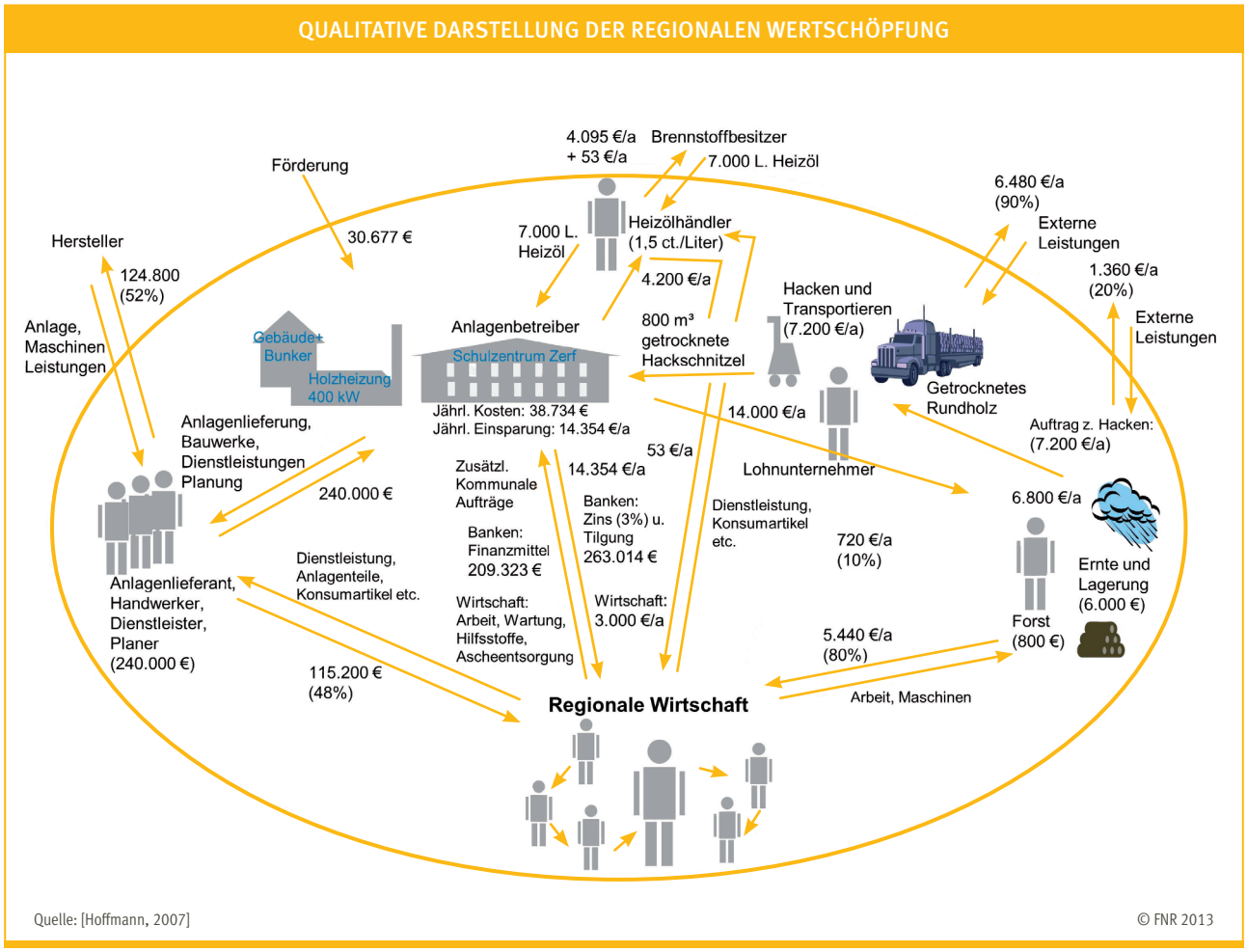


Abb. 4.4: Qualitative Darstellung der regionalen Wertschöpfung bei einer 400 kW_{th}-Holzheizung [Hoffmann, 2007]

Die Vielzahl, Höhe und Komplexität möglicher Finanzflüsse wird in Abbildung 4.4 am Beispiel einer Holzheizung in einer Schule (400 kW_{th}) illustriert [Hoffmann, 2007]. Bedingt wird der regionale Wertzuwachs, durch eine größere Anzahl an Arbeits- und Dienstleistungen lokaler und regionaler Firmen. Dies verursacht Einkommen und Steuereinnahmen (direkte Wertschöpfung), eine zusätzliche Vorleistungsnachfrage (indirekte Wertschöpfung) und induziert Multiplikatoreffekte. Im dargestellten Beispiel der Holzhackschnitzelheizung werden lokal bzw. regional insgesamt fünf Personenjahre mehr geschaffen als bei Nutzung einer Ölheizung. Der Multiplikatoreneffekt der direkten und indirekten regionalen Mittel für die Holzhackschnitzelheizung beläuft sich auf 1,26. Dies bedeutet in dem untersuchten Fall, dass zusätzlich 230.000 Euro für die Akteure in der Region umgesetzt werden. Als nichtmonetäre Wertschöpfung ist die Verbreitung von Informationen und der Austausch von Erfahrung anzumerken. Im untersuchten Fall sind 21 Akteure bei der Holzhackschnitzelheizung beteiligt, im Vergleich zu lediglich 7 Beteiligten bei der Ölheizung. Je nachdem, welcher Teil der Wertschöpfungskette innerhalb der Region liegt, welche hier mit 50 km Umkreis um den Standort definiert wurde, ändern sich diese Zahlen. Sind regionale Strukturen zur Biomassenutzung nur unzureichend entwickelt, ist der Aufbau einer regionalen Wertschöpfungskette mit erhöhtem Aufwand verbunden. Dadurch wird die Gründung neuer Unternehmen und die „Ergänzung von Dienstleistungen im bestehenden Angebot“ [Heck, Hoffmann, 2004] unterstützt.

4.1.3 Soziale Dimension der Nachhaltigkeit

Nachfolgend werden die Auswirkungen der verstärkten Biomassenutzung zur Energiebereitstellung auf die Entwicklung des ländlichen Raums, den Erhalt von Kulturlandschaft sowie auf Image und Akzeptanz der Bioenergie beleuchtet.

Obwohl Bioenergietechnologien weitestgehend ausgereift sind, werden einige Bioenergieprojekte bei der Realisierung mit Problemen konfrontiert und deshalb entweder gar nicht, in längeren Zeiträumen oder unter bzw. trotz gesellschaftlichen Kontroversen umgesetzt. In der Abbildung 4.5 ist eine Auswertung von 14 Studien zum **Image** bzw. zur Akzeptanz verschiedener erneuerbarer Energien dargestellt. Sie zeigt auf, dass erneuerbare Energien und insbesondere die Solarenergie über große Zustimmungswerte verfügen und eine stärkere Nutzung dieser Energien grundsätzlich befürwortet wird. Insbesondere zur Windkraft wurden besonders viele Untersuchungen durchgeführt. Neben den grundsätzlich hohen Zustimmungswerten sind die Spannweiten bei der Bio- (28 bis 93 %) und Windenergie (55 bis 98 %) besonders auffällig. Das heißt, dass es gerade auch zur Bioenergie sehr breit gestreute Meinungen zwischen Zustimmung und Ablehnung gibt.

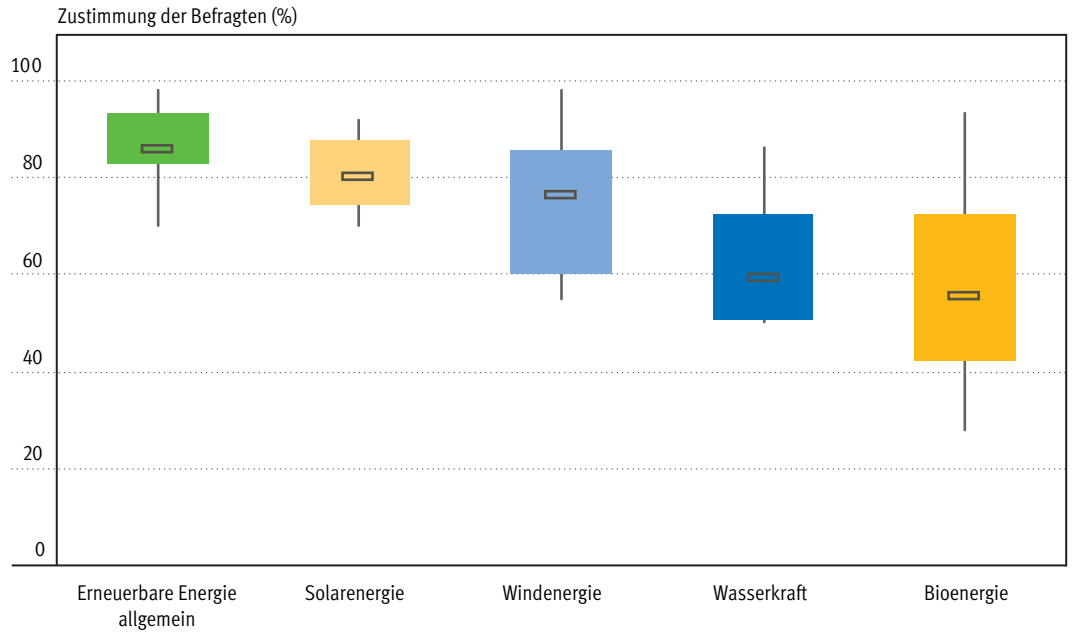
Im Vergleich der erneuerbaren Energien untereinander liegt das Image der Bioenergie tendenziell etwas schlechter. Ein Grund für diese Einschätzungen mag in der Vielfalt der Bioenergie bzw. in der Schwierigkeit, die verschiedenen Bioenergiepfade und ihre Auswirkungen voneinander zu trennen, liegen [Kanning et al., 2009]. Bei den dargestellten Imagewerten der Bioenergie ist zu berücksichtigen, dass von den herangezogenen 14 Studien nur fünf die Bioenergie direkt umfassen. Neben den Imagewerten gibt es auch Beispiele für Probleme bei der konkreten Umsetzung von Bioenergievorhaben [Jenssen 2010a]; [Upreti, 2004]. Insbesondere können seitens der betroffenen Bevölkerung folgende Auswirkungen zu Widerständen gegen ein geplantes Vorhaben zur energetischen Biomasse-Nutzung führen:

- erhöhte lokale Schadstoffemissionen,
- Geruchsemissionen,
- erhöhte Verkehrsbelastung,
- Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes (Standortumgebung).

Akzeptanz und Ablehnung (von Bioenergieprojekten) sind das Ergebnis eines individuellen Abwägungsprozesses zwischen Auswirkungen, Schaden und Nutzen, wobei sowohl objektive Fakten (Wissen, Informiertheit) als auch subjektive Wahrnehmungen und spezifische Lebensumstände (Nutzungsgewohnheiten und -standards, Image) in die Bewertung einfließen [Schreck, 1998]; [Renn, 1995]. Akzeptanz ist das Gesamtergebnis dieser Faktoren, diese verdichtet „sich zu einem sozialen Image der jeweiligen Technologie und der daran beteiligten Akteure“ [ZSW et al., 2006]. Für die Realisierungschancen eines Vorhabens ist es dabei zunächst unerheblich, ob diese Widerstände objektiv oder subjektiv gerechtfertigt sind, beide Beweggründe sind legitim. Durch ein proaktives und konsensorientiertes Herangehen vonseiten der Betreiber können diese Schwierigkeit angegangen werden (Informations- und Meinungsaustausch) und zur Steigerung von Akzeptanz und Realisierungschancen beitragen [Jenssen, 2010a].

Im Kontext der Globalisierung des Welthandels, steigender Qualitätsansprüche der Verbraucher, mögliche **Veränderungen des Landschaftsbildes** und der erfolgten Erweiterung der Europäischen Union (EU) ergeben sich neue Rahmenbedingungen und Herausforderungen für die deutsche Land- und Energiewirtschaft. Die zukünftigen Veränderungen werden sich dabei nicht allein auf die Agrarmärkte, sondern auch auf die lokale Wirtschaft der ländlichen Gebiete auswirken. Ziel der europäischen Agrarpolitik ist daher die Schaffung eines kohärenten und nachhaltigen Rahmens, der die Zukunft der ländlichen Gebiete gewährleistet und die Erhaltung und Schaffung von Arbeitsplätzen garantiert. Ein Grundprinzip dieser Politik ist u. a. die Multifunktionalität der Landwirtschaft, d. h. ihre über die Produktion von Lebensmitteln hinausgehende vielgestaltige Rolle. Verfolgt wird dabei ein branchenübergreifender und integrierter Ansatz der ländlichen Wirtschaft für die Diversifizierung der Aktivitäten, die Schaffung neuer Einkommens- und Beschäftigungsquellen und den Schutz des ländlichen Kulturerbes. Entwicklungsschwerpunkte sind die Verstärkung des Agrar- und Forstsektors, die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der ländlichen Gebiete sowie der Schutz der Umwelt und des ländlichen Kulturerbes [EU, 2003a]. Die Produktion und Aufbereitung von nachwachsenden Rohstoffen zur Energiegewinnung und die Bereitstellung und der Vertrieb von Biobrennstoffen wurden schon

IMAGE ERNEUERBARER ENERGIEN



Quelle: [Jenssen 2010a]

© FNR 2013

Abb. 4.5: Image erneuerbarer Energien [Jenssen, 2010a]

Abb. 4.6: Szenarien über die Auswirkungen der Bioenergie auf das Landschaftsbild [Visualisierung: Büro hochC Landschaftsarchitektur, BBR/BMVBS-Studie „Grünes Gold im Osten?!“, 2007]

früh als gute Möglichkeiten angesehen, um die genannten Ziele zu erreichen [RURAL, 2001]. Sie spielen auch in den Programmen zur ländlichen Entwicklung eine nicht unbedeutende Rolle. Dort wird eingeschätzt, dass aus einem diesbezüglichen Engagement zusätzliche Einkommensmöglichkeiten – allerdings noch in bescheidenem Umfang – resultieren und die Basis für eine künftig stärkere Profilierung der Landwirte als dezentrale Energieversorger geschaffen wird [Geißendörfer et al., 2000].

Die Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf die Kulturlandschaft müssen differenziert betrachtet werden. Vergleicht man Flächen zur Energiepflanzenproduktion mit intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen, kann der Anbau von Energiepflanzen als Verbesserung des Landschaftsbildes empfunden werden. Wenn ausschließlich Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle genutzt werden, entfallen Effekte auf das Landschaftsbild vollständig, da die Hauptnutzung (z. B. Getreideanbau zur Kornproduktion) und nicht die Nutzung der Rückstände (z. B. Stroh), Nebenprodukte und Abfälle ausschlaggebend für das Erscheinungsbild der Landschaft ist. Dies kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Energiepflanzenanbau dazu führen kann, dass das Landschaftsbild eintöniger wird, z. B. wenn es zu Maismonokulturen kommt. Insgesamt kann der Energiepflanzenanbau hinsichtlich des Erhalts der Kulturlandschaft als positiv angesehen werden, wenn dafür Sorge getragen wird, dass das Landschaftsbild abwechslungsreich gestaltet wird. Dies kann z. B. durch streifenförmige Kurzumtriebsplantagen mit verschiedenen Ernteintervallen oder einen begrenzten Anbau von unterschiedlichen perennierenden Gräsern gefördert werden, sodass letztendlich die Strukturvielfalt der Landschaft gefördert und Sichtbeziehungen erhalten bleiben [BBR, 2007]und Abbildung 4.6. Auf diese Weise kann der Energiepflanzenanbau der Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Produktion, den touristischen Möglichkeiten und der kulturellen Prägung der Landschaft dienen. Welche konkrete Ausprägung der Energiepflanzenanbau jedoch besitzt, hängt wesentlich von den standörtlichen Voraussetzungen ab.

Mit der deutschen **Landwirtschaft** sind in der Bevölkerung überwiegend neutrale Assoziationen verknüpft [IMA, 2007]. Positive Assoziationen sind insbesondere mit „ökologischer Landwirtschaft“, negative mit „Subventionen“, „Gentechnik“ „hohe Boden- und Umweltbelastung“ sowie neutrale mit „landwirtschaftliche Erzeugnisse“ und „wirtschaftliche Lage der Landwirtschaft“ verbunden. Auch schätzten rund 28 % der Befragten ein, dass Landwirte eher umweltbewusst wirtschaften. Weiterhin sagten 64 %, dass Landwirte eher mit dem technischen Fortschritt gehen [IMA, 2007]. Insgesamt ist davon auszugehen, dass durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Nutzung das Image der Landwirtschaft verbessert wird. Drei Viertel der Befragten stufen das Thema Energie aus der Landwirtschaft als für sie von besonderem Interesse ein. Die Produktion erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe werden von 78 % der Befragten als wichtige Aufgabe der Landwirtschaft gesehen [IMA, 2007]. Die Landwirte werden dann noch stärker als bisher mit einem Engagement im Umweltschutzbereich in Verbindung gebracht und sie profitieren zudem davon, dass Klimaschutz und die Nutzung regenerativer Energien in der Bevölkerung eine hohe Wertschätzung und Zustimmung erfahren [Allensbach, 2003].

Im Zuge des Ausbaus der Bioenergie in den letzten Jahren werden in Fachdiskussionen und im öffentlichen Bereich vermehrt Konkurrenzaspekte diskutiert. Konkurrenz lässt sich – dies geht aus der folgenden Darstellung hervor – nicht trennscharf den Kategorien ökologisch, ökonomisch oder sozial zuordnen. Im Sinne der in Kapitel 3.2.3 aufgeführten Indikatoren (speziell Konfliktpotenzial, Nutzungskonkurrenz und gesellschaftlicher Nutzen) werden sie im Kapitel „Soziales“ (Kapitel 3.1.3) erörtert. Viele Diskussionen beschränken sich auf negative Auswirkungen („Teller oder Tank“), dabei sollten aber auch die gegenläufigen Effekte nicht unbeachtet bleiben: „Allerdings sind potenzielle Nutzungskonkurrenzen nicht zwingend negativ zu bewerten […]. Drohende Nutzungskonkurrenzen bieten in vielen Fällen Anreize, die Ressourcen Biomasse und Fläche effizienter zu nutzen bzw. durch Biomassesubstitution die energetische Biomassenutzung zu optimieren“ [Thrän et al., 2011].

In der aktuellen, speziell deutschsprachigen Literatur finden sich verschiedene Studien, die sich mit der Frage der **Konkurrenz** bei der energetischen und stofflichen Nutzung von Biomasse befassen. Einige Studien fassen dabei in weiten Teilen bereits existierende Fakten zum Thema „Biomasse“ und „Konkurrenz“ zusammen [Knoll, Rupp, 2007], [nova-Institut, 2010] und heben Aspekte wie z. B. Wertschöpfung, Arbeitsplätze oder CO_2-Emissionen hervor. Andere Studien legen gezielt den Schwerpunkt auf ausgewählte Fragestellungen wie beispielsweise die Auswirkungen eines verstärkten Energiepflanzenanbaus auf die landwirtschaftlichen Strukturen in einer bestimmten Region [Bahrs, Held, 2007]. Klare Definitionen der Sichtweise und des Begriffes „Konkurrenz“ wurden den Studien von [WI, RWI, 2008] sowie [DBFZ, 2011] zugrunde gelegt. [WI, RWI, 2008] unterscheiden explizit zwischen direkter und indirekter Konkurrenz. Direkte Konkurrenz tritt auf, wenn ein Rohstoff bzw. Grundstoff für mehr als einen Nutzungspfad einsetzbar ist. Unter indirekter Konkurrenz wird die Flächenkonkurrenz verstanden. Dabei wird

darauf hingewiesen, dass grundsätzlich Flächen im Inland und Ausland zum Anbau von Rohstoffen zur Verfügung stehen, d. h. eine globale Sichtweise bei der Diskussion um Konkurrenz erforderlich ist. [DBFZ, 2011] benennt Konkurrenzfelder und zählt hierzu ebenfalls die Flächenkonkurrenz und die Konkurrenz um den Rohstoff. Als weiteres Konkurrenzfeld kommt hier die Ebene der Bioenergieträger hinzu.

Das Thema der „Konkurrenz" wird in unterschiedlicher Detaillierung und mit unterschiedlichen inhaltlichen und räumlichen Schwerpunktsetzungen erörtert. Die Sichtweise und Definition von „Konkurrenz" ist letztlich sehr vielschichtig. Konkurrenz existiert in verschiedenen Bereichen bzw. Ebenen eines Systems der Bereitstellung und stofflichen sowie energetischen Nutzung von Biomasse.

Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung wird aus dem Anbau auf landwirtschaftlichen Flächen sowie auf Waldflächen bereit gestellt. Prinzipiell stehen auch Nebenprodukte, Rest- und Abfallstoffe für die stoffliche und energetische Nutzung zur Verfügung. Anbauflächen und Waldflächen stellen damit die Basis des Systems der Bereitstellung und Nutzung von Biomasse für stoffliche und energetische Zwecke dar (siehe Abb. 4.7). Hieraus resultieren Biomasse-Rohstoffe wie z. B. Mais und Getreide aus der Landwirtschaft oder verschiedene Holzsortimente aus der Waldbewirtschaftung. Diese können für unterschiedliche stoffliche und energetische Nutzungspfade Verwendung finden. Dabei kann ein Rohstoff auch in mehreren Nutzungspfaden eingesetzt werden (z. B. Getreide zur Mehl-, Bier- und Ethanolerzeugung). Die Biomasse-Rohstoffe sind damit Bestandteil unterschiedlicher Produkte, welche wiederum in ihren jeweiligen Märkten bestehen müssen. So steht z. B. die Ethanolerzeugung aus Getreide im Wettbewerb zur Kraftstoffherstellung aus fossilen Energieträgern. Insgesamt können drei zentrale Konkurrenzfelder identifiziert werden:

- **Flächenkonkurrenz:** Eine erhöhte Nachfrage nach Biomasse-Rohstoffen wirkt sich mittelbar auf eine erhöhte Nachfrage nach entsprechenden Anbauflächen und Waldflächen aus, um die Rohstoffe bereitzustellen. Eine Konkurrenz um die Fläche, d. h. um den Boden als begrenzenden Faktor, ist die Folge. Wird Biomasse, z. B. Holz, für verschiedene Zwecke stofflich und energetisch genutzt und steigt die Nachfrage nach Holz, so kann diese Nachfrage prinzipiell nur so lange ohne große Probleme gedeckt werden, wie entsprechende Waldflächen und damit Holz für die entsprechenden Nutzungszwecke (zunächst im Inland) zur Verfügung stehen. Übersteigt die Nachfrage letztlich das verfügbare Flächenpotenzial bzw. nähern sich Nachfrage und Potenzial an, so stellt die verfügbare Fläche den begrenzenden Faktor dar und es kommt zur Konkurrenz um die verfügbaren Waldflächen. Die gleiche Kausalität ergibt sich auch für Energiepflanzen und die für ihren Anbau erforderlichen Ackerflächen.

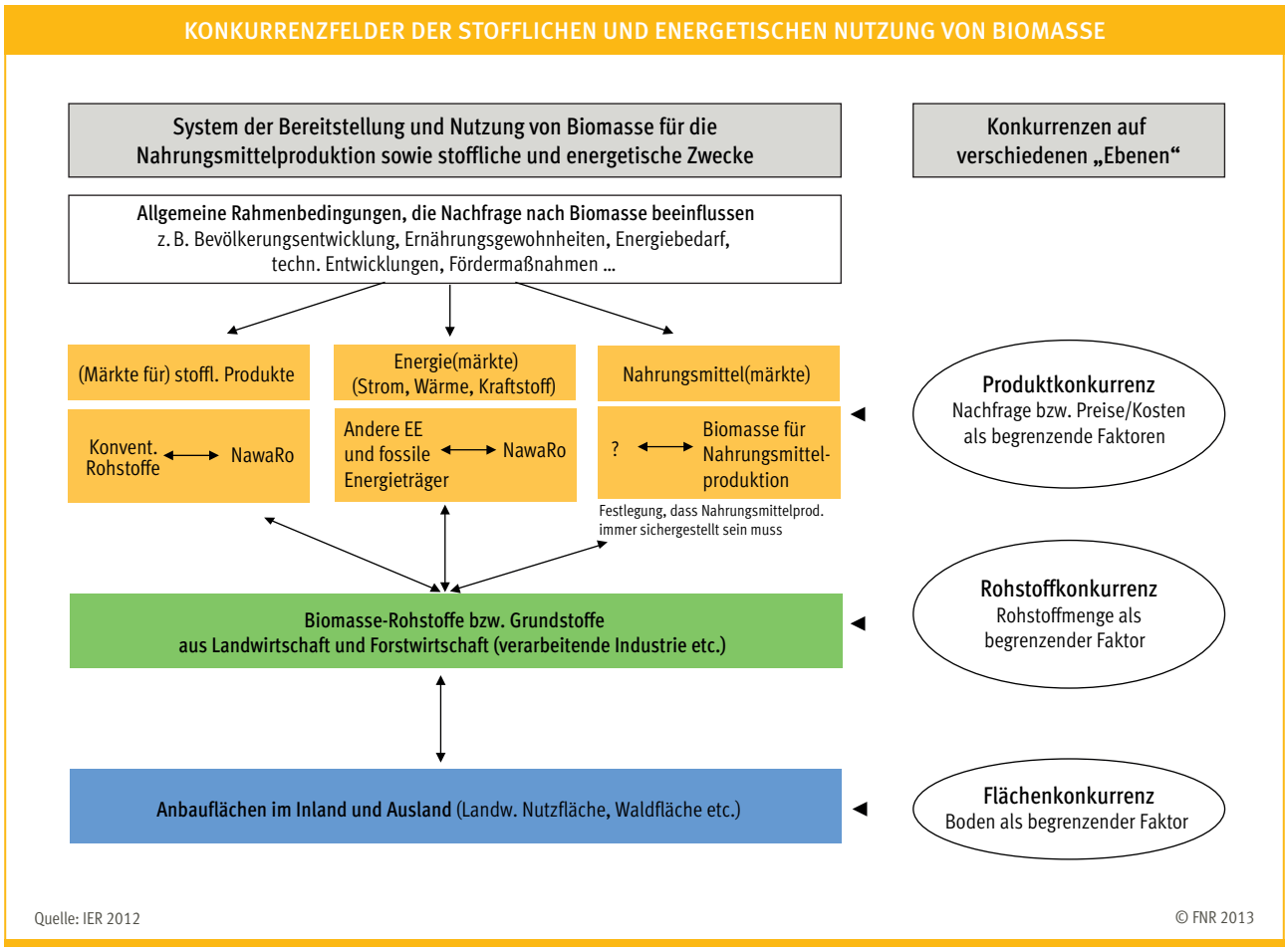


Abb. 4.7: Konkurrenzfelder der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse

- **Rohstoffkonkurrenz:** Eine zentrale Rolle in den vielfältigen Diskussionen um die Konkurrenzen bei der stofflichen und energetischen Biomassenutzung nimmt die Konkurrenz um den Biomasserohstoff selbst ein. Wenn der Biomasse-Rohstoff wie z. B. Holz für verschiedene Zwecke genutzt wird, z. B. Papierherstellung, Wärme- und Strombereitstellung, und eine erhöhte Nachfrage vorliegt, so kann der Rohstoff den begrenzenden Faktor innerhalb der Bereitstellungsketten darstellen. Erhöhte Preise für den Rohstoff können dann die Folge sein mit entsprechenden Auswirkungen auf die Bereitstellungskosten der verschiedenen Nutzungspfade.
- **Produktkonkurrenz:** Die stoffliche und energetische Nutzung der Biomasse unterliegt innerhalb der verschiedenen Märkte auch Konkurrenzen mit vergleichbaren Produkten anderer Rohstoffbasis. Der Begriff „Produktkonkurrenz" bezeichnet damit die Konkurrenz zwischen vergleichbaren Produkten, die eine unterschiedliche Rohstoffbasis haben. Gerade im Energiesektor stellt dies ein wesentliches Konkurrenzfeld dar, in welchem die energetische Nutzung von Biomasse bestehen muss. So kann z. B. Wärme für ein Wohnhaus durch Holz, Heizöl, Erdgas, aber auch die Sonneneinstrahlung und Erdwärme bereit gestellt werden. Diese verschiedenen Optionen der Wärmebereitstellung auf unterschiedlicher „Rohstoffbasis" konkurrieren um die Akzeptanz bzw. Nutzung durch den Verbraucher. Ein wesentliches Kriterium hierbei ist (neben z. B. ökologischen Aspekten wie der Höhe der CO_2-Emissionen) die Höhe der Wärmebereitstellungskosten, da angenommen wird, dass für den Verbraucher die Höhe der Kosten ein wesentliches Entscheidungskriterium für die Wahl der Wärmeversorgungsoption darstellt. Die aktuelle Situation zeigt aber auch, dass die tatsächliche Höhe der Wärmebereitstellungskosten durch verschiedene Maßnahmen wie z. B. Gesetze oder Förderungen gesteuert wird.

4.2 Nachhaltigkeit einordnen: Prinzipien, Indikatorensätze und Verfahren

Es existiert eine Vielzahl von Ansätzen, die sich mit sehr unterschiedlichem Fokus dem Nachhaltigkeitsbegriff annähern und für den Bereich der Bioenergie implementiert werden [Oezdemir et al., 2011]. Die Gemeinsamkeit dieser Ansätze besteht darin, dass auf Indikatoren, das heißt auf beobachtbare und messbare Sachverhalte, zurückgegriffen wird, mit denen dann die Nachhaltigkeit beziehungsweise die Nachhaltigkeit einer Entwicklung bemessen wird.

In der Regel werden Indikatorensätze genutzt und deren Werte auf einem dissagregierten Niveau belassen [Diefenbacher et al., 2003]; [Bernardes et al., 2002]; [IAEA, 2002]. Dies gibt dem Anwender einen ursprünglichen und umfangreichen Überblick über die Vor- und Nachteile einer Technologie. In einem gewissen Maße führen solche Darstellungen aber auch zu unbefriedigenden Ergebnissen, denn es wird keine Unterstützung angeboten, wie „Äpfel und Birnen" miteinander zu vergleichen sind bzw. wie mit Zielkonflikten zwischen verschiedenen Indikatoren umgegangen werden kann. Als Antwort auf die Schwächen disaggregierter Indikatorenkonzepte wurden verschiedene „integrierte" Ansätze entwickelt, um Politik, Unternehmen und Konsumenten in ihren Entscheidungen zu unterstützen. Integrative Ansätze zielen darauf ab, komplexe Sachverhalte (inklusive Zielkonflikte) zu vereinfachen und dadurch eine bessere Beurteilung der Ergebnisse zu ermöglichen. Implizit oder explizit liegen ihnen aber bereits eine Interpretation und Bewertung zu Grunde, die mit Informationsverlusten und methodischen Problemen behaftet sind. Im Folgenden wird ein Überblick über Verfahren zur Bewertung von Bioenergietechnologien gegeben und 4 Anwendungsbeispiele (Nachhaltigkeitsverordnungen, Indikatoren der Global Bioenergy Partnership, Multikriterielle Entscheidungsanalysen, Leitplanken) exemplarisch vorgestellt.

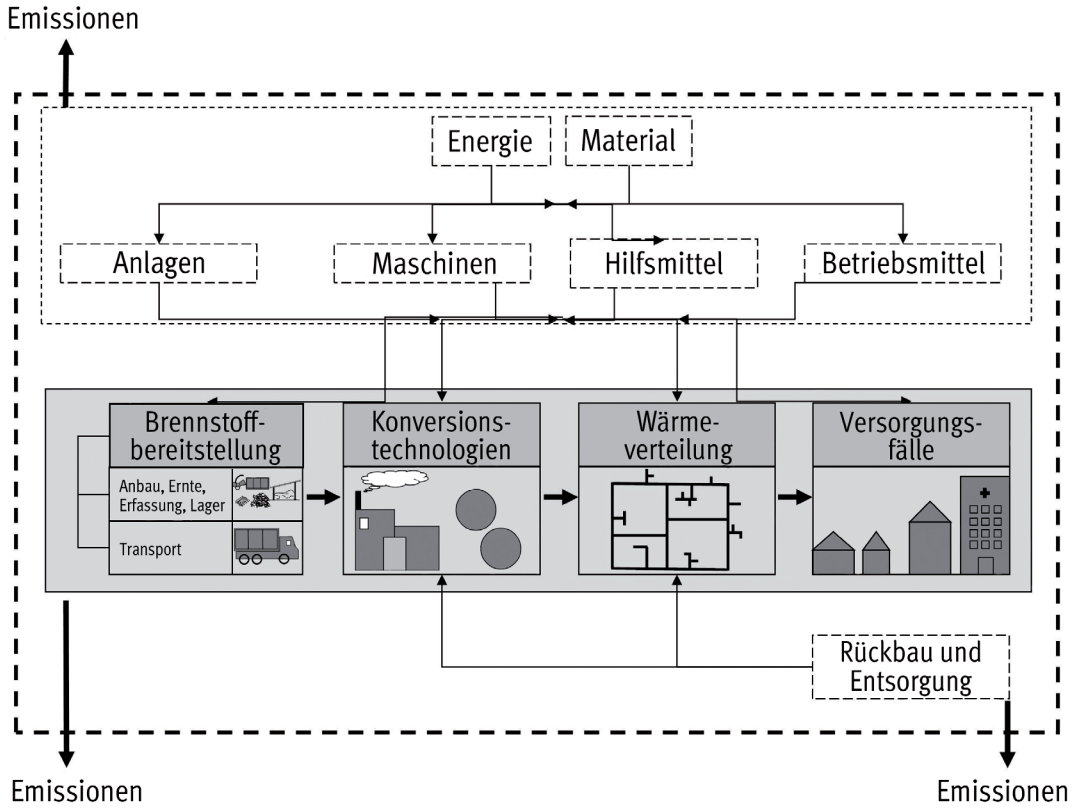
Um sowohl direkte als auch indirekte Emissionen der Bioenergie zu bilanzieren, stellen **Prozesskettenanalysen** ein gängiges und weit verbreitetes Verfahren dar. Dabei wird die Bereitstellung eines Produktes zunächst in ihre einzelnen Prozesse beziehungsweise Teilsysteme untergliedert. Es werden alle relevanten Stoff- und Energieströme vom Hauptprozess sowie den vor- und nachgelagerten Teilprozessen erfasst und schließlich zu einem Wert für den Gesamtprozess aufsummiert [König, 2009]. Bei dieser Bilanzierung wird der gesamte Lebensweg untersucht (Lebenszyklusanalyse, engl. Life Cycle Assessment, LCA). Ausgehend vom Anbau der Bioenergieträger bis zur Verteilung der Energie an den Nutzer fließen alle Aufwendungen in die Bewertung ein. Diesem Prinzip folgend werden die genutzten Maschinen und Anlagen, deren Bau, Betrieb und Rückbau sowie alle notwendigen Betriebs- und Hilfsmittel (etwa Energie, Kraftstoff und Düngemittel) bilanziert. Die Durchführung von Prozesskettenanalysen wird üblicherweise entsprechend der Vorgaben der Ökobilanz-Norm [ISO DIN 14040/44] durchgeführt. Die Abbildung 4.8 gibt einen Überblick auf Prinzip und Systemgrenzen von Lebenszyklusbetrachtungen.

Die ganzheitliche Bilanzierung wird mittlerweile auch auf die Effekte indirekter Landnutzungsänderungen (englisch: Indirect Land Use Change, iLUC) ausgeweitet, wenn z. B. der Anbau von Energiepflanzen die vorherigen Anbauprodukte auf anderen Standorten (in anderen Regionen, Ländern oder Kontinenten) und dort zu einer Verdräng von anderen Nutzungen führt. Dieses Herangehen ist freilich mit einer Vielzahl methodischer Schwierigkeiten behaftet [Fritsche et al., 2010]; [Lahl, 2010].

Im Fall der Kraft-Wärme-Kopplung ist die Besonderheit zu beachten, dass die ökonomischen und ökologischen Aufwendungen und Einnahmen zwischen den Koppelprodukten Wärme und Strom aufgeteilt werden müssen. Hierzu stehen verschiedene Allokationsverfahren zur Verfügung, auf die in dieser Stelle nicht näher eingegangen wird. Information hierzu finden sich beispielsweise in [BMU, 2011a].

Im Bereich der ökonomischen Auswirkungen gibt es standardisierte Verfahren, um die Wirtschaftlichkeit von Bioenergievorhaben zu beurteilen. Allerdings wird der Begriff „Wirtschaftlichkeit" häufig sehr unterschiedlich verwendet. So wird beispielsweise der Punkt, bei der eine Investition gerade keine Verluste verursacht (Ertrag ≥ Aufwendungen), als „Wirtschaftlichkeit" bezeichnet. Dagegen betrachten Investoren ein mögliches Vorhaben häufig erst dann als wirtschaftlich, wenn damit höhere Renditen als über eine marktübliche Verzinsung verbunden sind. Für eine Investitionsentscheidung ist daher letztendlich die subjektive Definition der Wirtschaftlichkeit eines Inves-

SYSTEMGRENZEN BEI DER DURCHFÜHRUNG VON LEBENSZYKLUSANALYSEN



Quelle: IER 2012

© FNR 2013

Abb. 4.8: Systemgrenzen bei der Durchführung von Lebenszyklusanalysen

tors ausschlaggebend, welche Kalkulationsergebnisse dieser also für seine individuelle Situation noch als rentabel einstuft. Die Beurteilung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Investitionsprojekten erfolgt üblicherweise mit einer der vier (dynamischen) Investitionsrechnungsmethoden:

- Kapitalwertmethode,
- Annuitätenmethode,
- interne und modifiziert-interne Zinsfußmethode sowie die
- Amortisationsmethode.

Bei den drei erstgenannten Methoden besteht die Zielsetzung in der Ermittlung der Verzinsung des eingesetzten Kapitals, wobei diese Methoden – mit Ausnahme der internen Zinsfußmethode – bei gleichen Verzinsungsannahmen zu der gleichen Entscheidung führen. Die Amortisationsmethode verfolgt dagegen eine andere Zielsetzung und kann daher zu anderen Ergebnissen führen. Hier wird der Zeitpunkt ermittelt, zu dem die Auszahlungen einschließlich des Investitionsbetrages gerade durch die Einzahlungen gedeckt werden. Je früher der

TAB. 4.1: ÜBERSICHT ÜBER DYNAMISCHE VERFAHREN DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN

Fragestellung	Methode	Ziel	Interpretation der Ergebnisse
Welchen Wert hat die Anlage zu einem bestimmten Bezugszeitpunkt (z. B. bei der Inbetriebnahme)	Kapitalwertmethode	Ermittlung des Überschusses	je höher, desto vorteilhafter
Welche Zahlungen fallen durchschnittlich an?	Annuitätenmethode	Ermittlung der jährlichen Zahlungen	je geringer, desto vorteilhafter
Welche Verzinsung ist zu erwarten?	Zinsfußmethode	Ermittlung der Kapitalverzinsung	je höher, desto vorteilhafter
Zu welchem Zeitpunkt werden die Auszahlungen (inkl. Investitionen) durch Einnahmen gedeckt?	Amortisationsmethode	Risikoabschätzung	je früher, desto vorteilhafter

Quelle: [IER, 2012]

Deckungszeitpunkt (Amortisationsdauer) erreicht wird, um so vorteilhafter ist ein Investitionsobjekt. Die Amortisationsmethode dient damit der Risikoabschätzung des Kapitaleinsatzes sowie der Beurteilung der künftigen Liquidität des Investors. Sie wird im Regelfall nur in Kombination mit den drei erstgenannten Verfahren verwendet. Die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode werden am häufigsten verwendet. Eine detaillierte Beschreibung aller vier Verfahren ist z. B. der VDI Richtlinie 6025 „Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen“ [VDI 6025, 1996]) zu entnehmen.

4.2.1 Die Nachhaltigkeitsverordnungen für flüssige Biomasse

Zur Umsetzung von europäischen Rahmenrichtlinien in deutsches Recht und unter dem Dach der Nachhaltigkeitsstrategie hat die Bundesregierung die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung verabschiedet, mit denen eine nachhaltige Bereitstellung von Bioenergie gewährleistet werden soll. Die Nachhaltigkeitsverordnungen haben somit einen rechtsverbindlichen Charakter. In den Verordnungen wird im Einzelnen festgelegt, wie Biomasse eingesetzt, hergestellt und verwendet werden darf. Adressiert werden sämtliche Betriebe, die an der Verarbeitungs- und Lieferkette von flüssiger Biomasse beteiligt sind.

Dabei soll die Bioenergie nach dem Willen des Gesetzgebers dem Umwelt-, Klima- und Naturschutz dienen, dies erfolgt insbesondere durch Definition von Zielwerten für Treibhausgasemissionen, bei denen der gesamte Lebenszyklus maßgeblich ist. Für die Stromerzeugung bildet die Verordnung die Grundlage für die Gewährung der Einspeisetarife nach dem Erneuerbarem Energien Gesetz [EEG].

Der Anwendungsbereich der Nachhaltigkeitsverordnungen im Bereich der Bioenergie (Biokraft-NachV und BioSt-NachV) beschränkt sich wegen der hier besonderes befürchteten Landnutzungskonflikte auf flüssige Brennstoffe zur Kraftstoff- und Strombereitstellung. Flüssige Biomasse wird dabei als flüssig zum Zeitpunkt des Eintrittes in den Feuerungsraum definiert. Insbesondere sind die Verordnungen auf „flüssige Importbiomasse“ gerichtet, wie Palm-, Soja- und Rapsöl sowie Biokraftstoffe und Biodiesel, die über eine lange Transportdistanz herbeigeschafft und deren Auswirkungen kontrovers diskutiert wurden [BLE, 2013].

In den Verordnungen wird im Einzelnen und rechtlich verbindlich festgelegt, wie flüssige Biomasse eingesetzt, hergestellt und verwendet werden darf. Die Bioenergie ist nur dann verordnungskonform, wenn sie bestimmte Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllt. Tabelle 4.2 gibt eine Übersicht über Ziele und Spezifikationen. Drei den Verordnungen zugrunde liegende Prinzipien sind elementar:

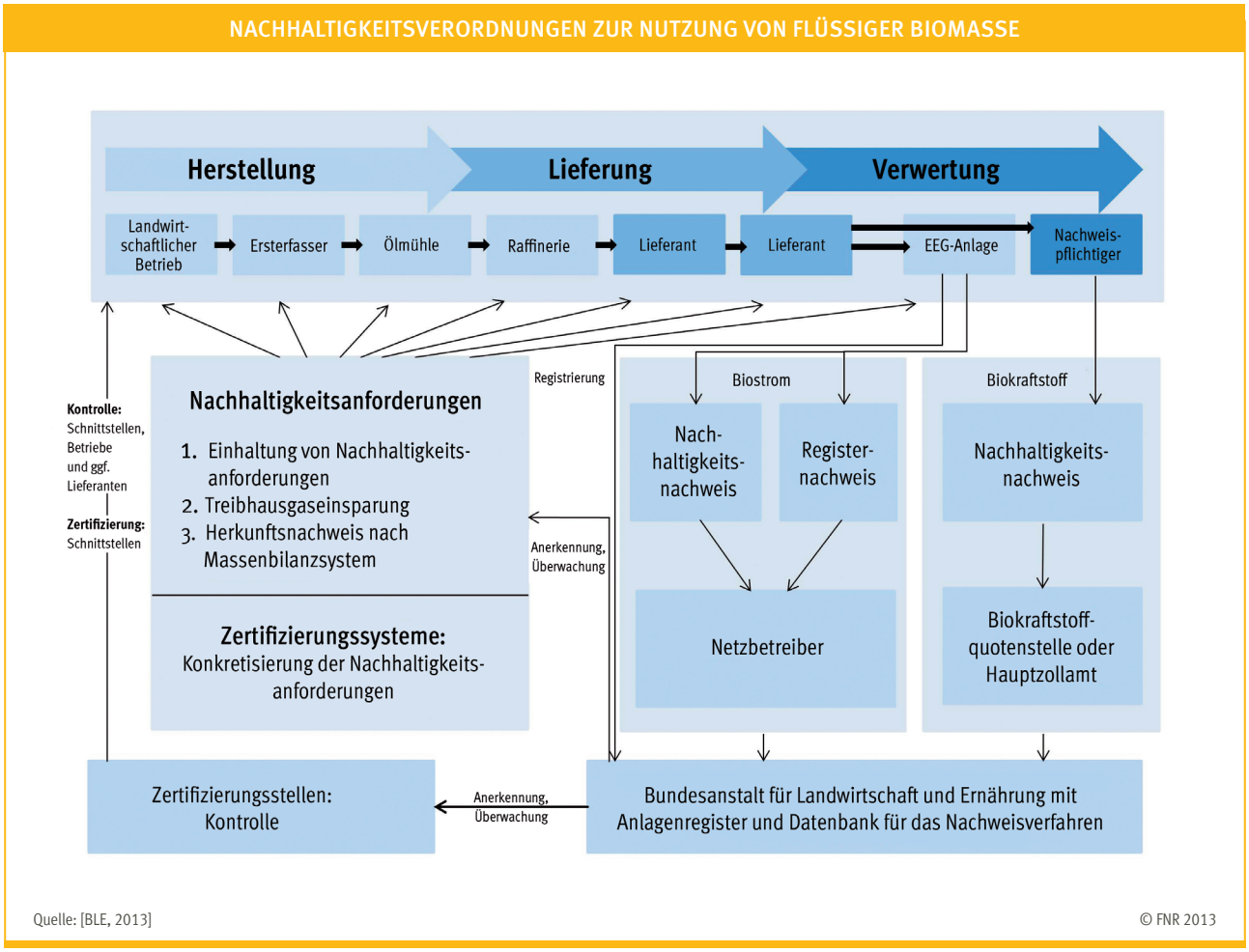


Abb. 4.9: Nachhaltigkeitsverordnungen zur flüssigen Biomassennutzung

- die Festlegung der drei Oberziele; Schutz natürlicher Lebensräume, nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Treibhausgasminderung,
- die Orientierung am gesamten Lebenszyklus (vom Anbau bis zur Aufbereitung) und
- die Durchsetzung der Nachhaltigkeitsanforderungen durch Zertifizierungssysteme.

Die Einhaltung der Nachhaltigkeitsverordnungen wird durch Zertifizierungen sichergestellt, die in den §§ 11 bis 55 geregelt sind. Mit Zertifikaten – die nur von anerkannten Zertifizierungsstellen ausgestellt werden dürfen, wird die Konformität mit den gesetzlichen Regelungen bestätigt. Die von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) bekannt gemachte Liste der erteilten Anerkennungen für Zertifizierungssysteme und Zertifizierungsstellen weist im Juli 2013 15 (teils mit Beschränkungen und Befristungen) anerkannte Zertifizierungssysteme und 25 anerkannte Zertifizierungsstellen aus [BLE, 2013].

Zusätzlich wurden vom „Roundtable on Sustainable Biofuels“ und „Roundtable on Sustainable Palm Oil“ freiwillige und über gesetzlichen Regelungen hinausgehende Standards entwickelt, die mittlerweile in eigene Zertifizierungssysteme überführt wurden [website RSB]; [website RSPO].

Auch außerhalb der flüssigen Biomasse kommen vermehrt Zertifikatslösungen zum Einsatz, freilich auf freiwilliger nicht auf rechtlich-verbindlicher Basis. Zertifikatslösung für Wälder richten sich dabei bisher schwerpunktmäßig auf die stoffliche Nutzung [website FSC]; [website PEFC].

TAB. 4.2: ÜBERSICHT NACHHALTIGKEITSVERORDNUNGEN

Nachhaltigkeitsoberziel	Rechtliche Verankerung	Ziel	Spezifikation
Schutz natürlicher Lebensräume	§§ 4 bis 6 Biokraft-NachV und BioSt-NachV	Kein Anbau von Biomasse auf Flächen mit hohem Wert für die biologische Vielfalt	Primärwälder, sonstige naturbelassene Flächen; Naturschutzflächen, natürliches Grünland, Feuchtgebiete, kontinuierlich bewaldete Gebiete, Torfmoor
Nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung	§ 7 Biokraft-NachV und BioSt-NachV	„Cross-Compliance“-Regelungen (guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand)	bei Biomasseerzeugung außerhalb der EU muss vergleichbarer Standard eingehalten werden
Treibhausgasminderung	§ 8 Biokraft-NachV und BioSt-NachV	35 % 50 % ab 2017 60 % ab 2017 für Neuinstallationen	Vergleichswert Fossilbrennstoffe (Otto- oder Dieselkraftstoff, Strom) Lebenszyklusbetrachtung (siehe Anlage 1 und 2 zur Verordnung)
			Die Kohlendioxid-Bindung beim Anbau der Biomasse wird nicht berücksichtigt Bilanzen können auf Grundlage der tatsächlichen Messwerte oder der in Anlage 2 der Verordnung aufgeführten Standardwerte vorgenommen werden Keine indirekten Landnutzungsänderungen Energetische Allokation

TAB. 4.3: ÜBERSICHT ÜBER DIE NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN DER GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP (GBEP)

Ökonomie	Ökologie	Sozial
Produktivität	Treibhausgasemissionen (LCA)	Belegung und Belegungsdauer von neuen Anbauflächen für Bioenergie
Netto-Energiebilanz	Bodenqualität	Nahrungsmittelpreise und -verfügbarkeit
Bruttowertschöpfung	Holz-Erntemenge	Einkommensänderungen
Veränderung bei der Nutzung fossiler und traditioneller Brennstoffe	Schadstoffemissionen	Arbeitsplätze im Bioenergiesektor
Weiterbildung von Arbeitskräften	Wassernutzung und -effizienz	Veränderung unbezahlter Arbeitszeit von Frauen und Kindern bei der Sammlung von Brennstoffen
Diversifizierung der Energieversorgung	Wasserqualität	Auswirkung auf den Zugang zu modernen Energieformen
Infrastruktur und Logistik für die Verteilung der Bioenergie	Biodiversität	Veränderung von Sterblichkeit und Belastungen durch Abgase im Innenraum
Kapazität und Flexibilität der Bioenergie	Landnutzung und Landnutzungsänderung in Bezug zur Bioenergienutzung	Anzahl von Arbeitsunfällen (Verletzungen, Krankheiten, Sterbefälle)

Quelle: [GBEP, 2011]

4.2.2 Die Nachhaltigkeitsindikatoren der Global Bioenergy Partnership (GBEP)

Neben den verbindlichen Anforderungen der Nachhaltigkeitsverordnungen wurden von verschiedenen Einrichtungen umfassende Nachhaltigkeitsanforderungen definiert. Diese gehen in ihrem Verständnis weit über die drei gesetzlich definierten Anforderungen (Schutz natürlicher Lebensräume, Nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung, Treibhausgasminderung) hinaus und kommen dem umfassenden gesellschaftlichen Leitbild der Nachhaltigkeit dadurch näher.

Trotz einiger Anstrengungen gibt es allerdings neben den Nachhaltigkeitsverordnungen keine (rechtliche) Legaldefinition solche Kriterien. Eine fundierte Erarbeitung von 24 Nachhaltigkeitsindikatoren wurde in einem dreijährigen Prozess unter Leitung des Öko-Institutes von einer internationalen Arbeitsgruppe der Global Bioenergy Partnership (GBEP) als zwischenstaatlicher Konsens zwischen Industrie- und Entwicklungs- sowie Schwellenländern erstellt, eine Auflistung dieser Indikatoren kann Tabelle 4.3 entnommen werden. Sie richten sich an nationale Regierungen und können zur Überprüfung von Politiken, Programmen und Projekten herangezogen werden. In den nächsten Jahren wird die GBEP nun das sogenannte „Capacity Building“ unterstützen, um die Anwendung bzw. Implementierung der Indikatoren auf nationaler Ebene weltweit zu fördern. Ein entsprechendes Arbeitsprogramm der GBEP wurde beschlossen.

4.2.3 Multikriterielle Analyse (MCDA) und Bewertung von Wärmetechnologien

Anhand der 24 GBEP-Indikatoren (siehe Kapitel 3.2.2) wird noch einmal deutlich, dass in den Diskussionen zur Bioenergie sehr vielfältige und zum Teil unterschiedliche Argumente und Indikatoren angeführt werden. Oftmals liegen bei einzelnen Technologien Zielkonflikte vor: so ist es etwa denkbar, dass geringere Treibhausgasemissionen höheren Feinstaubemissionen gegenüberstehen.

Die multikriterielle Entscheidungsanalyse (englisch: multi criteria decision analysis, MCDA) stellt ein Instrument dar, mit der eine integrierte Nachhaltigkeitsbewertung von Bioenergietechnologien vorgenommen werden kann. Ihr Vorgehen umfasst [Bauer et al., 2009]; [Kowalski et al., 2009]; [Weiss, 2005]

- die Auswahl von Indikatoren,
- die Erhebung von Indikatorwerten, die Normalisierung[4] aller Werte auf eine Ordinalskala, und
- die anschließende Aggregation dieser Einzelwerte zu einer Nachhaltigkeitsziffer.

Zielsetzung des Verfahrens ist es, Akteuren ganzheitliche, integrierte Entscheidungsgrundlagen zu liefern und einen direkten Vergleich zu ermöglichen [Bohunovsky et al., 2007]. Dieser Vorteil geht jedoch mit einem Informationsverlust und methodischen Schwächen hinsichtlich der Gewichtung der Indikatoren („naive“ Behandlung von Zielkonflikten) einher. Insofern stellt die MCDA ein etabliertes Annäherungsverfahren dar, ist jedoch trotzdem umstritten. Beispielhaft werden an dieser Stelle Indikatoren (siehe Tabelle 3.4) und Ergebnisse (siehe Abb. 4.10) für verschiedenen Wärmetechnologien (mit und ohne Biomasse) dargestellt, die mit Unterstützung einer zwölfköpfigen interdisziplinären Expertengruppe aus Deutschland erarbeitet wurden [Zech et al., 2012]; [Zech et al., 2010]; [Jenssen, 2010b].

Der Schwerpunkt der in Tabelle 4.4 abgetragenen ökologischen Indikatoren liegt auf der Analyse von Emissionen, die durch den Technologieeinsatz verursacht werden, aber auch die eingesetzten Materialien und deren Recyclingfähigkeit sowie die Reichweite des Energieträgers fließen mit ein. Bei Ermittlung

TAB. 4.4: ÜBERSICHT MCDA-INDIKATOREN FÜR WÄRMETECHNOLOGIEN

Ökologische Dimension		Ökonomische Dimension		Soziale Dimension	
lfd. Nr.	Indikator	lfd. Nr.	Indikator	lfd. Nr.	Indikator
1	Treibhauspotenzial (CO_2-Äquivalente)	8	kapitalgebundene Kosten	12	Anteil der Wärmenergiekosten am Haushaltseinkommen
2	Versauerungspotenzial (SO_2-Äquivalente)	9	laufende Kosten	13	Konfliktpotenzial
3	Ozonbildungspotenzial (TOPP-Äquivalente)	10	Versorgungssicherheit (allgemein)	14	Nutzungskonkurrenz
4	Feinstaub (direkt)	11	Entwicklung und Volatilität der Brennstoffpreise	15	lokale Belastung der Anwohner in direkter Umgebung einer Wärmetechnologie
5	kumulierter Stoff-Aufwand			16	Unfall-/Gesundheitsrisiken
6	Recyclingfähigkeit der Anlage			17	gesellschaftlicher Nutzen
7	Reichweite des Energieträgers				

Quelle: nach [Zech et al., 2012]

[4] *Im folgenden Beispiel werden die Indikatoren, die in sehr unterschiedlichen Einheiten vorliegen, auf eine einheitliche Skala normalisiert. Als Skala wird dabei der Bereich von 1 (Optimum) bis –1 (Pessimum) oder von 100 % bis 0 % gewählt. Neben diesen Grenzwerten kann es für einige Indikatoren sinnvoll sein, Anforderungswerte zu definieren, der auf der normalisierten Skala dem Wert null entsprechen, beispielsweise entsprechend der Treibhausgasreduktionszielen der Bundesregierung.*

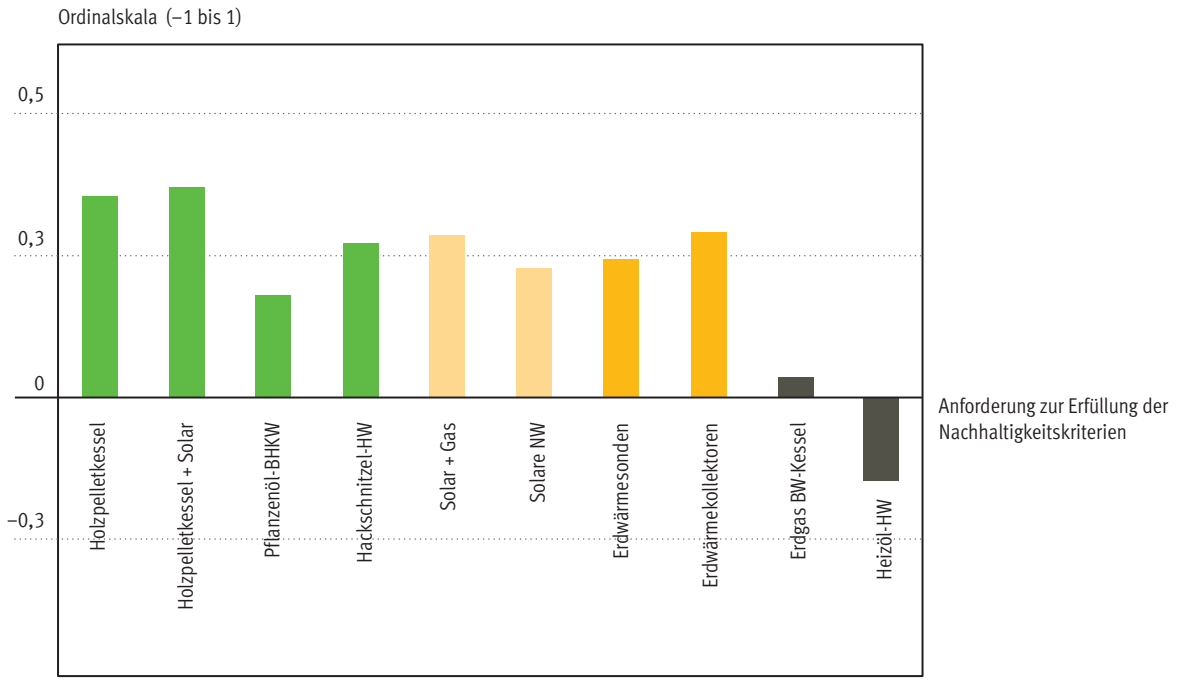
der Werte wird der gesamte Lebensweg berücksichtigt, also auch die Emissionen, die beispielsweise beim Transport eines Brennstoffes entstehen, Düngemittel, die bei der Produktion von nachwachsenden Energiepflanzen eingesetzt werden oder auch Materialen und Aufwendungen für den Bau und Rückbau einer Anlage. Die ökonomischen Indikatoren umfassen zunächst die für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung notwendigen Kostengruppen. Daneben werden Indikatoren zur Volatilität und Entwicklung der Brennstoffpreise sowie zur Versorgungssicherheit hinzugezogen. Mit den sozialen Indikatoren werden weitere Nachhaltigkeitskriterien in die Analyse integriert. Aspekte wie soziale Vulnerabilität, gesellschaftliche Stabilität und gesellschaftlicher Nutzen sind ebenso enthalten wie gesundheitliche Aspekte oder ein Indikator zur Nutzungskonkurrenz der Primärenergieträger.

In Abbildung 4.10 werden beispielhaft einige Ergebnisse aufgeführt. Dargestellt sind die Ergebnisse bei einer Gleichgewichtung der Nachhaltigkeitsindikatoren innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökologisch, ökonomisch und sozial) und zwischen den Dimensionen. Auf einer Skala von –1 bis 1 erreichen die untersuchten zehn Technologien Nachhaltigkeitsziffern zwischen –0,14 und 0,37. Somit erfüllen alle Anlagen mit Ausnahme des Heizöl-Heizwerks die Nachhaltigkeitsanforderungen, auch wenn keine Anlage in die Nähe des (theoretischen) Optimums 1 kommt.

Deutlich wird, dass Biomassesysteme verhältnismäßig gut abschneiden. Hier sind in erster Linie Pelletkessel (0,35), vor allem in Kombination mit einer solarthermischen Anlage (0,37) zu nennen. Aber auch Hackschnitzelheizwerke (0,27) oder Pflanzenöl-BHKWs (0,18) erfüllen die Anforderungen deutlich. Größenordnungsmäßig ähnliche Ergebnisse wie die beiden letztgenannten Technologien erzielen solar- sowie geothermischen Anlagen mit Werten zwischen 0,24 (Erdwärmesonden) und 0,29 (Erdwärmekollektoren). Erdgas-Brennwertkessel erfüllen mit einem Wert von 0,03 die Nachhaltigkeitsanforderungen, wohingegen Heizöl-Heizwerke deutlich unterhalb der Anforderungsschwelle liegen (–0,14).

Wichtig ist, dass im Rahmen dieser Methode einzelne Parameter variiert und der Einfluss integriert bemessen werden kann. Durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Holzpelletkesseln beispielsweise fallen zwar die Feinstaubemissionen geringer aus, gleichzeitig steigen jedoch die kapitalgebundenen Kosten. Wie kann also die Abwägung dieser Vor- und Nachteile aussehen? Bei den hier vorgestellten Ergebnissen ergibt sich durch die Berücksichtigung des Partikelfilters eine leichte Verbesserung (+0,02 Punkte) des Bewertungsergebnisses für diese Technologie. Holzpelletkessel erzielen nun das gleiche Ergebnis wie der Holzpelletkessel mit solarthermischer Unterstützung (Nachhaltigkeitsziffer 0,37) und schneidet somit unter den betrachtete Versorgungsoptionen am günstigsten ab.

VERGLEICH DER AGGREGIERTEN NACHHALTIGKEITSZIFFERN VERSCHIEDENER WÄRMEBEREITSTELLUNGSTECHNIKEN



Quelle: [Zech et al., 2012]

© FNR 2013

Abb. 4.10: Vergleich der aggregierten Nachhaltigkeitsziffern verschiedener Wärmebereitstellungstechniken anhand der MCDA-Methode

4.2.4 Leitplanken für die internationale Biomassenutzung

Auch der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WBGU) hat sich vor dem Hintergrund des weltweiten Bioenergieausbaus der letzten Dekade mit der Nachhaltigkeit der energetischen Biomassenutzung auseinandergesetzt [WBGU, 2008]. Dabei gründet der WBGU seine Anforderungen insbesondere auf das vom Beirat seit 1994 entwickelte Leitplankenkonzept und flankiert es mit ergänzenden Kriterien [WBGU, 1994]. Der Kerngedanke des Leitplankenkonzeptes besteht in der Definition von quantitativen Schadensgrenzen, die nicht überschritten werden dürfen, da dies „nicht tolerierbare oder gar katastrophale Folgen hätte" [WBGU, 2008]. In diesem Sinne markieren die Leitplanken einen Raum, innerhalb dessen eine nachhaltige Entwicklung stattfinden kann. Eine dieser Leitplanken ist beispielsweise die Einhaltung des sogenannten 2-Grad Klimazieles.

Dabei nimmt der Beirat [WBGU, 2008] im Grundsatz eine globale Perspektive ein und kann deshalb nicht unmittelbar für die Bewertung der Umsetzung konkreter Bioenergieprojekte herangezogen werden. Gleichwohl kann er auf einer übergeordneten Politikebene von Nationalstaaten wichtige Informationen liefern. Außerdem können auch für Einzelprojekte Anforderungen abgeleitet werden, die operationalisiert und angewendet werden können.

Einschränkend gibt der Beirat zudem an, dass die Einhaltung der Leitplanken ein notwendiges, nicht aber ein hinreichendes Kriterium sei: Es gilt also im Einzelfall ggf. weitere Kriterien (Nachhaltigkeitsbelange) zu testen, die sich im globalen Kontext schwer operationalisieren lassen, da lokale Besonderheiten zu berücksichtigen sind. Die beigefügte Tabelle 4.5 stellt die umfassenden Anforderungen, die der WBGU definiert, dar.

4.3 Synopse Nachhaltigkeit

Das Für und Wider der Bioenergie lässt sich nicht einfach beantworten, sondern setzt eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema, bzw. sogar mit dem konkreten Projekt, voraus und kann oftmals nur unter den lokalen Umsetzungsbedingungen und im Einklang mit den Bewohnern vor Ort entschieden werden. Dennoch ist deutlich geworden, dass die Biomasse das Potenzial mitbringt, einen wichtigen Beitrag für eine zukünftige, nachhaltige Energieversorgung zu leisten. Die alleinige Frage „Welche Treibhausgasminderung kann ein Bioenergieprojekt erreichen?" wird einem ganzheitlichen Ansatz also nicht gerecht und muss in den Kontext eingebettet werden: „Mit welchen Bioenergietechnologien kann der größte Nutzen erreicht und gleichzeitig mögliche Beeinträchtigungen minimiert werden?"

TAB. 4.5: ÜBERSICHT LEITPLANKEN DES WBGU FÜR DIE INTERNATIONALE BIOMASSENUTZUNG

Bezeichnung	Definition	Herleitung	Anmerkung
Leitplanke für den Klimaschutz	• Anstieg bodennaher Lufttemperatur um mehr als 2 Grad gegenüber vorindustriellen Zeiten • Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre unterhalb von 450 ppm CO_2eq. • Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 um 50 %	Nach aktuellen Stand der Forschung ist sonst ein Klimawandel unbekannten Ausmaßes zu erwarten	Beitrag verschiedener Wirtschaftssektoren ist nicht von Belang, solange die THG-Reduktion erreicht wird.
Leitplanke für den Biosphärenschutz	10 bis 20 % der Fläche terrestrischer Ökosysteme als Schutzgebiet ausweisen	Ökosysteme und ihre biologische Vielfalt sind für den Menschen überlebenswichtig	Kein zwangsläufiger Widerspruch zwischen Schutz und Nutzung
Leitplanke für den Bodenschutz	Nicht mehr Boden abtragen als Neubildungsrate, maximal 1 bis 10 t pro ha und Jahr		Je nach Temperaturzone und Bodentiefe
Weitere ökologische Nachhaltigkeitsanforderungen	Nachhaltige Wassernutzung („Wasserstressindikatoren") Klimabilanz beim Anbau (z. B. bei Grünlandumbruch)		
Leitplanke zur Sicherung des Zugangs zu ausreichend Nahrung	Ausreichend landwirtschaftliche Nutzfläche für den täglichen Nahrungsmittelbedarf	Sicherung des täglichen Kalorienbedarfes (2.700 kcal pro Person)	Grundsätzlicher Vorrang der Nahrungsmittelproduktion vor Bioenergie
Leitplanke zur Sicherung des Zugangs zu modernen Energiedienstleistungen	700 bis 1.000 kWh pro Kopf und Jahr	Mindestbedarf bei Technologien auf aktuellem Stand der Technik	
Leitplanke zur Vermeidung von Gesundheitsschäden durch Energienutzung	Anteil der regionalen DALYs (disability-adjusted life years) unter 0,5 %	Maß für die verringerte Lebenszeit (DALYs)	
Weitere sozioökonomische Nachhaltigkeitsanforderungen	Lokale Arbeitsbedingungen (z. B. Einsatz von Pestiziden) Kernstandards der ILO (z. B. Verbot von Kinder- und Sklavenarbeit) Bewahrung der Existenzgrundlage von Kleinbauern und indigenen Gruppen Keine staatliche Dauerförderung (Subventionierung)		

Quelle: [WBGU, 2008]

TAB. 4.6: SYNOPSE DER VORGESTELLTEN BEWERTUNGSVERFAHREN FÜR NACHHALTIGKEIT

Charakter	**verpflichtend**	**freiwillig**		
Verfahren	**Nachhaltigkeitsverordnungen**	**GBEP**	**MCDA**	**WBGU Leitplanken**
Prinzip	Definition von Mindestanforderung	Definition von Messgrößen	Reduktion auf eine Nachhaltigkeitsziffer	Definition von Grenzen
Räumliche Ebene der Anwendung	National	Global und national	Global, national, lokal, projektbezogen	Global und national
Vorteil/Stärke	Gesetzliche Verankerung und Möglichkeit der Zertifizierung	Gesetzliche Verankerung und Möglichkeit der Zertifizierung	Integrierte Behandlung von Zielkonflikten	Klare Darstellung von Grenzen/des Nachhaltigkeitsraums
Nachteil/ Schwäche	Geringe Anzahl an Kriterien	Behandlung von Zielkonflikten bleibt ungeklärt	Informationsverlust und Gewichtung der Indikatoren	Grenzwerte sind schwer zu ermitteln und unflexibel

Bei einer Diskussion, die mit derart unterschiedlichen Argumenten geführt wird, gilt es mögliche Zielkonflikte zu erörtern und den Umgang mit ihnen offen zu legen. Aus diesem Grund drängt sich als Bewertungsgrundlage das gesellschaftliche Leitbild der Nachhaltigkeit auf, denn mit ihr werden ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gemeinschaftlich berücksichtigt. Eine solche Analyse kann mit einem der vorgestellten Nachhaltigkeitsverfahren oder mit einer Kombination dieser geschehen. Tabelle 4.6 gibt eine Überblick über Prinzipien und Anwendungsebene sowie die Vor- und Nachteile der Verfahren.

© FNR/Dr. Hansen

5 PLANUNG UND REALISIERUNG UMFANGREICHER BIOENERGIE-PROJEKTE

Motiviert durch steigende Kosten für den Bezug von fossilen Energieträgern, durch die Verfügbarkeit von Stroh, Holz, Gülle, Mais oder anderer Roh- und Reststoffe im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb oder durch die Klimaschutzbestrebungen des Dorfes bzw. der Gemeinde werden von Industrieunternehmen, Energieversorgern und Einzelpersonen oder (kleinen) Gruppen Ideen für ein Bioenergieprojekt entwickelt.

Die Ideen sind vielfältig entsprechend der Vielzahl heute bereits verfügbarer Möglichkeiten und Konzepte, Biomasse zur Energieversorgung einzusetzen. Hierzu zählt beispielsweise der Einbau einer Pellet- oder Hackschnitzelheizung zur Heiz- und Brauchwasserwärmeversorgung eines Ein- oder Mehrfamilienhauses. Es werden aber auch umfangreichere Wärme- (und Kälte)versorgungsprojekte z. B. für Gewerbegebiete, Stadtteile oder Bioenergiedörfer durch den Bau von Biogasanlagen oder z. B. Holzheiz(kraft)werken im mittleren und großen Leistungsbereich realisiert.

So verschieden die Bioenergieprojekte sind, so unterschiedlich ist letztlich auch der Aufwand, der jeweils notwendig ist, um eine termingerechte und erfolgreiche Planung und Realisierung sowie einen langfristig wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb sicher zu stellen.

Kapitel 5.1 gibt daher einen einleitenden Überblick über die Herausforderungen, die an die Planung, die Realisierung und den Betrieb verschiedener Bioenergieprojekte geknüpft sind, und die Einfluss haben auf den Aufwand und die Komplexität des Planungs- und Realisierungsprozesses. Auf dieser Grundlage wird eine Kategorisierung der Bioenergieprojekte bzgl. Planungs- und Realisierungsaufwand vorgenommen.

Im vorliegenden Dachleitfaden werden speziell für die umfangreicheren Bioenergieprojekte, d. h. Projekte, die durch einen höheren Aufwand und eine höhere Komplexität bei der Planung und Realisierung gekennzeichnet sind, die typischen Projektphasen vorgestellt (Kapitel 5.2).

Weiterhin wird ein Überblick gegeben über wesentliche Aspekte, die bei der Planung und Realisierung umfangreicher Projekte zur Verfeuerung biogener Festbrennstoffe, zur Biogasproduktion und -nutzung sowie zur Produktion von Biokraftstoffen gleichermaßen von Interesse sind. Dies umfasst die Beschreibung typischer Projektbeteiligter und Projektstrukturen (Kapitel 5.3), die Darstellung der prinzipiellen Möglichkeiten der Biomassebereitstellung, der Betreibermodelle und Rechtsformen (Kapitel 5.4), der Optionen zur Finanzierung und Förderung (Kapitel 5.5) sowie Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit (Kapitel 5.6).

Ausgewählte Beispiele der energetischen Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Strombereitstellung sowie der Kraftstoffproduktion geben in Kapitel 6 einen abschließenden Einblick in die erfolgreiche Realisierung von Bioenergievorhaben.

5.1 Herausforderungen und Aufwand – Kategorisierung von Bioenergieprojekten

Der Aufwand zur Planung und Realisierung erfolgreicher Bioenergieprojekte wird von verschiedenen Faktoren mitbestimmt, die sich z. T. gegenseitig bedingen. Hierzu zählen z. B.

- Die Komplexität der vorgesehenen Anlagentechnologie und die Verfügbarkeit von typgeprüften Anlagen(komponenten)
- Der Umfang der geplanten Energie- und insbesondere der Wärmeversorgung
- Der erforderliche Genehmigungsprozess.

Komplexität der vorgesehenen Anlagentechnologie und Verfügbarkeit von typgeprüften Anlagen(komponenten)
Hier gibt es deutliche Unterschiede zwischen Holzfeuerungen zur Wärmeerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Biogasanlagen:

Bei der Holzverbrennung zur Wärmeerzeugung ist (in den unterschiedlichsten Leistungsbereichen) kaum mit technischen Problemen und Herausforderungen beim Betrieb zu rechnen. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei, dass Holzbrennstoffe geeigneter bzw. geforderter Qualität eingesetzt werden. Insbesondere im Leistungsbereich bis 1 MW (ggf. auch darüber hinaus) sind Holzfeuerungen als typgeprüfte Anlagen verfügbar. Dies ermöglicht es künftigen Anlagenbetreibern, Informationen und Erfahrungswerte bezüglich der Lieferanten und der angebotenen Anlagen einzuholen und Anlagen mehr oder weniger als „Komplettlösungen“ zu beziehen.

Demgegenüber sind die technischen Herausforderungen und Anforderungen bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, u. a. aufgrund der vorgesehenen Verstromung (und z. B. hierfür er-

forderlicher Dampfprozesse) als weitaus größer zu beurteilen. Ggf. liegen hier typgeprüfte Anlagenkomponenten vor, auf die bei der Planung zugrückgegriffen werden kann, insgesamt ist jedoch der Aufwand für die Planung und Konzeptionierung der Anlage höher anzusetzen.

Die Planung und Konzeptionierung einer Biogasanlage sollte stets speziell auf die eingesetzten Substrate und verfügbaren Mengen etc. ausgerichtet sein. Speziell bei Biogasanlagen ergeben sich aufgrund des Gärprozesses, der der Biogasproduktion zugrunde liegt, besondere Herausforderungen beim Betrieb und der Überwachung der Anlage. So ist beispielsweise ein entsprechender Zeitaufwand für die Überwachung und Kontrolle des Anlagenbetriebs/Betriebsführung vorzusehen.

Der Umfang der geplanten Wärmeversorgung

Sowohl die Wärmeversorgung eines Einzelgebäudes (z. B. Einfamilienhaus oder Schulgebäude) als auch die Versorgung mehrerer Objekte über ein (kleines) Wärmenetz erfordern eine frühzeitige, sorgfältige Ermittlung des Wärmebedarfs. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass beispielsweise der Wärmebedarf im Jahresverlauf schwanken kann (vgl. Heizbedarf im Winter/Sommer) und dass bei mehreren Wärmeabnehmern deren Spitzenlasten meist nicht zeitgleich auftreten (Ungleichzeitigkeiten). Auch können beispielsweise (geplante) Dämmungsmaßnahmen zu einem (künftig) geringeren Heizwärmebedarf führen. Diese Informationen sind zu erheben, um darauf aufbauend eine optimale Planung und Auslegung der Bioenergieanlage und – soweit erforderlich – des Wärmenetzes vornehmen zu können.

Gerade bei der Wärmeversorgung mehrerer Objekte über ein (kleines) Wärmenetz ist der Versorgungssicherheit besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da hieran u. a. Haftungsfragen geknüpft sind (vgl. Einhaltung des Wärmeliefervertrages). Um auch bei Störungen/Ausfällen der Bioenergieanlage die Versorgung mit Wärme zu gewährleisten, sind z. B. Reservekessel einzuplanen, wodurch sich ein erhöhter Aufwand bei der Anlagenplanung und Kostenkalkulation ergibt.

Erforderlicher Genehmigungsprozess

Der Aufwand zur Planung und Realisierung wird auch deutlich durch das jeweils erforderliche Genehmigungsverfahren bestimmt (vgl. u. a. Kapitel 5.2.3). Holzfeuerungen mit weniger als 1.000 kW Feuerungswärmleistung, die naturbelassenes Holz einsetzen, sind beispielsweise nicht genehmigungsbedürftig und unterliegen den Anforderungen der 1. BImSchV.

Strohfeuerungen demgegenüber sind bereits ab 100 kW genehmigungsbedürftig (vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG). Genehmigungsbedürftig nach dem vereinfachten Verfahren sind auch Holzfeuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung von 1 bis ‹ 50 MW. Sobald eine Genehmigungsbedürftigkeit vorliegt, ist mit erhöhtem Umfang und Komplexität bei der Planung und Realisierung des Vorhabens zu rechnen.

Die Abbildung 5.1 fasst obige Aspekte zusammen und nimmt darauf aufbauend eine exemplarische Kategorisierung von Bioenergieanlagen hinsichtlich ihres Planungs- und Realisierungsaufwandes in vier Bereiche vor.

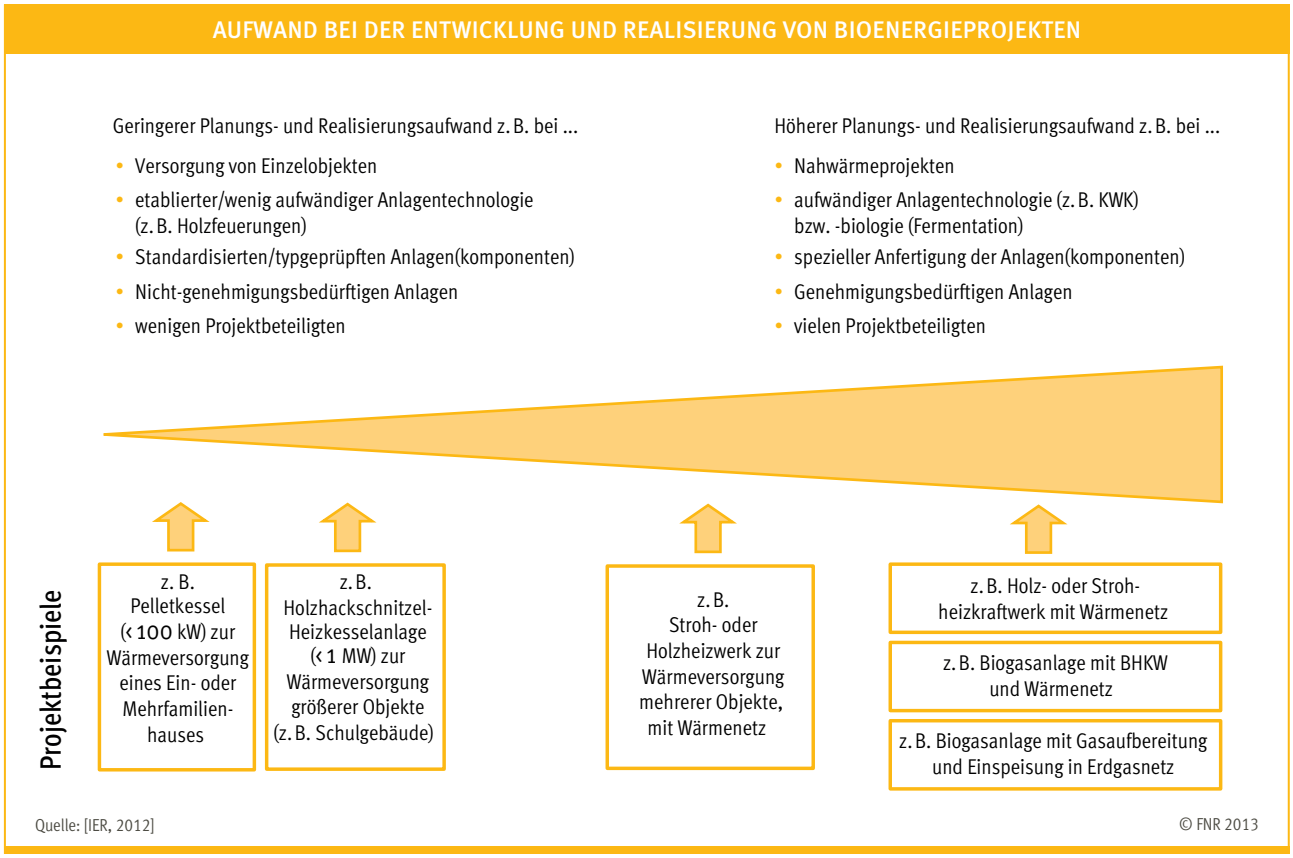


Abb. 5.1: Beispielhafte Charakterisierung und Einordnung des Aufwandes bei der Entwicklung und Realisierung von Bioenergieprojekten

Anlagen zur Wärmeversorgung von Einzelobjekten < 100 kW
Der Einbau beispielsweise eines Holzpelletkessels in ein Einfamilienhaus oder die Installation einer Hackschnitzelheizanlage zur Versorgung kleiner Objekte sind mit einem vergleichsweise geringen Planungs- und Realisierungsaufwand verbunden. Der Hausbesitzer kann für seine Auswahl auf ein großes Angebot an Holzpellet- oder Hackschnitzelheizungen zurückgreifen, die Stand der Technik sowie in Marktübersichten detailliert beschrieben und vielfach realisiert sind (z. B. [FNR, 2013a], [FNR, 2013b]). Trotz höherer Investitionskosten im Vergleich zu fossil befeuerten Kesseln ist die Investitionssumme meist überschaubar, auch sind diese Anlagen nicht genehmigungsbedürftig (vgl. z. B. [FNR, 2013]). Zudem können Pellets und Hackschnitzel gut über den Handel oder z. B. Biomassehöfe bezogen werden.

Anlagen zur Wärmeversorgung von Einzelobjekten ≥ 100 kW
Auch die Planung und Installation von größeren Holzfeuerungen ab 100 kW_{th} zur Versorgung von Einzelobjekten bzw. wenigen Objekten (z. B. Schulgebäude, Schwimmbad) ist noch mit vergleichsweise geringem Aufwand verbunden. Beispielsweise sind auf dem Markt verschiedenste Hackschnitzelkessel gemäß Stand der Technik verfügbar und Marktübersichten erlauben eine vergleichende Betrachtung (z. B. [FNR, 2013b]) der Eigenschaften und Einsatzbereiche. Liegt die Feuerungswärmeleistung der Holzfeuerungen größer als 1.000 kW, so sind (z. B. beim Einsatz von naturbelassenem Holz) die Anlagen nicht genehmigungsbedürftig. Um eine optimale Anlagenauslegung zu erzielen, ist jedoch auch für diese Anlagen eine sorgfältige Wärmebedarfsermittlung erforderlich, die sich nicht ungeprüft lediglich auf den bisherigen Wärmebedarf stützen darf.

Holzheizwerke mit (kleinem) Wärmenetz
Holzheizwerke stellen in Bezug auf die Verbrennung vergleichsweise geringe technische Anforderungen. Sobald jedoch die Versorgung mehrerer Objekte über ein (kleines) Wärmenetz vorgesehen ist, ist von deutlich erhöhtem Aufwand und zusätzlichen Anforderungen für die Planung und Realisierung auszugehen. Solche Projekte werden hier daher bereits den umfangreicheren Bioenergievorhaben zugerechnet, wenngleich für die Realisierung von Bioenergievorhaben bis zu wenigen MW Leistung Generalunternehmen bereit stehen.

Die Notwendigkeit, eine Versorgungssicherheit zu gewährleisten, erfordert, dass der künftige Anlagenbetreiber den Wärmebedarf und Wärmebedarfsverlauf (über den Tag bzw. das Jahr) der einzelnen künftigen Abnehmer sowie deren Bereitschaft zur Wärmeabnahme bereits in einem frühen Projektstadium erhebt. Damit kann eine optimale und in der Folge auch kostensparende Anlagenauslegung erfolgen. Weiterhin sind die Notwendigkeiten zur Absicherung der Wärmeversorgung über Spitzenlastkessel- und Reservekessel zu beachten.

Biogasanlagen und Heizkraftwerke (ggf. mit Wärmenetz)
Der Bau einer Biogasanlage oder beispielsweise eines Holzheizkraftwerks mit angeschlossenem Wärmenetz erfordern u. a. aufgrund der höheren technischen Anforderungen und der notwendigen Biomassemengen eine umfassende Vorprüfung der technischen Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Vorhabens. Außerdem ist häufig eine umfassende Absprache mit den Genehmigungsbehörden und ein aufwendigeres Genehmigungsverfahren sowie der rechtzeitige Einbezug verschiedener Projektbeteiligter (z. B. Biomasselieferanten, Wärmeabnehmer) und der Öffentlichkeit in das Vorhaben erforderlich. Soweit kein Generalunternehmer zur Verfügung steht, sind zudem ergänzende Ausschreibungen im Einzellosverfahren erforderlich. Hierdurch ergibt sich insgesamt ein höherer Aufwand im Zuge der Planung sowie Realisierung.

Die nachfolgenden Ausführungen zur Entwicklung und Realisierung von Bioenergieprojekten (vgl. Projektphasen, Projektpartner und -strukturen, Biomassebereitstellung, Betreibermodelle/Rechtsformen, Finanzierung und Förderung, Öffentlichkeitsarbeit, siehe Kapitel 5.2 bis 5.6) fokussieren auf umfangreichere Bioenergievorhaben (z. B. Heizwerke mit Wärmenetz und Heizkraftwerke bzw. Biogasanlagen (mit Wärmenetz), siehe Abb. 5.1).

5.2 Projektablauf bei umfangreichen Bioenergieprojekten

Abbildung 5.2 gibt einen Überblick über die typischen Projektphasen von der Ausarbeitung einer Projektskizze und Machbarkeitsstudie über die Planung und Genehmigung der Bioenergieanlage bis hin zum Anlagenbetrieb, die charakteristisch für umfangreichere Bioenergievorhaben sind.

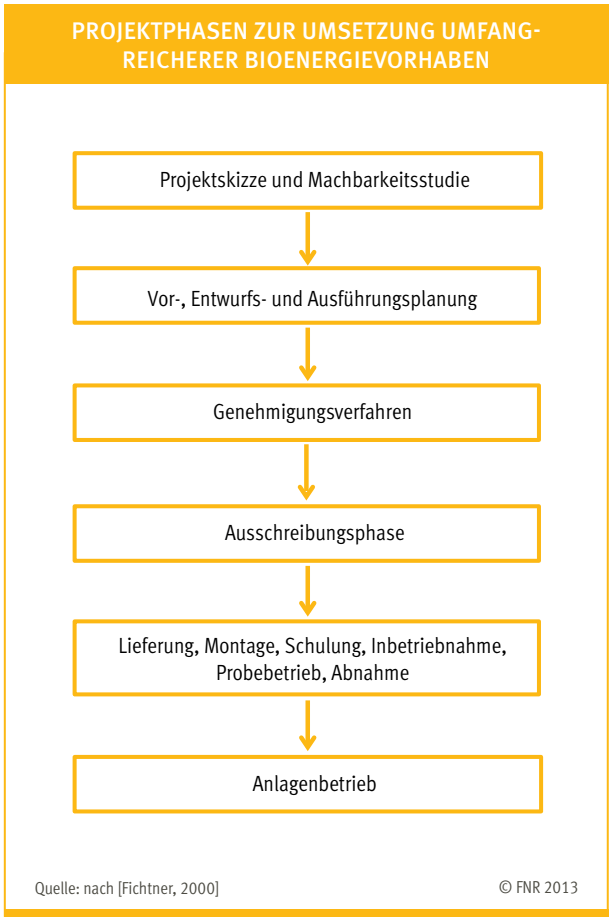


Abb. 5.2: Projektphasen zur Umsetzung umfangreicherer Bioenergievorhaben

Liegt eine Idee z. B. zum Bau einer Biogasanlage, eines Biomasseheiz(kraft)werkes oder eines Biomasse-Nahwärmenetzes vor, so sollte der Projektinitiator zunächst eine generelle Prüfung der Realisierungschancen seiner Projektidee anhand einer Projektskizze sowie darauf aufbauend eine erste Beurteilung möglicher Konzeptvarianten anhand einer Machbarkeitsstudie vornehmen.

Auf dieser Grundlage trifft der Projektinitiator bzw. künftige Anlagenbetreiber die Entscheidung für bzw. gegen den Einstieg in die Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung und damit auch den Prozess der Projektumsetzung mit Projektgenehmigung und Ausschreibung sowie der Kontaktaufnahme und Verhandlung mit Kreditinstituten.

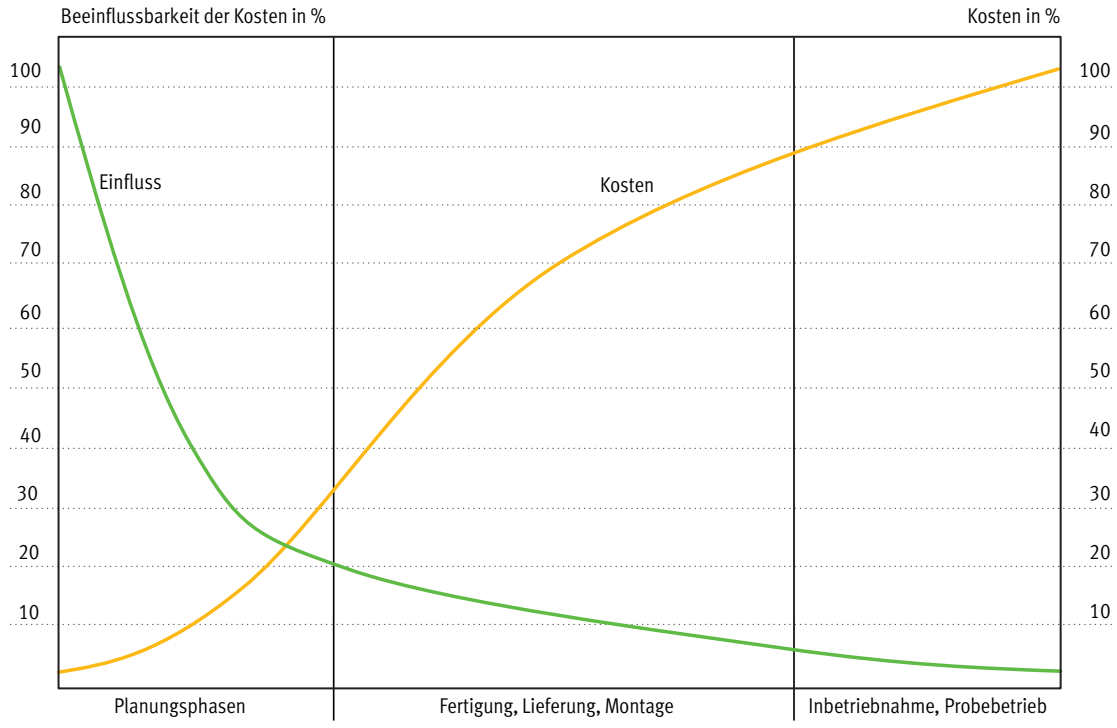
Mit der Lieferung der Anlagenkomponenten, deren Montage, der Schulung der künftigen Mitarbeiter bzw. Verantwortlichen für den Anlagenbetrieb, der Inbetriebnahme der Anlage, dem Probebetrieb und der Abnahme der Anlage wird die Projektabwicklung beschrieben. Sind diese Schritte erfolgreich abgeschlossen, kann der Anlagenbetrieb starten.

Entscheidend für eine erfolgreiche Projektrealisierung ist eine vorausschauende, robuste und sorgfältige Planung des Bioenergievorhabens gerade in den ersten Projektphasen, d. h. im Rahmen der Ausarbeitung von Projektskizze und Machbarkeitsstudie sowie den sich anschließenden Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanungen. So ist die Tragweite der anfänglich getroffenen Entscheidungen (und Fehlentscheidungen) besonders hoch. Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 5.3 die Projektkosten und die Beeinflussbarkeit dieser Kosten im zeitlichen Verlauf der Umsetzung des Vorhabens schematisch gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Projektkosten während der Planungszeit – hier fallen lediglich Kosten im Bereich von 20 % der Gesamtkosten an – noch sehr gut beeinflusst werden können. In der Phase der Fertigung, Lieferung und Montage der Anlage, in der naturgemäß der Großteil der Ausgaben anfällt, sind dagegen die Basisentscheidungen bereits getroffen, und die Kosten können nur noch zu einem immer geringer werdenden Anteil beeinflusst werden. Dies verdeutlicht die hohe Bedeutung, die eine sorgfältige Planung für einen erfolgreichen, das heißt erwartungsgerechten Projektverlauf und für den zukünftigen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb hat.

Nachfolgend werden die einzelnen in Abbildung 5.2 dargestellten Phasen der Projektentwicklung und -realisierung näher erläutert (Kap. 5.2.1 bis 5.2.6). Die Erläuterungen stellen einen allgemeinen Wegweiser zur Vorgehensweise bei der Entwicklung und Realisierung eines umfangreicheren Bioenergieprojektes dar. Es kann jedoch keine allgemeingültige Lösung angeboten werden, da sich jedes Vorhaben durch projektspezifische Besonderheiten und individuelle Randbedingungen auszeichnet.

Ergänzende Informationen für die Planung und Realisierung von Biogasanlagen sowie von mittleren und großen Anlagen zur Nutzung biogener Festbrennstoffe finden sich im Leitfaden Biogas und im Leitfaden Feste Biobrennstoffe [FNR 2013e, FNR 2014].

PROJEKTKOSTEN UND IHRE BEEINFLUSSBARKEIT



Quelle: [Fichtner, 2000], aktualisiert

© FNR 2013

Abb. 5.3: Verlauf der Projektkosten und ihrer Beeinflussbarkeit während der Realisierung eines Vorhabens

5.2.1 Projektskizze und Machbarkeitsstudie

Gerade in der Anfangsphase eines Projektes kommt dem Projektinitiator bzw. dem künftigen Anlagenbetreiber eine wichtige Rolle zu. Sowohl bei der Erarbeitung einer Projektskizze zur ersten Projekteinschätzung als auch bei der sich anschließenden Ausarbeitung einer Machbarkeitsstudie kann bzw. muss der Projektinitiator oder künftige Anlagenbetreiber wesentliche eigene Informationen, Recherchen, Ideen, Wünsche, Erwartungen, Entscheidungen etc. beisteuern. Dadurch wird gewährleistet, dass ein auf die Rahmenbedingungen vor Ort ausgerichtetes und optimiertes und damit langfristig tragfähiges Konzept ausgearbeitet wird.

Die Ausarbeitung von Projektskizze und Machbarkeitsstudie stellt somit einen iterativen Prozess der Projektentwicklung und -beurteilung dar. Dabei ist die gesamte Kette von der Biomassebereitstellung über die Energieerzeugung bis hin zur Energieabnahme zu berücksichtigen, und Fragen, die sich entlang dieser Kette stellen, sind zu klären (Abb. 5.4).

Wesentliche Bestandteile der Projektphase

Tabelle 5.1 zeigt wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Projektskizze und Machbarkeitsstudie im Überblick auf. Die wesentliche Gemeinsamkeit liegt in der Erhebung und Bewertung sowohl technischer als auch ökonomischer und nicht-technisch/ökonomischer Parameter. Hierzu zählen u. a.:

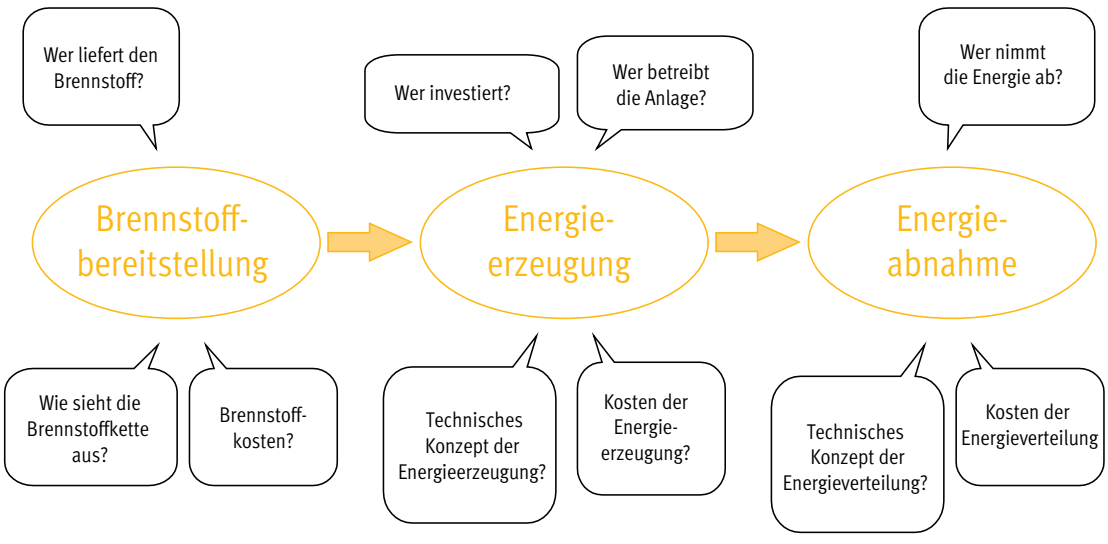
- Technische Aspekte: z. B. Randbedingungen vor Ort (u. a. Anlagenstandort und Wärmebedarf), verfügbare Biomassemengen und Bereitstellungswege, (grobe) technische Anlagenkonzipierung, ggf. Vorkonzipierung der Wärmeverteilung und Stromeinspeisung, Konzepte für z. B. Ascheverwertung und -entsorgung bzw. Gärrückstandsnutzung.
- Wirtschaftliche Aspekte: z. B. Abschätzung von Kapitalbedarf und Wirtschaftlichkeit, Evaluierung von Fördermöglichkeiten.
- Nicht-technische Aspekte: Identifizierung möglicher Projektbeteiligter und erste Kontaktaufnahme, Prüfung der Genehmigungspflichtigkeit, Bewertung der Akzeptanz.

Der wesentliche Unterschied zwischen Projektskizze und Machbarkeitsstudie liegt jedoch in der jeweiligen Zielsetzung und damit verbunden in dem unterschiedlichen Detaillierungsgrad bei der hierfür erforderlichen Datenerhebung und den notwendigen Berechnungen.

Zielsetzung der **Projektskizze** ist es, das Vorhandensein von Ausschlusskriterien und Schwachstellen, d. h. (unüberwindbaren) Hemmnissen, festzustellen und damit die generellen Realisierungschancen des geplanten Vorhabens zu prüfen. Werden bei der Erstellung der Projektskizze Ausschlusskriterien (z. B. fehlende Standorteignung, mangelnde Wärmenachfrage) für das geplante Projekt identifiziert, so kann dies zu einem Projektabbruch führen (in einer Phase, die vergleichsweise geringe finanzielle Aufwendungen erfordert). Andererseits können auf Basis der identifizierten Ausschlusskriterien bzw. Schwachstellen rechtzeitig Lösungsansätze zur Vermeidung bzw. Minimierung dieser Ausschlusskriterien bzw. Schwachstellen entwickelt werden (kein Projekt ist von Beginn an ohne „Ecken und Kanten“!). Letztlich sollte die Projektskizze einen vergleichsweise geringen Umfang und Detaillierungsgrad aufweisen und auch geringen Zeit- und Kostenaufwand verursachen.

Zielsetzung der **Machbarkeitsstudie** ist es, verschiedene u. a. technische Lösungsansätze und Konzeptvarianten zu analysieren sowie das jeweilige Risiko u. a. auf der Basis von Sensitivitätsbetrachtungen zu bewerten. Oftmals wird hierfür ein erfahrenes Ingenieur- oder Planungsbüro hinzugezogen. Dies mündet in eine Gesamtbewertung und soweit möglich in eine konkrete Empfehlung für ein spezifisches Konzept, das im Anschluss im Rahmen der Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung weiter konkretisiert wird. Die Machbarkeitsstudie ist durch einen höheren Detaillie-

WICHTIGE FRAGESTELLUNGEN BEI DER PROJEKTIERUNG EINES BIOENERGIEVORHABENS



Quelle: [Fichtner, 2000]

© FNR 2013

Abb. 5.4: Wichtige Fragestellungen bei der Projektierung eines Bioenergievorhabens

TAB. 5.1: WESENTLICHE GEMEINSAMKEITEN UND UNTERSCHIEDE ZWISCHEN PROJEKTSKIZZE UND MACHBARKEITSSTUDIE

	Projektskizze	Machbarkeitsstudie
Zielsetzung	Erste Festlegung der Zielvorgaben für das Projekt (z. B. Energieversorgungsziel, Erfordernisse, Erwartungen etc.) Erste grobe Projektbeurteilung anhand von Ausschlusskriterien ⇨ Feststellen, ob bzw. inwieweit unüberwindbare Hemmnisse bestehen	Empfehlungen zur Machbarkeit des Projektes bzw. verschiedener Anlagen – und Konzeptvarianten ⇨ Entscheidung für bzw. gegen den Einstieg in Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung
Generelle Inhalte	Technische, wirtschaftliche, nicht-technisch/ökonomische Analyse und Bewertung	
	Identifizierung von Ausschlusskriterien	Analyse und Vergleich verschiedener Anlagen- bzw. Konzeptvarianten, Risikobewertung
Detaillierungsgrad für Datenrecherche und Ausarbeitung	Geringer Rechercheaufwand (z. T. Daten bereits vorhanden)	Hoher Rechercheaufwand (Erhebung zusätzlicher, spezifischer Daten)
	Wenig detaillierte, meist qualitative bzw. semi-quantitative Erhebungen	Detaillierte, quantitative Erhebungen und Berechnungen
Bearbeiter	Meist Initiator bzw. künftiger Anlagenbetreiber	Meist erfahrenes Ingenieur- oder Planungsbüro

rungsgrad und damit erhöhten Aufwand bei der Datenerhebung und -berechnung gekennzeichnet (vgl. Tabelle 5.1).

Nichtsdestotrotz kann eine detailliert ausgearbeitete Projektskizze mit nur geringem Überarbeitungsaufwand in eine Machbarkeitsstudie übertragen werden. Damit sind die Grenzen zwischen Projektskizze und Machbarkeitsstudie fließend.

Besondere Aufmerksamkeit sollte in dieser frühen Projektphase gerade auch der sorgfältigen Ermittlung des Wärmebedarfs geschenkt werden. So gilt es einerseits festzustellen, ob und inwieweit ein Interesse potenzieller Wärmeabnehmer besteht. Andererseits ist bereits im Rahmen der Projektskizze eine möglichst realistische Abschätzung des eigenen und kundenseitigen Wärmebedarfs sehr hilfreich, da hierauf aufbauend belastbarere Überlegungen z. B. zur Anlagengröße und -auslegung, zum Bedarf an Biomasse sowie zur Konzeptionierung der Wärmeverteilung vorgenommen werden können.

Ergebnis der Projektphase

Aufbauend auf der Gesamtbewertung der technischen, wirtschaftlichen und nicht-technischen Aspekte des geplanten Vorhabens (bzw. verschiedener Varianten) und der Risikobewertung steht als Ergebnis eine konkrete Entscheidung hinsichtlich des Einstiegs in die nachfolgenden Planungsschritte.

5.2.2 Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung

Nach Fertigstellung, Abstimmung und Verabschiedung der Machbarkeitsstudie folgen – einen positiven Projektbeschluss vorausgesetzt – als nächste Schritte die Vorplanung, die Entwurfsplanung und die Ausführungsplanung.

Wesentliche Bestandteile der Projektphase

Die Grenzen zwischen den Planungsphasen sind fließend und vorhabenspezifischen Randbedingungen unterworfen. Auch der exakte Detaillierungsgrad der Bearbeitung in den einzelnen Phasen kann nicht allgemeingültig festgelegt werden. Mit fortschreitender Planung wird aber die sukzessive Ausarbeitung und Verfeinerung des technischen Konzepts vorgenommen. Hand in Hand mit der technischen Detaillierung erfolgt die zunehmende Konkretisierung und laufende Aktualisierung der Kosten und der Termine.

- In der **Vorplanung** erfolgt die Konkretisierung des in der Machbarkeitsstudie erstellten technischen Konzepts und der Wirtschaftlichkeit des Vorhabens. Technische Ausführungsdetails oder Kostenaussagen werden dazu häufig durch Richtpreisanfragen oder technische Einzelanfragen bei Komponentenherstellern abgesichert. Wurden bei der Machbarkeitsstudie noch mehrere Ausführungsvarianten bzw. Möglichkeiten gegenübergestellt, so sollten diese in der Vorplanung abschließend miteinander verglichen werden, um eine definitive Festlegung auf die Vorzugsvariante durchführen zu können.
- Im Zuge der **Entwurfsplanung** wird die technische Grundlage für die Erstellung des Genehmigungsantrags gelegt. Daher sollten Textpassagen und Zeichnungsunterlagen der Entwurfsplanung so aufgebaut werden, dass eine Einarbeitung in den Genehmigungsantrag reibungsfrei möglich ist.
- Die **Ausführungsplanung** schließt sich in den meisten Fällen an die Erstellung der Genehmigungsunterlagen an. Ziel der Ausführungsplanung ist die Schaffung einer Grundlage zur Erstellung der Ausschreibungsunterlagen. Im Rahmen der Ausführungsplanung werden im Wesentlichen die technischen Aussagen der Entwurfsplanung unter Berücksichtigung der erwarteten behördlichen Auflagen weiter detailliert. Zur Vorbereitung der Ausschreibungsphase werden Informationen über den Markt (d. h. über die möglichen Bieter) eingeholt sowie erste Gespräche geführt.

Ergebnis der Projektphase

Als Ergebnis der Projektphase liegen die erforderlichen und entsprechend detaillierten Pläne und (Antrags)Unterlagen für das Genehmigungsverfahren (Kapitel 5.2.3) und das sich daran anschließende Ausschreibungsverfahren (Kapitel 5.2.4) vor. Spätestens nach erfolgter Ausführungsplanung sollte die Finanzierung des Vorhabens gesichert sein, da unmittelbar anschließend die Ausschreibung mit Vergabe erfolgt und somit erste Investitionen in die Anlagentechnik zu tätigen sind.

5.2.3 Genehmigungsverfahren

Für den Bau und Betrieb von Bioenergieanlagen ist stets die Genehmigungsbedürftigkeit zu prüfen. Je nach Anlagenart und Leistungsgröße, einzusetzender Biomasse etc. sind dabei die Regelungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) in Form einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung, die dazu gehörenden Verordnungen, das Baurecht (BauGB) mit der einhergehenden Baugenehmigung, und das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) von Belang.

Bei der Genehmigung von Biogasanlagen müssen darüber hinaus und in Abhängigkeit der verwendeten Substrate u. a. auch noch Wasserrecht, Naturschutzrecht, Abfallrecht (Bioabfallverordnung BioAbfV), Düngemittelrecht (Düngevordnung DüV und Düngemittelverordnung DüMV) und Hygienerecht (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz TierNebG) berücksichtigt werden.

Nicht zuletzt sind bei der Genehmigung von Bioenergieanlagen auch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) zu beachten.

Nachfolgend werden die Rahmenbedingungen generell erläutert. Für Details zu den im Einzelnen zu beachtenden Gesetzen, Verordnungen und Vorgaben wird auf die jeweiligen Fachleitfäden, u. a. den Leitfaden Biogas, sowie den Leitfaden Feste Biobrennstoffe verwiesen.

Wesentliche Bestandteile der Projektphase am Beispiel von Festbrennstofffeuerungen

Gemäß BImSchG ist abhängig von der Art des Brennstoffs und der Feuerungswärmeleistung zu unterscheiden in nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (vgl. § 22 BImSchG) sowie in genehmigungsbedürftige Anlagen (vgl. § 4 BImSchG). Liegt eine Genehmigungsbedürftigkeit vor, erfolgt wieder je nach Brennstoff und Leistung eine Zuordnung zum vereinfachten (ohne Beteiligung der Öffentlichkeit) oder zum förmlichen Verfahren. Für Anlagen mit größeren Feuerungswärmeleistungen liegt beispielsweise die Grenze, ab der ein förmliches Verfahren gemäß § 10 BImSchG erforderlich ist, bei 50 MW. Durchgeführt wird diese Zuordnung nach dem Anhang der 4. BImSchV.

Ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren entsprechend BImSchG kann in folgende Phasen eingeteilt werden (vgl. [Junker et al., 2000]):

- Vorbereitungsphase,
- Antragsphase,
- behördliches Genehmigungsverfahren,
- Realisierungsphase.

Zunächst müssen in einer Vorbereitungsphase, die als Teil der Entwurfsplanung (siehe oben) zu sehen ist, die grundlegenden Voraussetzungen zur Realisierung des Vorhabens geklärt werden. Daran schließt sich die Erarbeitung des Genehmigungsantrags und die Klärung der für den Genehmigungsantrag erforderlichen Unterlagen an (Antragsphase). Nach Einreichen der Unterlagen an die Behörden folgt das behördliche Genehmigungsverfahren, das die Prüfung des Antrags und die Erteilung des Bescheides umfasst. Nach Abschluss des Genehmigungsverfahrens muss bei der weiteren Realisierung des Vorhabens kontrolliert werden, ob der Genehmigungsbescheid eingehalten ist. Dies ist der Behörde spätestens nach Inbetriebnahme durch Gutachten nachzuweisen.

Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 1 MW sind i. d. R. nicht genehmigungsbedürftig (Ausnahme z. B. energetische Verwertung von Stroh). Die Anforderungen an diese Anlagen sind in der 1. BImSchV geregelt.

Für Anlagen, die nach dem BImSchG nicht genehmigungspflichtig sind, ist in vielen Fällen eine bauaufsichtliche Genehmigung (Baugenehmigung) erforderlich. Weiterhin sind für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb derartiger Anlagen die Anforderungen der 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen [1. BImSchV, 2010]) einzuhalten.

Die bauaufsichtlichen Bestimmungen für die Errichtung von Feuerungsanlagen unterliegen den entsprechenden Vorschriften der einzelnen Bundesländer (insbesondere Landesbauordnung, Feuerungsverordnung).

Die Vorschriften über das Baugenehmigungs- oder Anzeigeverfahren bei Kleinanlagen sind in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich. In Baden-Württemberg beispielsweise bedürfen Feuerungsanlagen unabhängig von der Anlagengröße keiner Baugenehmigung, sofern dem Bezirksschornsteinfeger mindestens zehn Tage vor Beginn der Ausführung die erforderlichen technischen Angaben vorgelegt werden und er vor Inbetriebnahme die Brandsicherheit und die sichere Abführung der Verbrennungsgase bescheinigt (vgl. Landesbauordnung für Baden-Württemberg [LBO, 2010]).

Die Einbeziehung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) in das Genehmigungsverfahren einer Anlage ist in der Verordnung über das Genehmigungsverfahren [9. BImSchV, 2007] geregelt. Bioenergieanlagen unterliegen einer Umweltverträglichkeitsprüfung, wenn die Anlagenart in Anlage 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung [UVPG, 2011] aufgelistet ist und die Kapazität der Anlage die entsprechenden Größen- und Leistungswerte erreicht. Bioenergieanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung größer als 200 MW sind grundsätzlich UVP-pflichtig.
Der Verfahrensablauf einer UVP ist im UVP-Gesetz festgelegt:

- Unterrichtung des Trägers eines Vorhabens über voraussichtlich beizubringende Unterlagen durch die zuständige Behörde (Scoping),
- Vorlage entscheidungserheblicher Unterlagen über die Umweltauswirkungen des Vorhabens durch den Träger,
- Prüfung der Unterlagen durch die Behörde unter Beteiligung anderer Behörden, deren umweltbezogener Aufgabenbereich berührt wird, und der Öffentlichkeit,
- Zusammenfassende Darstellung der Umweltauswirkungen durch die Behörde,
- Bewertung der Umweltauswirkungen und Berücksichtigung des Bewertungsergebnisses bei der Entscheidung.

Ergebnis der Projektphase.

Nach Erteilung der Genehmigungsbescheide und Prüfung bzw. Klärung der Nebenbestimmungen kann mit dem Ausschreibungsverfahren begonnen werden.

5.2.4 Ausschreibungsverfahren

Vorrangiges Ziel der Ausschreibung oder Angebotsanfrage ist das Einholen von detaillierten und vergleichbaren Angeboten für die verschiedenen Anlagenkomponenten bzw. die Bauleistungen, die nicht durch den Bauherrn selbst erbracht werden. Weiterhin dienen die Ausschreibungsunterlagen der Aufklärung des potentiellen Lieferanten über das Projekt.

Wesentliche Bestandteile der Projektphase

Im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens sind folgende Tätigkeiten von Bedeutung:

- **Erarbeitung der Ausschreibungsunterlagen.** Hier ist zwischen dem kaufmännischen und technischen Teil der Ausschreibung zu unterscheiden.
- **Prüfung der Angebote und Angebotsvergleich.** Während der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen sollte der Angebotsvergleich vorbereitet werden, der nach Eingang der Angebote erfolgt und die Grundlage für die Vergabeentscheidung darstellt. Für den Angebotsvergleich sind individuelle Kriterien sowie Wichtungsfaktoren für die Kriterien zusammen zu stellen. Daher sollten schon bei der Anfrageerstellung Überlegungen angestellt werden, welchen technischen und kommerziellen Gesichtspunkten im Hinblick auf einen Vergleich wesentliche Bedeutung zukommt.
- **Vergabe.** Aufbauend auf ergänzende Bieter- und Vergabegesprächen erfolgt letztlich die Vergabe.

Wird die Anlage durch einen Generalunternehmer realisiert, der die Anlage „schlüsselfertig" bereitstellt, so ergibt sich für den künftigen Anlagenbetreiber ein entsprechend geringerer Planungs- und Koordinierungsaufwand. Demgegenüber ist im Falle einer Einzelvergabe in mehreren Losen ein oftmals nicht unerheblicher Aufwand einzuplanen, um z. B. eine genaue Beschreibung der Einzelsysteme bzw. -komponenten der Anlage vorzunehmen und die Schnittstellen jeweils zu definieren.

Ergebnis der Projektphase

Eine Entscheidung wurde getroffen bzgl. der Lieferanten für die einzelnen Anlagenkomponenten bzw. der Montage der Anlage. Die Vergabe des Auftrags erfolgt mit dem Versand des Bestellschreibens und dessen Annahme durch den Lieferanten in Form einer schriftlichen Auftragsbestätigung bzw. durch die beiderseitige Unterzeichnung eines Vertrages.

5.2.5 Lieferung, Montage, Schulung, Inbetriebnahme, Probebetrieb, Abnahme

Nach der Auftragsvergabe für die verschiedenen Anlagenkomponenten beginnt die Phase der Projektabwicklung, die hier sämtliche Schritte von der Lieferung und Montage der Anlage bis hin zu ihrer Abnahme und der Dokumentation der Ergebnisse im Abnahmeprotokoll umfasst. Gerade bei Bioenergieprojekten im mittleren und größeren Leistungsbereich darf der hierfür erforderliche zeitliche und personelle Aufwand zur Überwachung und Kontrolle sowie zur Koordinierung der Schnittstellen etc. keinesfalls unterschätzt werden (falls kein Generalunternehmer beauftragt wurde oder werden konnte).

Wesentliche Bestandteile der Projektphase

Nachfolgend wird ein Überblick über wesentliche Aufgaben im Rahmen der Projektabwicklung gegeben:

- Während der Fertigung und Lieferung der Anlagenkomponenten konzentrieren sich die fachlichen Arbeiten im Projekt im Wesentlichen auf die Aktivitäten der Lieferfirmen. Doch gerade in dieser Phase sollte der Bauherr beziehungsweise der beauftragte Planer Projektmanagement-Aufgaben zur Sicherstellung eines terminlich, fachlich und kostenseitig zufriedenstellenden weiteren Realisierungsverlaufes wahrnehmen.
- Für die Durchführung der Montage sind die Konstruktions- und Montagezeichnungen sowie die technischen Anweisungen der für die Durchführung verantwortlichen Firma maßgebend. Die Montageplanung umfasst vonseiten des Projektmanagements insbesondere die Erarbeitung aller erforderlichen Planungsunterlagen sowie die Termin- und die Personaleinsatzplanung für weitere durchzuführende Arbeiten (z. B. Einrichtung der Baustelle, Erd- und Bauarbeiten).
- Die Einarbeitung des zukünftigen Betriebspersonals sollte zeitlich parallel zur Montage beginnen. Sinnvoll ist häufig deren Mitwirkung bei den Montagearbeiten, damit diese mit der Anlage vertraut werden. Die eigentlichen Betriebspersonalschulungen erfolgen während der Inbetriebnahme und dem Probebetrieb und erfordern meist die Unterstützung der Lieferfirmen.
- Nach Beendigung der Montage erfolgt die Inbetriebnahme der Anlage, die die Zeitspanne vom Beginn der Systemprüfungen bis zum Beginn des Probebetriebes umfasst. Voraussetzung für die Inbetriebnahme ist die Vollständigkeit und Betriebsbereitschaft der montierten Anlagenkomponenten und deren sicherheitstechnisch einwandfreier Zustand.
- Der Probebetrieb erfolgt nach beendeter Inbetriebnahme und dient dem Nachweis des ordnungsgemäßen Betriebs der Gesamtanlage.
- Am Ende des Probebetriebs bzw. möglichst kurzfristig nach Probebetriebsende werden die Abnahmemessungen durchgeführt, an die sich der reguläre Betrieb anschließt, der durch das Abnahmeprotokoll dokumentiert wird.

Ergebnis der Projektphase

Nach erfolgter Abnahme und Übernahme wird der reguläre Anlagenbetrieb unter Verantwortung des Eigentümers bzw. Betreibers aufgenommen.

5.2.6 Betrieb der Bioenergieanlage

Der Betrieb der Bioenergieanlage erfordert neben der Sicherstellung der Biomasseversorgung und Vermarktung der erzeugten Energie auch die Wartung und Instandhaltung der Anlage.

Wesentliche Bestandteile der Projektphase

Insbesondere folgende Aufgaben sind durch den Eigentümer/Betreiber bzw. Anlagenbetriebsführer während der Lebensdauer der Bioenergieanlage zu erfüllen. Je nach Aufgabe sind diese Tätigkeiten täglich, wöchentlich oder monatlich zu verrichten. Auch können verschiedene Tätigkeiten (z. B. Aktualisierung bzw. Neugestaltung von Verträgen) in jährlichen Abständen erfolgen.

- **Kontrollen und Messungen.** Zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen, emissionsarmen und sicheren Anlagenbetriebs sind regelmäßige Messungen und Kontrollen an der Bioenergieanlage vorzunehmen. Vor allem bei Biogasanlagen erfordert die kontinuierliche bzw. regelmäßige Überwachung der Prozessbiologie einen entsprechenden personellen und zeitlichen Einsatz.
- **Instandhaltung und Wartung.** Diese Arbeiten beziehen sich insbesondere auf die Bioenergieanlage und die jeweiligen Anlagenkomponenten, können aber auch das (Wärme-)Verteilnetz mit berücksichtigen. Zeitbedarf und Häufigkeit der Maßnahmen sind abhängig von Anlagentyp

und -größe. Sie können auch an entsprechende Dienstleister übertragen werden bzw. es können entsprechende Teil- und Vollwartungsverträge abgeschlossen werden.
- **Verträge.** Wurden im Rahmen des Projektes Verträge beispielsweise mit Landwirten zur Biomassebereitstellung ausgearbeitet und/oder liegen Wärmelieferverträge vor, so sind diese in Hinblick auf ihre Laufzeit zu prüfen und ggf. neue Ausformulierungen vorzunehmen, um die erforderliche Bereitstellung der Biomasse, aber auch den Verkauf der erzeugten Energie (und ggf. von Reststoffen wie z. B. der anfallenden Aschen bei Heiz(kraft)werken) sicher zu stellen.

Ergebnis der Projektphase
Die oben beschriebenen Maßnahmen tragen zu einem erfolgreichen Betrieb der Bioenergieanlage über ihre Lebenszeit bei.

5.3 Projektbeteiligte und Projektstrukturen

An der Entwicklung, Realisierung und dem Betrieb von z. B. Biogasanlagen, Heiz(kraft)werken oder Biomasse-Nahwärmenetzen sind verschiedenste Einzelpersonen, Gruppen bzw. Institutionen beteiligt. Die spezifischen Aufgaben der Projektbeteiligten sowie ihr Beziehungsgeflecht untereinander bedingen die Struktur des Bioenergieprojektes.

Die Projektstruktur wird – neben strukturellen Vorgaben aufgrund der Entscheidung für spezifische Betreibermodelle oder Finanzierungsoptionen (z. B. Contracting, siehe Kapitel 5.5.1.3) – unter anderem durch die Art der zu errichtenden Bioenergieanlage bestimmt. Dabei ist weniger die Anlagengröße als vielmehr die organisatorische Komplexität des Vorhabens entscheidend. So besitzt eine Biomasseheizwerk großer Leistung, in der ein holzverarbeitender Betrieb die betriebseigenen Resthölzer zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs nutzt, eine sehr einfache Projektstruktur. Dagegen weisen ein Heiz(kraft)werk oder eine Biogasanlage zur Nahwärmeversorgung oder eine geplantes Bioenergiedorf u. U. eine hohe Anzahl an Projektbeteiligten und damit eine aufwendige Projektstruktur auf (mehrere Biomasselieferanten und Wärmeabnehmer), woraus ein hoher Aufwand zur Klärung aller organisatorischen Fragen resultiert.

Im Anschluss an eine Kurzbeschreibung wesentlicher Projektbeteiligter (Kapitel 5.3.1) folgt die Darstellung der für Bioenergieanlagen typischen Projektstruktur (Kapitel 5.3.2).

5.3.1 Projektbeteiligte

An Bioenergieprojekten sind im Wesentlichen folgende Akteure beteiligt:
- Biomasselieferanten,
- Betreiber/Eigentümer der Bioenergieanlage,
- Anlagenbetriebsführer,
- Energieabnehmer (Wärme-, Kälte- und/oder Stromabnehmer, Kraftstoffabnehmer),
- Finanzierungspartner und Fördermittelgeber,
- Genehmigungsbehörde,
- Planer,
- Nachbarschaft/Bevölkerung,
- Anlagenlieferanten.

Diese Gruppen können sich jeweils aus verschiedenen Institutionen zusammensetzen. Bei Anlagen größerer Leistung handelt es sich bei vielen dieser Gruppen um eine juristische Person in Form einer Gesellschaft, der mehrere Institutionen angehören (z. B. Erzeugergemeinschaft, in der verschiedene Biomasselieferanten zusammengeschlossen sind). Auch kann eine Institution in mehreren Gruppen vertreten sein. Dies ist beispielsweise bei Vorhaben zutreffend, bei denen die Erzeugungsanlage durch den Energieabnehmer selbst errichtet und betrieben wird.

Neben den oben genannten Gruppen können im individuellen Fall auch weitere Partner für ein Vorhaben von Bedeutung sein. So gehen erste Impulse für Bioenergieprojekte oft auf politische Anstöße zurück oder sie beruhen auf lokalen Initiativen wie etwa Klimaschutzbündnissen. Oft sind diese Partner nicht nur initiierend tätig, sondern wirken insbesondere bei den ersten Schritten der Entwicklung unterstützend mit.

Biomasselieferanten
Aufgrund der Verschiedenartigkeit der für energetische Zwecke nutzbaren Biomassen ist die Herkunft der Biomasse und damit auch das Spektrum der möglichen Biomasselieferanten vielfältig. Als Anbieter/Lieferanten von Biomasse kommen für holz- und halmgutbefeuerte Anlagen und Biogasanlagen insbesondere die in Tabelle 5.2 aufgelisteten Personen bzw. Institutionen in Frage.

Je nach Anlagentechnik werden unterschiedliche Anforderungen an die Qualität der Biomasse und damit auch an ihre Aufbereitung gestellt. Beispielsweise sind Holzbrennstoffe und Halmgüter, die in Feuerungsanlagen eingesetzt werden sollen, z. B. durch Häckseln bei Hölzern oder Pressen bzw. Pelletieren im Falle von Halmgütern zunächst zu einem einsatzfähigen Brennstoff aufzubereiten. Die Energiepflanzen, die in die Biogasanlagen eingebracht werden, wie z. B. Mais oder Ackergräser, müssen siliert werden. Falls nicht auf Angebote von Logistikunternehmen etc. – die die gewünschte Art und Menge an Biomasse bereitstellen – zurückgegriffen wird, sind die potenziellen Biomasselieferanten möglichst frühzeitig in die Projektentwicklung einzubeziehen, um Substrat und Anlagentechnik optimal aufeinander abstimmen zu können. Dies kann z. B. durch die gezielte Bildung von sogenannten Bioenergiepartnerschaften, d. h. von langfristigen und vertrauensbasierten Kooperationen zwischen z. B. Landwirten/Waldbauern und Kommunen bzw. Stadtwerken erfolgen [DLG, 2011].

Betreiber/Eigentümer der Bioenergieanlage
Der Betreiber bzw. Eigentümer einer Bioenergieanlage ist eine juristische oder natürliche Person oder Gesellschaft, die im Besitz der Anlage ist. Der Eigentümer ist für
- die Finanzierung und den Bau der Anlage und
- den Betrieb der Anlage einschließlich Sicherstellung der Biomasseversorgung und Verkauf der erzeugten Energien

zuständig. Die oben aufgeführten Leistungen werden in den meisten Fällen durch den Eigentümer selbst erbracht, können jedoch teilweise auch durch den Abschluss entsprechender Verträge an Dritte vergeben werden.

TAB. 5.2: WESENTL. GRUPPEN AN BIOMASSELIEFERANTEN FÜR HOLZ- U. HALMGUTBEFEUERTE FEUERUNGS- U. BIOGASANLAGEN

(für Energiepflanzen bei Biogasanlagen vgl. auch [FNR, 2012])

Biomasselieferanten	Feuerungsanlagen	Biogasanlagen
Landwirtschaftliche Betriebe (Eigenversorgung des Landwirts bzw. Lieferung durch andere Landwirte)	Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion wie z. B. Stroh Gezielt angebaute Energiepflanzen wie z. B. Kurzumtriebsplantagenholz, Miscanthus	Gülle, Festmist Gezielt angebaute Energiepflanzen (z. B. Mais oder Ackergräser)
Staatliche und kommunale Forstbetriebe und forstliche bzw. waldbauliche Zusammenschlüsse (u. a. Privatwaldbesitzer)	Durchforstungs- oder Waldrestholz	
Kommunen	Holzartiges Material aus der Landschaftspflege, Straßenpflege, Gewässerpflege, kommunale Baum- und Heckenpflege	Bioabfälle (z. B. Biotonne); Grasschnitt aus der Pflege von Naturschutzflächen oder Landschaftspflegeflächen, kommunale Grünflächenpflege
Straßenmeistereien	Biomasse aus der Baum- und Heckenpflege	
Holzbe- und -verarbeitende Industrie	Resthölzer, aufbereitete Holzbrennstoffe wie Pellets oder Briketts	
Recyclingbetriebe	Abfall- und Reststoffe sowie Altholz	
Lebensmittelverarbeitende Industrie, Gastronomie etc.		Speisereste, überlagerte Lebensmittel, biogene Abfälle
Holzhandel, Forstunternehmen, Logistikunternehmen	Waldrestholz, Holz aus der holzverarbeitenden Industrie	Biogene Abfälle und Reststoffe

Anlagenbetriebsführer

Die Betriebsführung einer Bioenergieanlage kann durch den Eigentümer selbst (siehe oben) oder durch dritte Institutionen wie Betreibergesellschaften oder Energieversorgungsunternehmen erfolgen. Der Betriebsführer ist für den ordnungsgemäßen Betrieb einschließlich der Wartung der Anlage und häufig für die Vermarktung der erzeugten Energie verantwortlich. Zumeist erfolgt durch ihn auch die Betriebsführung der zur Wärmeverteilung erforderlichen Netze. Personal wird sowohl zur kaufmännischen als auch zur technischen Betriebsführung der Anlage benötigt.

Die Betriebsführung in Eigenregie erfolgt vorwiegend bei Betreibern, die über ausreichendes und entsprechend qualifiziertes Personal verfügen. Insbesondere Industriebetriebe ziehen dies der Vergabe an Dritte vor, da häufig die betrieblichen Prozesse die Anforderungen an die Betriebsführung bestimmen.

Die Einschaltung eines Dritten zur Betriebsführung der Anlage kommt dagegen für die Fälle in Betracht, bei denen der Anlagenbetrieb gegenüber der Ausgangssituation einen hohen zusätzlichen organisatorischen Aufwand erfordert (zusätzliches Personal mit bislang nicht benötigter Qualifikation, aufwendige Abdeckung des Bereitschaftsdienstes) oder falls – wie bei den Projektgesellschaften unter Einbeziehung privater Investoren – kein Geschäftsinteresse an der Betriebsführung besteht.

Auch in sonstigen Fällen empfiehlt sich für den Betreiber zu prüfen, ob eine Auslagerung der Betriebsführung Kostenvorteile aufweist, z. B. an eine Gesellschaft, die Synergieeffekte durch die gemeinsame Betriebsführung mehrerer Anlagen nutzen kann. Denkbar ist auch eine Teilauslagerung, etwa in der Form, dass Fremdunternehmer zur Absicherung des Bereitschaftsdienstes herangezogen werden, während die Betreuung der Anlage in Eigenregie erfolgt.

Energieabnehmer

Die Energieabnehmer können in Wärme-, Kälte- und in Stromabnehmer sowie ggf. in Abnehmer für Biokraftstoffe unterschieden werden. Weiterhin kann bei Biogasanlagen, soweit eine Aufbereitung auf z. B. Erdgasqualität bzw. Biomethan stattfindet, auch Gas an entsprechende Abnehmer bereitgestellt werden.

Als Wärmeabnehmer beispielsweise kommen private Haushalte, Baugesellschaften oder Genossenschaften, öffentliche Einrichtungen, Gewerbe- bzw. Industriebetriebe, Handelsunternehmen usw. in Betracht, die meist einen Heizenergie- und Brauchwarmwasserbedarf, seltener einen Prozesswärmebedarf aufweisen. Die Abnehmer erwarten eine sichere und kostengünstige Energieversorgung, wobei hier der Maßstab in der Regel die „Anlegbarkeit“ ist, also die entstehenden Kosten bei einer Versorgung auf Basis fossiler Brennstoffe vergleichend herangezogen werden. Nicht selten werden mehrere Wärmeabnehmer benötigt, um eine Anlage sinnvoll auszulasten. Dies führt zum Aufbau von Nahwärme- oder Fernwärmenetzen und erfordert zwangsläufig den Abschluss mehrerer Wärme-Lieferverträge. Dies ist beispielsweise auch im Rahmen der Etablierung von Bioenergiedörfern von Bedeutung.

Die Versorgung mit Kälte kann von Interesse sein, wenn entsprechende Abnehmer wie z. B. Gewerbebetriebe, Bürogebäude etc. vorhanden sind.

Mit Inkrafttreten des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 hat die Stromerzeugung aus Biomasse stark an Bedeutung gewonnen [BMU, 2011b]. In Anbetracht der im EEG geregelten Abnahmeverpflichtungen und Vergütungssätze für den aus Biomasse erzeugten Strom steht die Netzeinspeisung im Mittelpunkt des Interesses. Speziell für Biogasanlagen besteht auch die Möglichkeit, das erzeugte Gas auf Erdgasqualität

aufzubereiten und ins Erdgasnetz einzuspeisen. Die EEG-Novelle 2012 bietet die Möglichkeit zur Vermarktung des erzeugten Stromes aufgrund von Markt- und Flexibilisierungsprämien. In diesem Zusammenhang ist auch die ab dem Jahr 2014 vorgesehene Vermarktungspflicht für Strom aus z. B. Biogas-Neuanlagen größer als 750 kW nennen.

Speziell für Biokraftstoffe ist auf die Beimischungspflicht und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung hinzuweisen. Aus der Beimischungspflicht resultiert, dass Biokraftstoffe zu vorgegebenen Anteilen (bzw. mit vorgegebenen Beiträgen zur Treibhausgasreduktion) den fossilen Kraftstoffen Diesel und Benzin beigemischt werden müssen. Aus der Nachhaltigkeitsverordnung resultiert, dass Mindeststandards z. B. in Bezug auf die Höhe an Treibhausgasemissionen bei der Bereitstellung der Biokraftstoffe eingehalten werden müssen (vgl. Kapitel 4.2.1).

Finanzierungspartner und Förderinstitutionen
Unter der Finanzierung wird hier die Erstfinanzierung z. B. der biomassebefeuerten Anlagen bzw. der Biogasanlagen inklusive des evtl. erforderlichen Wärmenetzes oder der Anlagen zur Aufbereitung des erzeugten Gases auf Erdgasqualität verstanden. Als Finanzierungspartner kommen verschiedene Institutionen in Betracht. Eine detaillierte Beschreibung der möglichen Finanzierungsformen und -partner ist Kapitel 5.5.1 zu entnehmen. Neben Fragen der Finanzierung spielt nach wie vor die Förderung von Bioenergieprojekten eine wichtige Rolle. Förderprogramme zur Unterstützung von Investitionsvorhaben bestehen u. a. auf Ebene des Bundes und der Bundesländer (vgl. Kapitel 5.5.2).

Genehmigungsbehörde
Der Bau und Betrieb von Bioenergieanlagen bedarf der bau- und umweltrechtlicher Genehmigung durch die zuständigen Behörden. Daher kommt den Behörden eine wesentliche Bedeutung bei der Realisierung eines Projektes zu. Sie sind – im Gegensatz zu den anderen Projektbeteiligten – nicht durch Vertragsbeziehungen mit den anderen Projektbeteiligten verbunden. Da sie aber über das Genehmigungsverfahren Einfluss auf den Projektverlauf nehmen, ist eine frühzeitige Einbindung der zuständigen Behörden empfehlenswert. Das gilt insbesondere für solche Anlagen, die einem vereinfachten oder förmlichen Genehmigungsverfahren nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz unterliegen (vgl. auch Kapitel 5.2.3).

Planer
Besonders im Fall größerer und komplexerer Vorhaben wird empfohlen, einen technischen Planer zur Realisierung einer Bioenergieanlage hinzuzuziehen. Neben den klassischen Aufgaben (Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung, Ausschreibung und Vergabe sowie Koordinierung einzelner Lieferanten einschließlich Qualitätskontrolle) kann dieser weitere Leistungen wie die Projektbewertung und -entwicklung, die Fördermittelakquisition etc. übernehmen. Je nach Projektgröße sollte der Planer über Experten der verschiedenen Fachrichtungen wie Maschinen- und Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Leittechnik und Bautechnik verfügen.

Im mittleren und großen Leistungsbereich gehen immer mehr Anlagenlieferanten dazu über, Komplettlösungen anzubieten, die auch die notwendigen Planungsschritte umfassen. Aus Sicht des Kunden bieten diese Lösungen aus einer Hand gewisse Vorteile, auch finanzieller Art. Allerdings sollte beachtet werden, dass gerade Bioenergieprojekte oftmals sehr individuelle Lösungen erfordern, die eine entsprechende Einzelplanung nötig machen. Als Nachteil von Komplettlösungen kann sich auch erweisen, dass in der Regel nur eine eingeschränkte Wahlmöglichkeit zwischen den einzelnen Komponenten besteht. Dies kann einem optimalen Gesamtergebnis entgegen stehen. Je spezieller daher die Anforderungen des Projekts sind, umso vorteilhafter ist die Hinzuziehung eines von Lieferinteressen unabhängigen Planers.

Nachbarschaft/Öffentlichkeit
Auch Bioenergieprojekte müssen heute verstärkt mit einer kritischen Beurteilung und ggf. Vorbehalten vonseiten der Öffentlichkeit (z. B. Anwohner) rechnen. Vorbehalte und Bedenken, die der Realisierung von z. B. Holzfeuerungsanlagen oder Biogasanlagen entgegengebracht werden, beziehen sich u. a. auf lokale Schadstoffemissionen (z. B. Staubemissionen bei Holzfeuerungen), Geruchsemissionen (z. B. beim Betrieb von Biogasanlagen), erhöhte Verkehrsbelastung (v. a. durch Biomasseanlieferung) und Auswirkungen auf das Landschaftsbild (z. B. „Vermaisung“ der Landschaft infolge eines vermehrten Maisanbaus für Biogasanlagen). Eine wesentliche Aufgabe ist es daher, durch zielgerichtete Maßnahmen frühzeitig einen Beitrag zur Informationsbereitstellung und zur Förderung der Akzeptanz zu leisten (vgl. Kapitel 5.6).

Anlagenlieferanten
An der Errichtung einer Anlage sind in der Regel (entsprechend den Hauptkomponenten) mehrere Firmen beteiligt, die die einzelnen Anlagenteile nach den Vorgaben des Planers liefern, montieren und in Betrieb setzen. Alternativ kann die Errichtung der gesamten Anlage auch einem Generalunternehmer übertragen werden. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, Schnittstellen zu definieren, vermindert jedoch den Einfluss des Kunden auf die Gestaltung der Anlage.

Aufgrund des hohen Einflusses der Investitionskosten auf die Wirtschaftlichkeit einer Bioenergieanlage kommt der Wahl der „richtigen“ Anlagenlieferanten mittels einer sorgfältigen Ausschreibung eine wesentliche Bedeutung für die Realisierung und den Betrieb zu. Da sich aufgrund des wachsenden Marktes für Bioenergie die Zahl der Anbieter in den vergangenen Jahren weiter erhöht hat und in Teilen bereits weitgehend standardisierte Anlagen(komponenten) verfügbar sind, können Markteffekte wirkungsvoll mobilisiert werden.

5.3.2 Projektstrukturen

Abbildung 5.5 gibt einen Überblick über typische (vertragliche) Beziehungen zwischen den Projektbeteiligten und damit über die Projektstrukturen in der Entwicklungs- und Realisierungsphase sowie in der Betriebsphase eines Bioenergieprojektes.

Projektstruktur in der Entwicklungs- und Realisierungsphase
Die meisten der oben genannten Projektbeteiligten sind – gerade bei umfangreichen Bioenergievorhaben – schon während der Entwicklungs- und Realisierungsphase in das Vorhaben mit einzubeziehen (vgl. Abb. 5.5). Neben den mit der

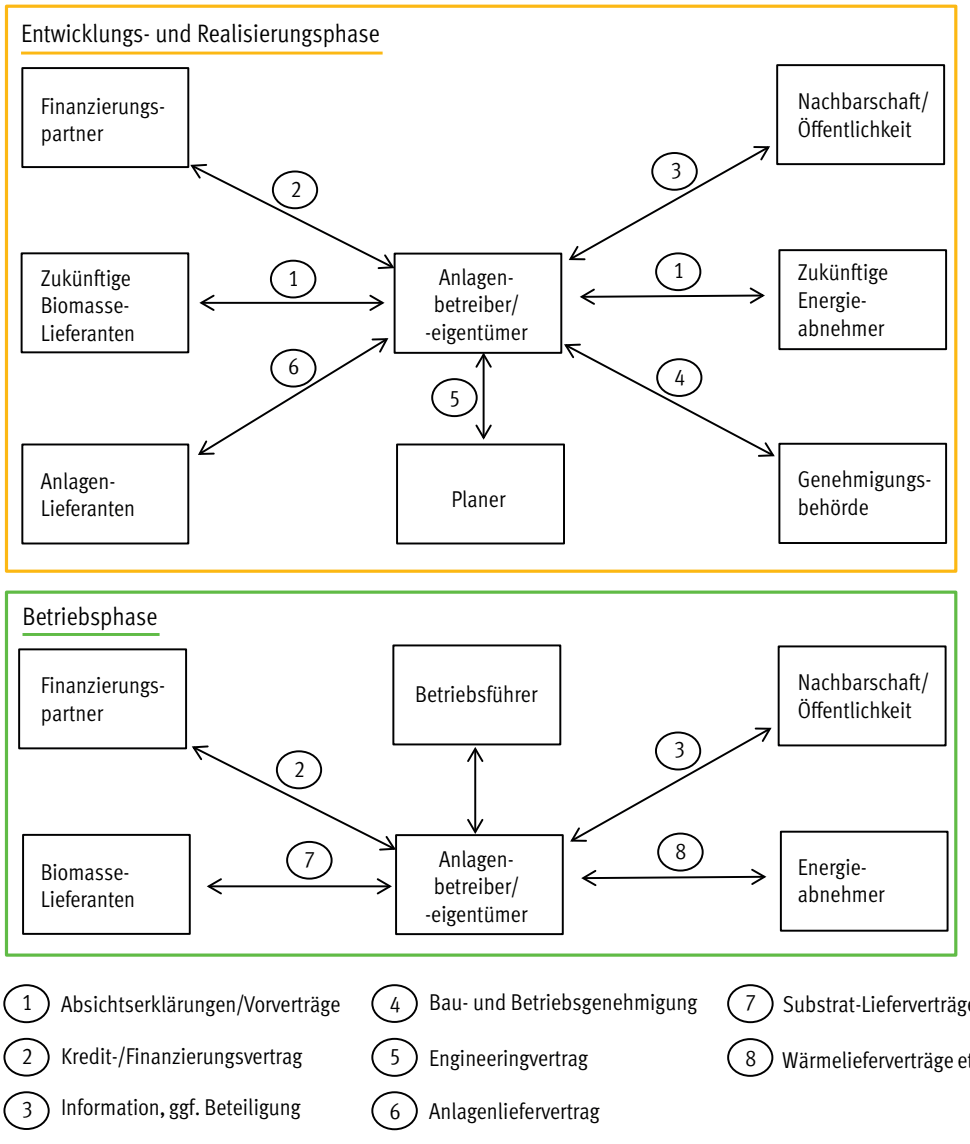
Ausführung und dem Bau der Anlage beschäftigten Partnern sollten die zukünftigen Biomasselieferanten und Energieabnehmer in Form von Absichtserklärungen bzw. Vorverträgen eingebunden werden.

Dem zukünftigen Anlagenbetreiber/-eigentümer kommt die zentrale Rolle in einem Vorhaben zu (vgl. Abb. 5.5). Im Regelfall ist der Betreiber auch der eigentliche Initiator eines Projektes. In Deutschland gehen jedoch häufig Anstöße beziehungsweise erste Überlegungen zur Errichtung von Bioenergieanlagen z. B. von den Kommunen oder von an der Substratlieferung interessierten Landwirten aus. In solchen Fällen ist als erster Schritt im Rahmen einer ersten Projektbeurteilung zur Abschätzung der Realisierungschancen des Vorhabens eine sogenannte „Projektentwicklung“ zur Miteinbeziehung entsprechender Partner für Finanzierung und Bau erforderlich. Auf dieser Grundlage können geeignete Betreibermodelle entworfen sowie Gespräche mit Institutionen, die für die Rolle des Anlagenbetreibers in Frage kommen, geführt werden. Für diese Phase der Projektentwicklung empfiehlt sich ein Zusammenschluss der Projektinitiatoren in Form eines Projektgremiums unter straffer Leitung, um die Aktivitäten zu bündeln und zu koordinieren.

Projektstruktur in der Betriebsphase

Die in der Betriebsphase typischerweise eingebundenen Projektbeteiligten und deren Beziehungsgeflecht zeigt ebenfalls Abbildung 5.5. Hier zeigt sich quasi der „Endzustand“, dessen Etablierung naturgemäß während, teilweise sogar zu Beginn der Realisierungsphase erfolgt.

TYPISCHE PROJEKTSTRUKTUREN IN DER ENTWICKLUNGS- UND REALISIERUNGSPHASE SOWIE IN DER BETRIEBSPHASE



Quelle: [IER, 2012]; in Anlehnung an [Fichtner, 2000]

© FNR 2013

Abb. 5.5: Typische Projektstrukturen in der Entwicklungs- und Realisierungsphase sowie in der Betriebsphase

Bei den Projektbeteiligten muss es sich nicht in allen Fällen um verschiedene juristische Personen handeln. Nutzt beispielsweise ein Landwirt, ein Waldbauer oder ein holzverarbeitender Betrieb die bei ihm anfallenden Nebenprodukte (Stroh, Resthölzer bzw. Gülle, Maissilage) zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs, so sind oft keine vertraglichen Beziehungen zu weiteren Partnern erforderlich. Bei der Realisierung von Gemeinschaftslösungen mehrerer Projektbeteiligter, wie z. B. bei der Gründung einer Betreibergesellschaft unter Einbeziehung der Biomasse-Lieferanten, werden die notwendigen vertraglichen Vereinbarungen im Innenverhältnis dieser Gesellschaft geregelt.

5.4 Biomassebereitstellung, Betreibermodelle und Rechtsformen

Die Bereitstellung der Biomasse bzw. des Brennstoffes oder Substrates frei Heiz(kraft)werk, Biogasanlage oder Anlage zur Kraftstoffherstellung ist essenziell und kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. Auch können unterschiedliche Akteure in die Bereitstellung und Aufbereitung der Biomasse einbezogen werden. Daher kommt der Organisation der Biomasseversorgung eine wichtige Rolle für ein erfolgreiches Bioenergieprojekt zu.

Auch in Hinblick auf den Betrieb der Bioenergieanlage stehen unterschiedliche Optionen zur Verfügung, die den Betrieb der Anlage ausschließlich durch den Eigentümer bis hin zu Lösungen unter Einbezug Dritter umfassen. Nachfolgend wird daher zunächst ein Überblick über Organisationsformen bei der Biomassebereitstellung (Kapitel 5.4.1) sowie verschiedene Betreibermodelle gegeben (Kapitel 5.4.2), um dann die gebräuchlichsten Rechtsformen für Bioenergieprojekte vorzustellen (Kapitel 5.4.3).

5.4.1 Biomassebereitstellung

Substrate für die Biokraftstoffherstellung, wie z. B. Raps, werden von Landwirten produziert und meist direkt an der Anlage zur Kraftstoffherstellung bereit gestellt.

Biogassubstrate, wie z. B. Gülle und Mais, werden momentan v. a. vom Betreiber der Biogasanlage, d. h. dem Landwirt selbst, bereitgestellt. Sie können aber auch beispielsweise durch Landwirte und weitere Anbieter (vgl. Bioabfall) aus der näheren Umgebung bezogen und angeliefert werden.

Auch für Holzbrennstoffe, die z. B. in Heiz(kraft)werken eingesetzt werden, existieren momentan vorwiegend lokale und regionale Märkte. Dies ist u. a. der Tatsache geschuldet, dass diese Biomassen nur eingeschränkt über größere Entfernungen wirtschaftlich transportiert werden können.

Eine Ausnahme stellen insbesondere Pellets als industriell gefertigte und standardisierte Holzbrennstoffe dar. Ihr Vorteil ist die sehr gute Umschlags-, Lager- und Transportfähigkeit. Aufgrund festgelegter Brennstoffeigenschaften konnte hier bereits ein bundesweit einheitlicher (und sogar europäischer) Markt aufgebaut werden. Aber auch für Holzhackschnitzel existieren seit 2011 europäische Anforderungsnormen (DIN EN 14961-4), die vier Qualitätsklassen für Holzhackschnitzel unterscheiden, sodass auch hier eine wichtiger Grundstein für eine verstärkte Marktbildung auf überregionaler, ggf. sogar internationaler Ebene gelegt ist.

Letztlich zeigt die aktuelle Praxis eine Vielfalt an realisierten Bereitstellungskonzepten. Abbildung 5.6 gibt eine schematische Übersicht, indem die Vielfalt an möglichen Bereitstellungskonzepten vier typischen Gruppen zugeordnet wird. Dabei ist zu beachten, dass eine klare Abgrenzung z. T. schwierig ist. Weiterhin kann der Anlagenbetreiber natürlich verschiedene mögliche Bereitstellungskonzepte bzw. Lieferanten gleichzeitig nutzen. Nachfolgend werden die vier Gruppen näher erläutert.

Eigenerzeugung und -bereitstellung

Ausgangspunkt für Bioenergieprojekte ist häufig die Verfügbarkeit eigener Biomassesubstrate, die energetisch verwertet werden können. Dies trifft insbesondere auf landwirtschaftliche Biogasanlagen zu. Einen Großteil der eingesetzten Substrate stellen häufig Gülle bzw. Festmist aus eigener Tierhaltung dar. Auch werden Energiepflanzen für Biogasanlagen (v. a. Mais) auf eigenen landwirtschaftlichen Flächen angebaut, geerntet und siliert. Der Landwirt hat die für Anbau und Ernte erforderlichen Maschinen meist selbst zur Verfügung und er kann die Gülle, den Festmist bzw. die Silage entsprechend lagern.

Direktbezug vom Produzenten

Der Anlagenbetreiber bezieht die Biomasse direkt vom Produzenten (z. B. Landwirt, Waldbauer) bzw. einer Produzentengruppe (z. B. landwirtschaftlicher Zusammenschluss oder forstlicher Zusammenschluss wie z. B. Forstbetriebsgemeinschaft oder Waldbesitzervereinigung). Beispiele hierfür sind die Bereitstellung von Maissilage für eine Biogasanlage durch benachbarte Landwirte bzw. die Bereitstellung von Holzhackschnitzeln für ein Heizwerk durch eine Forstbetriebsgemeinschaft. Für den Anlagenbetreiber kann dieses Konzept sinnvoll sein, wenn Produzenten aus der Region die Biomasse bereitstellen können und entsprechende Erfahrungen mit der Bereitstellungslogistik haben.

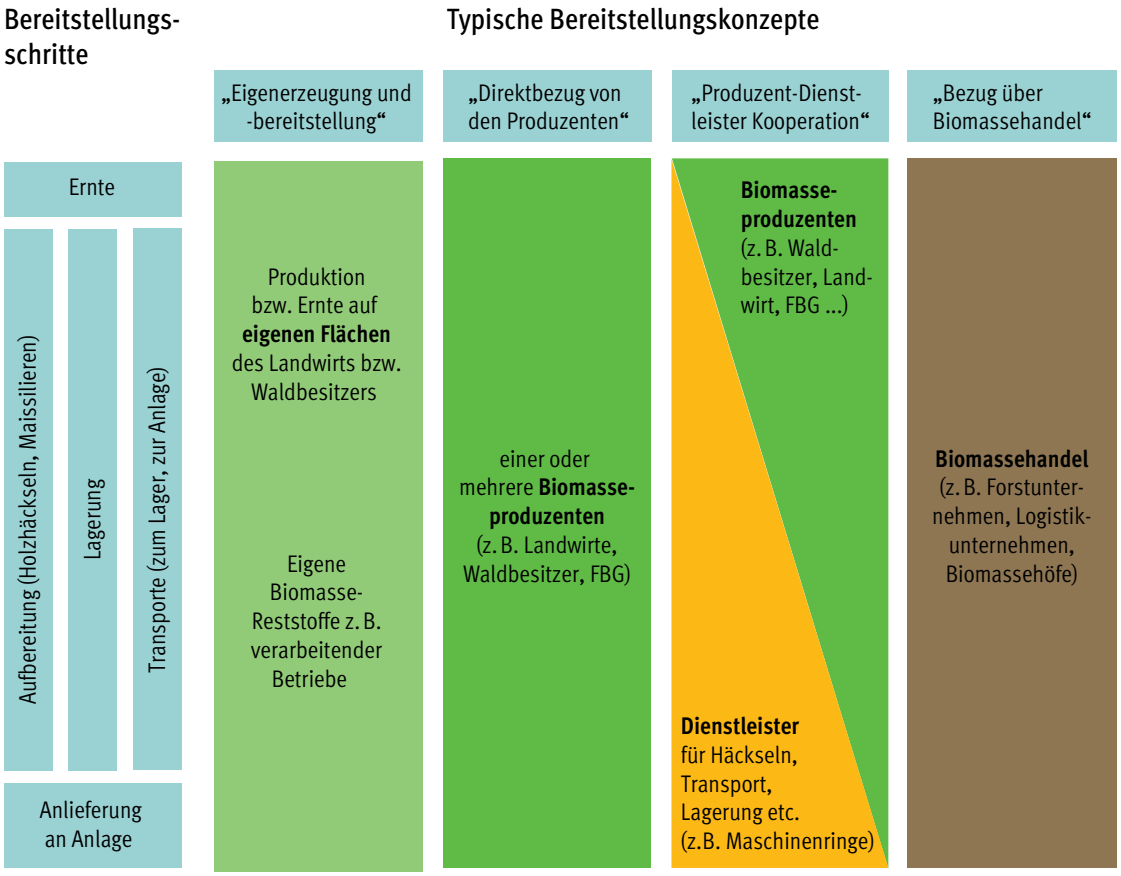
Der Biomasseproduzent bzw. die Produzentengruppe übernimmt alle Tätigkeiten von der Ernte der Biomasse (Mais, Holz) über dessen Aufbereitung (Silieren, Hacken), ggf. Lagerung bis hin zur bedarfs- und qualitätsgerechten Anlieferung an die Biogasanlage bzw. die Feuerungsanlage. Voraussetzung ist, dass der Biomasseproduzent die erforderlichen Geräte und Maschinen verfügbar hat bzw. es ist zu klären, ob und in welchem Umfang der Anlagenbetreiber selbst noch eine Aufbereitung der Biomasse vornehmen muss.

Der Anlagenbetreiber hat den Vorteil klarer, wenig komplexer Strukturen (bei Produzentengruppe ggf. einen festen Ansprechpartner bestimmen). Auch kann es von Vorteil sein, die Produzenten in das Betreibermodell mit einzubinden, um die langfristige Biomassebereitstellung sicher zu stellen.

Bezug über Produzenten-Dienstleister-„Kooperation/ Arbeitsgemeinschaft“

Der Anlagenbetreiber bezieht die Biomasse nicht direkt vom Produzenten. Dennoch kann dieser in das Betreibermodell des Bioenergieprojektes bzw. in Teilschritte der Biomassebereitstellung eingebunden sein oder die Organisation der Biomassebereitstellung übernehmen. Als weitere Akteure kommen hier ein oder mehrere Dienstleister hinzu, die für die Durchführung der Biomassebereitstellung zuständig sind, z. B. für die Aufbereitung und/oder die Transportvorgänge und/oder die Lage-

SCHEMATISCHE ÜBERSICHT ÜBER TYPISCHE BIOMASSE-BEREITSTELLUNGSKONZEPTE



Quelle: [IER, 2013]

© FNR 2013

Abb. 5.6: Schematische Übersicht über die Bereitstellungsschritte und typische Bereitstellungskonzepte für Biomasse

rung. Dies kann erforderlich sein, wenn die Produzenten(gruppen) nicht über erforderliche Maschinen z. B. für Aufbereitung und Transport verfügen. Prinzipiell bestehen hier eine Vielzahl an möglichen Konzepten und Ausprägungen, d. h. Anzahl an Dienstleistern, die einbezogen sind, bzw. die an bestimmten Stellen der Bereitstellungsketten aktiv sind. Daher ist es für den Anlagenbetreiber sehr wichtig, klare Zuständigkeiten, Kommunikationsstrukturen und Ansprechpartner festzulegen. Ein Beispiel hierfür ist die Bereitstellung von Waldrestholz oder von holzartigem Material aus der Pflege von z. B. Knicks oder Uferrändern, die durch Dienstleister, die mit speziellen Maschinen ausgestattet sind, übernommen werden. Letztlich können sich über derartige Kooperationen hinaus regionale Partnerschaften für die Erzeugung und den Vertrieb von Biomassen etablieren.

Zu nennen sind in diesem Zusammenhang auch Biomassehöfe, die sich in den letzten Jahren zahlreich etabliert haben. Biomassehöfe zielen auf die strukturelle und organisatorische Verbesserung der regionalen Biobrennstoffbereitstellung. Dies umfasst die Holzernte bis zum Verkauf verschiedener Holzbrennstoffsortimente definierter Qualität (u. a. auch an Kleinabnehmer). Für die Versorgungssicherheit sorgt in der Regel die Beteiligung von ortsansässigen Waldbauern. Weiterhin kann ein Biomassehof zusätzliche Dienstleistungen bereitstellen wie z. B. Energiecontracting oder Betriebsführungscontracting (nähere Informationen zu Contracting siehe Kapitel 5.5.1.3) (vgl. [Jacoby, 2010]; [Loibnegger et al., 2010]). Adressen von Biomassehöfen finden sich z. B. im Internet unter http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/biomassehoefe.html.

Bezug über Biomassehändler

Die Organisation und die Durchführung der Biomassebereitstellung erfolgen hier durch den Biomassehandel. Der Anlagenbetreiber bezieht die Biomasse unmittelbar vom Biomassehändler und hat dadurch keinen Kontakt zum Produzenten oder etwaigen (Zwischen-)Dienstleistern. Ein Vorteil sind die klaren Zuständigkeiten. Der Biomassehändler stellt Biomasse in der gewünschten Qualität und Menge zum jeweils gewünschten Termin bereit. Gerade bei einem großen Holzbrennstoffbedarf für ein Heizkraftwerk beispielsweise kann dies, was den Organisationsaufwand vonseiten des Anlagenbetreibers betrifft, von erheblichem Vorteil sein. Der Anlagenbetreiber muss in diesem Falle nicht mit einer Vielzahl an Lieferanten Kontakt aufnehmen. Tätig im Bereich des Brennstoffhandels sind z. B. Forstunternehmen, Holzhandelsunternehmen, spezialisierte Logistikunternehmen.

Zusammenfassend gesehen sollte für den Anlagenbetreiber die Planung und Organisation der Biomassebereitstellung stets auf die Sicherstellung der Versorgungssicherheit, eine ausreichende Biomassequalität und die Minimierung der direkten Biomassekosten ausgerichtet sein.

Bei der Entscheidung für ein Biomassebereitstellungskonzept und dessen Konkretisierung sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen bzw. vorab zu klären:

- Einzusetzende Biomasse (Holz, Stroh, Miscanthus bzw. Mais, Gülle bzw. Raps etc.) in Abhängigkeit der Konversionstechnik,
- Aufbereitungsform (Häckselgut, Ballen, Presslinge, Silage, etc.) und Qualitätsanforderungen (z. B. Wassergehalt) an die Biomasse gemäß Bioenergieanlage; bzgl. der Definition klarer Qualitätskriterien für Holzhackschnitzel und Pellets beispielsweise kann auf die europäischen Anforderungsnormen zurückgegriffen werden,
- vorhandene Möglichkeiten zur Biomasseaufbereitung (z. B. Hacken, Trocknen, Silieren) und Lagerung an der Bioenergieanlage,
- jährlicher Biomassebedarf und die zeitliche und saisonale Verteilung des Bedarfs,
- Biomasseanbieter in der Region und deren (logistische) Erfahrungen bzw. Konzepte,
- spezifische Transportmengen, -wege und -arten mit dem Ziel, (Straßen-)Transporte so weit wie möglich zu minimieren.

Ein Anlagenbetreiber kann gleichzeitig verschiedene der oben aufgezeigten Bereitstellungskonzepte bzw. Lieferanten/Bezugsmöglichkeiten nutzen. Für die optimierte Organisation und einen reibungslosen Ablauf der Biomassebereitstellung wird aber eine frühzeitige Festlegung der Aufgabenteilung und Verantwortlichkeiten bzw. der Schnittstellen zwischen Produzent, Dienstleister, Handel und Anlagenbetreiber sowie eine klare Festlegung der Kommunikationswege empfohlen. Eine abgesicherte Biomassebereitstellung bzw. ein vorliegendes Bereitstellungskonzept ist u. a. auch eine wichtige Voraussetzung für die Finanzierung der Bioenergieanlage durch Banken.

5.4.2 Betreibermodelle für Bioenergieanlagen

Für den Betrieb von Heiz(kraft)werken, Biogasanlagen etc. sind verschiedene Betreibermodelle möglich. Hierzu zählen insbesondere:

- Der Eigenbetrieb (durch private oder gewerbliche Nutzer, Kommune, Energieversorgungsunternehmen (EVUs) etc.) und
- Betreibermodelle unter Einbeziehung Dritter wie z. B.
  - unter Beteiligung verschiedener, an der Realisierung des Vorhabens interessierter Partner (Gemeinschaftslösung mehrerer Projektbeteiligter),
  - unter Einbezug von Finanzinvestoren,
  - Contracting-Lösungen.

Die Entscheidung für den Eigenbetrieb bzw. für eines der genannten Betreibermodelle ist häufig eng an die Form der Finanzierung des Bioenergieprojektes gebunden, sodass sich hier auch Überschneidungen ergeben (siehe Kapitel 5.5.1).

Abbildung 5.7 gibt einen generellen Überblick über die wesentlichen Eigenschaften und damit Stärken und Schwächen der genannten Betreibermodelle. Während beim Eigenbetrieb die volle Verantwortung für die Realisierung der Anlage und deren späteren Betrieb beim Eigentümer liegt, stellen sich die Betreibermodelle unter Einbeziehung Dritter differenzierter dar. Hier werden u. a. die finanziellen Belastungen, Verantwortungen und Risiken auf mehreren „Schultern", d. h. Projektbeteiligten, verteilt. Gleichzeitig wird aber auch der Einfluss des Einzelnen innerhalb des Vorhabens geringer.

Gerade bei größeren Investitionsvorhaben bietet sich – anstelle des Betriebs in Eigenregie – die Einbeziehung Dritter und die Gründung z. B. einer Betreiber- oder Projektgesellschaft an, wobei zahlreiche Varianten und Mischformen denkbar sind.

Zusammenfassend gesehen spielen bei der Entscheidung für eines der genannten Betreibermodelle verschiedene Rahmenbedingungen und Leitfragen eine Rolle, um für das geplante Vorhaben letztlich die beste, d. h. „maßgeschneiderte" Lösung zu identifizieren. Hierzu zählen u. a. (vgl. [Pfeifer, 2010], [Reif, 2010]):

- **Verfügbare Finanzmittel und Optionen zur Finanzierung**
  Reichen die finanziellen Mittel aus, um die geplante Bioenergieanlage ohne Unterstützung Dritter, d. h. in Eigenregie, erfolgreich zu realisieren und zu betreiben? Oder ist in Hinblick auf die Projektfinanzierung, d. h. Kapitalbeschaffung, die Einbeziehung Dritter erforderlich, um z. B. ausreichend Eigenkapitel bereit stellen zu können? Ist in diesem Zusammenhang evtl. auch das Contracting eine vielversprechende Option?
- **Verfügbares Know-how und personelle Ressourcen**
  Reicht das verfügbare technische, juristische etc. Know-how aus, um die geplante Bioenergieanlage ohne Unterstützung Dritter, d. h. in Eigenregie erfolgreich zu realisieren und zu betreiben? Steht ausreichend Personal für die erforderlichen Aufgaben auch während des Anlagenbetriebs zur Verfügung?
- **Übernahme/Teilung von finanziellem Risiko und Haftung**
  Wer trägt das finanzielle Risiko für den Bau und den Betrieb der Anlage und wie werden etwaige Haftungsfragen gelöst?
- **Gezielte (strategische) Einbindung von Projektbeteiligten**
  Ob und inwieweit sollen z. B. die Biomasselieferanten oder die Wärmeabnehmer in das Betreibermodell mit eingebunden werden, um eine sichere Biomassebereitstellung und Wärmeabnahme sowie entsprechende preisliche Setzungen langfristig zu gewährleisten? Kann ggf. eine Einbindung der Anwohner die Akzeptanz für die geplante Bioenergieanlage erhöhen?
- **Organisation**
  Wer ist Initiator des Vorhabens und auf wie viele Schultern, d. h. Projektbeteiligte, kann bzw. soll Verantwortung, Mitentscheidung, Mitsprache etc. verteilt werden (vgl. u. a. Einflussnahmemöglichkeiten des Einzelnen auf Gesamtkonzept, Betriebsweise etc.)?

Die Entscheidung für ein Betreibermodell steht oft in enger Verbindung zur Rechtsform des Bioenergievorhabens. Die verschiedenen Rechtsformen für den Eigenbetrieb und für Betreibermodelle unter Einbezug Dritter werden im folgenden Kapitel 5.4.3 kurz beschrieben. Bei der FNR ist zu den möglichen Rechtsformen von Bioenergieanlagen eine eigene Handreichung erhältlich [FNR, 2013f].

EIGENSCHAFTEN, STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER BETREIBERMODELLE FÜR BIOENERGIEANLAGEN

Eigenbetrieb (z. B. private, gewerbliche Nutzer, Kommune)	**Einbeziehung Dritter** • Einbezug von Projektbeteiligten/-partnern • Einbezug von Finanzinvestoren • Contracting-Lösungen
	Vielfältige Möglichkeiten, Lösungen, Ausprägungen
+ alleiniger Einfluss auf Projektplanung und Betriebsführung	+ Teilung von Aufgaben, Verantwortung, Haftung, Risiko
+ keine Absprache mit weiteren Partnern	+ Überwinden von Finanzierungshemmnissen, falls Projektinitiatoren nicht über ausreichend Eigenmittel verfügen (Finanzstärke der Partner hierfür wichtig)
± eigenes Know-how erforderlich	+ Intensive Einbindung lokaler und regionaler Akteure und Wertschöpfung (bei Einbezug der Projektbeteiligten!)
± vollständige Verantwortung	+ Nutzen von externem Know-how bis hin zu umfassender Betreuung (vgl. Contracting-Lösungen)
– alleinige Haftung	+ Reduzierung von Kosten z. B. der Betriebsführung durch Synergieeffekte beim Personaleinsatz (v. a. bei Contracting-Lösungen)
– alleinige Risikotragung	– Entsprechende Renditeerwartung muss erfüllt werden (v. a. bei Einbezug von Finanzinvestoren)
	– begrenzter Einfluss des Einzelnen auf Planung und Betriebsführung

Quelle: [Reif, 2010]; [Krisöfel, 2010]; [Achilles, 2009]

© FNR 2013

Abb. 5.7: Überblick über wesentliche Eigenschaften, Stärken (+) und Schwächen (–) der Betreibermodelle für Bioenergieanlagen

5.4.3 Rechtsformen

Für den Betrieb von Bioenergieanlagen und für Biomasse-Nahwärmeprojekte können verschiedenste Rechtsformen gewählt werden. Neben dem Eigenbetrieb der Bioenergieanlage (durch z. B. die Kommune oder den Landwirt) kann zwischen Personengesellschaften (z. B. Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR), Kommanditgesellschaft (KG)), Kapitalgesellschaften (z. B. Gesellschaft mit beschränkter Haftung, GmbH) und Mischformen (z. B. GmbH & Co. KG) unterschieden werden. Daneben stellt insbesondere für Bioenergiedörfer die Gründung von (Energie-) Genossenschaften eine vielversprechende Rechtsformwahl dar (vgl. auch [FNR, 2010] und [FNR 2013f]). Hierdurch können die Projektbeteiligten umfassend finanziell und partizipativ in das Projekt eingebunden werden (auch um den langfristigen Projekterfolg zu gewährleisten).

In den Tabellen 5.3 und 5.4 sind wesentliche Unterschiede und Besonderheiten von Einzelunternehmen, Personen- und Kapitalgesellschaften sowie Genossenschaften z. B. in Bezug auf Gesellschafter, Kapitaleinlage und Haftung dargestellt. Während beispielsweise bei einer GmbH mindestens eine oder mehrere natürliche oder juristische Personen beteiligt sein müssen, sind zur Gründung einer Genossenschaft mindestens drei Mitglieder erforderlich. Bei einer Genossenschaft wird die Höhe der Kapitaleinlage im Statut festgelegt, während bei einer GmbH eine Kapitaleinlage von mindestens 25.000 Euro erforderlich ist. Wird (als Sonderform hieraus) eine haftungsbeschränkte Unternehmergesellschaft gegründet, so reicht ein Stammkapital von 1 Euro aus. Die Haftung sowohl der Genossenschaft als auch der GmbH ist beschränkt auf das jeweilige Genossenschafts- bzw. Gesellschaftsvermögen, während im Falle der Gründung einer GbR eine unbeschränkte Haftung mit dem privaten und betrieblichen Vermögen besteht.

TAB. 5.3: RECHTSFORMEN FÜR BIOENERGIEPROJEKTE IM ÜBERBLICK, TEIL 1

			Personengesellschaften		
	Eigenbetrieb	**Einzelunternehmen**	**GbR (Gesellschaft bürgerlichen Rechts)**	**KG (Kommanditgesellschaft)**	**OHG (Offene Handelsgesellschaft)**
Gesellschafter	Kommune	z. B. Landwirt, Forstwirt	Landwirt und Mitunternehmer	Mindestens 2 Personen, von denen einer Vollhafter und einer Teilhafter ist	Mindestens zwei natürliche oder juristische Personen
Kapitaleinlage	Die Höhe ist in der Betriebssatzung festzusetzen	Kein Mindestkapital	Kein Mindestkapital	Höhe nicht vorgeschrieben	Höhe nicht vorgeschrieben
Haftung	Gesamtvermögen der Kommune	Unbeschränkt mit privatem und betrieblichem Vermögen	Unbeschränkt mit privatem und betrieblichem Vermögen	Vollhafter (Komplementär) haftet unbeschränkt, Teilhafter (Kommanditist) haftet nur in Höhe seiner Einlage; Falls GmbH als Komplementär (**GmbH & Co. KG**): Haftung nur mit Gesellschaftsvermögen	Gesamthandvermögen: alle Gesellschafter haften mit ihrem gesamten privaten Vermögen für alle Verbindlichkeiten der Gesellschaft
Rechtsfähigkeit	Nicht vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
Geschäftsführung/ Vertretung	Werkleitung, für etliche Betriebsbereiche Hauptverwaltungsbeamter und Kämmerer	Einzelunternehmer allein	Gemeinschaftliche Geschäftsführung	Zur Geschäftsführung ist ausschließlich der persönlich haftende Gesellschafter (Komplementär) berechtigt und verpflichtet. Durch vertragliche Vereinbarung kann die Geschäftsführung einem oder mehreren Kommanditisten übertragen werden	Alle Gesellschafter sind zur Geschäftsführung berechtigt und verpflichtet. Über Form (Einzel- oder Gesamtvertretung) bestimmen die Gesellschafter
Gefahren/ Besonderheiten		Unbeschränkte Haftung mit privatem und betrieblichem Vermögen	Es haftet jeder Gesellschafter mit seinem gesamten Privatvermögen	Die unbeschränkte Haftung des Vollhafters umfasst auch das Privatvermögen	Eine Beschränkung der Haftung gegenüber den Außenstehenden ist unwirksam. Hohe Kreditwürdigkeit durch persönliche Haftung
Besteuerung	Wie ein Betrieb gewerblicher Art (z. B. GmbH)	Umsatzsteuerpauschalierung; Option zur Regelbesteuerung möglich Gewerbesteuerpflicht entfällt, solange nur Einkünfte aus der Land- und Forstwirtschaft	Umsatzsteuerpauschalierung; Option zur Regelbesteuerung möglich Gewerbesteuerpflicht entfällt, solange nur Einkünfte aus der Land- und Forstwirtschaft	Wie bei OHG sind Gesellschafter einkommenssteuerpflichtig. KG ist nur für Gewerbesteuer zuständig. Keine Körperschaftssteuerpflicht	Nur die Gewerbesteuer, einkommenssteuerpflichtig sind die Gesellschafter mit ihrem Gewinnanteil

TAB. 5.4: RECHTSFORMEN FÜR BIOENERGIEPROJEKTE IM ÜBERBLICK, TEIL 2

	Kapitalgesellschaft	
	GmbH	**Genossenschaft**
Gesellschafter	Eine oder mehrere natürliche oder juristische Personen	Zur Gründung mindestens 3 Mitglieder, die den Gesellschaftsvertrag (Statut) schriftlich vereinbaren
Kapitaleinlage	Mindestens 25.000 Euro **NEU** (seit 2008): Gründung einer haftungsbeschränkten Unternehmergesellschaft (UG) mit Stammkapital von 1 Euro möglich	Höhe wird im Statut festgelegt
Haftung	GmbH mit ihrem gesamten Firmenvermögen, Haftung der Gesellschaft auf das Stammkapital beschränkt, d. h. Gesellschafter haften nur mit ihrer Einlage	Die Genossenschaft haftet uneingeschränkt mit ihrem Vermögen; Persönliche Haftung lässt sich in der Satzung auf die Einlage begrenzen (Ausschluss der Nachschusspflicht)
Rechtsfähigkeit	Juristische Person	Nach Eintragung in das Genossenschaftsregister wird die eG zur juristischen Person und somit selbstständig rechtsfähig
Geschäftsführung/ Vertretung	Wird von einem oder mehreren Geschäftsführern vertreten. Gesellschafter haben kein Vertretungsrecht. Geschäftsführer kann ein Außenstehender oder ein Gesellschafter sein	Führung der Genossenschaft durch den Vorstand. Vorstandsmitglieder können nur Genossenschaftsmitglieder werden. Generalversammlung kann dem Vorstand bindende Weisungen erteilen
Gefahren/ Besonderheiten	Bei Überschuldung und Zahlungsunfähigkeit muss ein Konkursantrag gestellt werden. Sacheinlagen zur Gründung möglich	Die Genossenschaft selbst hat keine Gewinnabsichten. Die Gewinne werden an die Genossen ausgeschüttet.
Besteuerung	Grundsätzlich Doppelbesteuerung Gewerbesteuer, einkommensteuerpflichtig und körperschaftssteuerpflichtig (25 %), da juristische Person, Milderung durch „Halbeinkünfteverfahren“	Wie GmbH

5.5 Finanzierung und Förderung

Bioenergieprojekte werden – analog zu anderen Energieerzeugungsanlagen und Investitionsgütern – grundsätzlich über Eigenmittel und/oder Fremdmittel bzw. Kredite finanziert. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes kann es jedoch empfehlenswert oder sogar erforderlich sein, zusätzlich weitere Finanzierungsquellen zu erschließen (siehe Kapitel 5.5.1).

Wesentliche Voraussetzung einer jeden Vorhabenfinanzierung ist grundsätzlich die Projektprüfung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie (siehe Kapitel 5.2.1). Die Inhalte und Ergebnisse der Machbarkeitsstudie können einen Beitrag zu den von den potenziellen Kreditgebern jeweils geforderten Unterlagen leisten. Aufgabe ist es u. a., potenzielle Kreditgeber und Investoren von der technischen Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit sowie Kreditwürdigkeit des Projektes zu überzeugen.

In Verbindung mit der Finanzierung von Bioenergieprojekten spielt auch die Förderung eine wichtige Rolle. Als wesentliche Förderoptionen werden hier das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sowie Investitionskostenzuschüsse und zinsvergünstigte Kredite verschiedener Institutionen dargestellt (siehe Kapitel 5.5.2).

5.5.1 Finanzierung

Im Wesentlichen können Eigenmittel, Kredite, Contracting, Fondsfinanzierung oder Leasing für die Finanzierung herangezogen werden. Um die benötigten Mittel für das geplante Projekt bereitzustellen, wird es sich in der Regel um eine – je nach Projekt – unterschiedliche Kombination dieser Finanzierungsinstrumente handeln. Die Finanzierungsmöglichkeiten sind dabei z. T. eng an das Betreibermodell bzw. die Rechtsform (vgl. Kapitel 5.4.2 und 5.4.3) gekoppelt, sodass sich hier durchaus Überschneidungen ergeben.

Grundsätzlich sollte bei der Erstellung eines Finanzierungsplanes frühzeitig ein Kreditinstitut und/oder ein qualifizierter Finanzberater eingebunden werden, um in einem frühen Projektstadium (z. B. gegen Ende der Machbarkeitsstudie, siehe Abb. 5.8) erste Rückmeldungen zur Finanzierbarkeit zu erhalten. Auch sollten rechtzeitig die Anforderungen der Bank in Hinblick auf bereit zu stellende Projektinformationen, Unterlagen und Sicherheiten abgeklärt werden, welche dann Grundlage für die umfassende Projektprüfung darstellen.

5.5.1.1 Eigenmittel

Die Bereitstellung bzw. die Verfügbarkeit von Eigenkapital ist in der Regel eine wesentliche Voraussetzung für eine Kreditvergabe durch die Banken. So wird normalerweise ein Mindestanteil an eigenen Mitteln in Form einer Eigenbeteiligung oder z. B. eines eigenkapitalähnlichen Darlehens vorausgesetzt, um staatliche Finanzierungshilfen oder marktübliche Bankkredite in Anspruch nehmen zu können. Zu den Eigenmitteln zählen neben Barvermögen auch Sacheinlagen in Form betriebsnotwendiger Güter und/oder Finanzmittel. Auf diesem Wege erfolgt u. a. die risikoseitige Einbindung der Projektinitiatoren in die Projektfinanzierung. Auch wird das Eigenkapital meist zur Finanzierung für die Vorlaufphase benötigt. Nach [Storm, 2010] ist die Eigenkapitalanforderung abhängig von der Gesellschafterstruktur (bestehendes Unternehmen oder neu gegründete Projektgesellschaft), der Bonität des Investors (bei Unternehmensfinanzierung), den spezifischen Investitionskosten und der Wirtschaftlichkeit des Projektes. Von den Kreditgebern werden in der Regel Eigenkapitalquoten in Höhe von 20 bis 30 % gefordert [FORESO, 2008].

Können die benötigten Eigenmittel durch den Projektinitiator nicht oder nur teilweise erbracht werden, bieten sich verschiedene alternative Wege zur Eigenmittelbereitstellung an. So kann beispielsweise bei entsprechendem Investitionsvolumen

über eine Fondsgesellschaft das notwendige Eigenkapital bereitgestellt werden (siehe unten). Eine weitere Möglichkeit, das Eigenkapital zu erhöhen, kann die Einbeziehung zusätzlicher Anteilseigner und Partner in das Vorhaben sein. Beispiele hierfür sind die GmbH & Co. KG oder die Bildung von Genossenschaften (z. B. Biomasse-Nahwärme-Genossenschaften) (vgl. z. B. [Degenhart, 2010]) (siehe auch Tabelle 5.4).

5.5.1.2 Bankkredite

Die frühzeitige Kontaktaufnahme mit einem Kreditinstitut ist wesentlich für eine erfolgreiche Finanzierung und damit auch Realisierung des Bioenergieprojektes. Die Hausbank ist die erste und entscheidende Station auf diesem Wege. Sie bietet kostenlose Beratungsgespräche an, informiert über verschiedene Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten und reicht Anträge auf Zuweisung von Finanzhilfen an die entsprechenden Institutionen (z. B. Kreditanstalt für Wiederaufbau) weiter.

Grundsätzlich kann zwischen einer Unternehmensfinanzierung und einer Projektfinanzierung unterschieden werden. Während bei der Unternehmensfinanzierung das gesamte Unternehmen des Initiators bei der Bonitätsbeurteilung, Kreditentscheidung und Besicherung mit berücksichtigt wird, ist bei der Projektfinanzierung ausschließlich das Projekt bzw. dessen Wirtschaftlichkeit Gegenstand der Beurteilungen und Entscheidungen (d. h. Orientierung am künftigen Cash-flow) (vgl. [Böttcher, 2009] und [Storm, 2010]). Im letzteren Fall tritt eine (eigens gegründete) Projektgesellschaft als Kreditnehmer auf und übernimmt damit auch die Risiken und Haftung für das Projekt. In Deutschland stellt derzeit die Projektfinanzierung die gängige Form der Finanzierung von Biomasseanlagen dar [FORESO, 2008]. Insbesondere bei Biogasanlagen kann aber auch die Unternehmensfinanzierung von Bedeutung sein.

Die Bank unterstützt die Finanzierung von Energieversorgungsanlagen in Form von Krediten. Die Gewährung eines Kredites sowie die Darlehensbedingungen – Betrag, Zinsen und Fristen – sind u. a. von der Bonität des Darlehensnehmers bzw. der Wirtschaftlichkeit der Anlage und dem Vorhandensein eines überzeugenden Anlagenkonzeptes abhängig.

Der Finanzbedarf ergibt sich aus den erforderlichen Mitteln zur Errichtung und zum Betrieb der Anlage inklusive vor- und nachgelagerter Bereiche (z. B. Biomasseaufarbeitung, Nahwärmenetze). Weiterhin sind auch entsprechende Nebenkosten (z. B. für Gutachten, Genehmigung, Notarkosten, Zwischenfinanzierungszinsen) bei der Erhebung des Kapitalbedarfs mit zu berücksichtigen. Die Gesamtkosten des Vorhabens sollten in einem Investitionsplan nach Einzelinvestitionen unterteilt (z. B. nach Baugrundstück, Maschinen) aufgelistet werden.

Zur Aufnahme von Krediten ist die Stellung ausreichender Sicherheiten unbedingt notwendig. Das Vorhandensein aus-

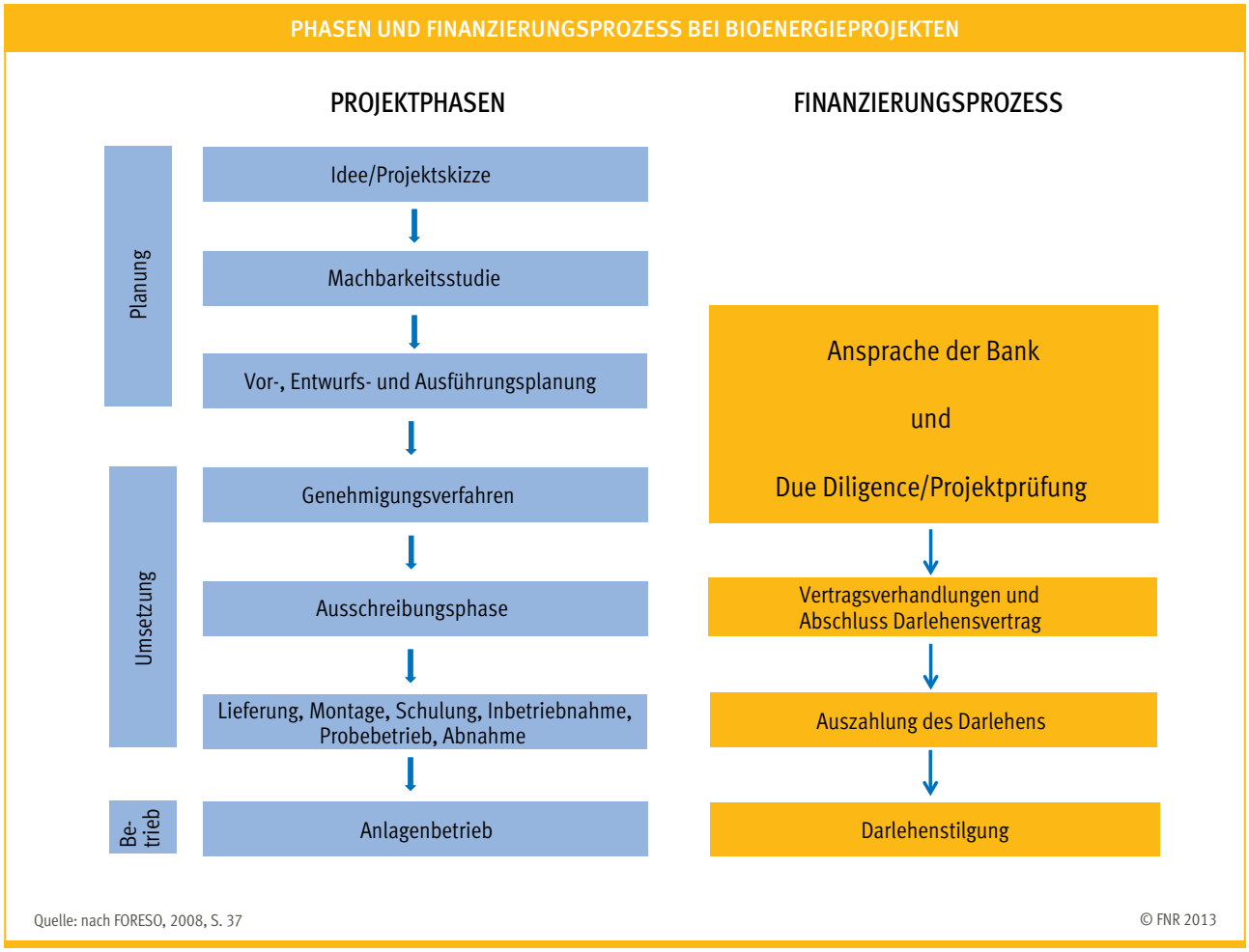


Abb. 5.8: Einordnung des Finanzierungsprozesses in die Phasen der Entwicklung und Realisierung des Bioenergieprojektes

reichender Sicherheiten ist damit ein entscheidender Bestandteil der Projektfinanzierung. Die Absicherung der Kredite kann banküblich durch z. B.

- Grundschulden,
- Sicherungsübereignungen (z. B. der kompletten Anlage oder einzelner Maschinen),
- Bürgschaften oder
- Abnahmegarantien für die erzeugten Energieprodukte Wärme und Strom

erfolgen (vgl. auch [Bruckner, Strohmeier, 2010]; [FORSEO, 2008]). Form und Umfang der banküblichen Sicherheiten werden im Rahmen der Kreditverhandlungen zwischen dem Kreditnehmer und der Hausbank vereinbart.

Falls ein Unternehmen bzw. eine Projektgesellschaft nicht über genügend Sicherheiten verfügt, um die Kreditaufnahme zu ermöglichen, können z. B. Bürgschaftsbanken oder Landesbanken herangezogen werden. Sie übernehmen gegenüber den Hausbanken die teilweise Absicherung von Krediten u. a. für Existenzgründer und mittelständische Unternehmen, soweit diese nicht über banküblichen Sicherheiten verfügen und das Unternehmenskonzept auch hier tragfähig ist. Den Großteil des Risikos aus diesen Bürgschaften tragen der Bund und Länder in Form von Rückbürgschaften. Nähere Informationen erhalten Sie beispielsweise beim Verband deutscher Bürgschaftsbanken unter http://www.vdb-info.de/ oder bei den jeweiligen Bürgschaftsbanken der Bundesländer.

5.5.1.3 Contracting

Im Falle einer Contracting-Lösung, z. B. zur Finanzierung der Wärmeversorgung kommunaler Gebäude mittels Holzfeuerungs- oder Biogasanlagen, werden Investitionen, die vom Initiator (z. B. der Kommune) selbst nicht wahrgenommen werden können, von einem Dritten (Contractor) übernommen. Das Contracting beschränkt sich dabei nicht nur auf die Investitionen in das Heizwerk oder die Biogasanlage, auch Planung, Errichtung, Betrieb und Wartung können durch den Contractor übernommen werden. Der Contractornehmer zahlt dann für die erbrachte Energiedienstleistung (z. B. Wärmebereitstellung). Je nach Art und Umfang der angebotenen Dienstleistungen existieren verschiedene Contracting-Modelle (vgl. auch DIN-Norm 8930 Teil 5 „Contracting"); diese stehen letztlich auch immer für ein bestimmtes Betreibermodell:

- Energieliefer-Contracting,
- Einspar-Contracting,
- Technisches Anlagenmanagement,
- Finanzierungs-Contracting.

Tabelle 5.5 gibt einen Überblick über die vier Contracting-Modelle, den Leistungsumfang des Contractors sowie die Vergütung.

Beim **Energieliefer-Contracting** (z. T. auch als Anlagen-Contracting bezeichnet) errichtet und betreibt der Contractor z. B. ein Holzheiz(kraft)werk inkl. Wärmenetz auf eigenes Risiko und eigene Kosten. Der Auftraggeber (Contractingnehmer, z. B. Kommune) bezahlt den Contractor in monatlichen Raten für dessen Energiedienstleistung, d. h. die Bereitstellung von Wärme und/oder Kälte. Die Laufzeiten von Contractingverträgen variieren zwischen 5 und 20 Jahren (vgl. [Bäsmann, 2010]).

Beim **Einspar-Contracting** (z. T. auch als Performance-Contracting bezeichnet) plant, finanziert, baut und betreibt der Contractor sowohl die Energierzeugungs- und -verteilungsanlagen, als auch die Energienutzungsanlagen und andere für den Energieverbrauch des versorgten Gebäudes maßgeblichen Bauteile. Damit verbunden erfolgt auch die Einbindung der Nutzer in ein vom Contractor zu erstellendes Optimierungskonzept sowie die Durchführung von Schulungsmaßnahmen. Grundlage für die Vergütung durch den Contractingnehmer sind hier die eingesparten Energiekosten auf Basis des Verbrauchs vor der Optimierungsmaßnahme. Das Einspar-Contracting bietet sich insbesondere für Bestandsbauten an, für welche z. B. Sanierungsmaßnahmen vorgesehen sind, die auch die Nutzung biogener Festbrennstoffe anstelle fossiler Brennstoffe umfassen können (vgl. [Bäsmann, 2010]).

TAB. 5.5: CONTRACTING-MODELLE, LEISTUNGEN UND VERGÜTUNGEN DES CONTRACTORS ([ASUE, 2005], S. 4 UND 5)

Contracting-Modell	Leistung des Contractors	Vergütung des Contractors
Energieliefer-Contracting (Anlagen-Contracting)	• Optimierung der Energie- und Gebäudetechnik • Planung, Finanzierung und Errichtung von Energieanlagen • Betrieb von Energieanlagen • Energieeinkauf und Nutzenergieverkauf	• Vereinbarter Preis für Nutzenergie-Lieferung • Grund-, Arbeits- und Messpreis • Keine Abhängigkeit von zugesicherten Energieeinsparungen
Einspar-Contracting (Performance-Contracting)	• Optimierung der Energie- und Gebäudetechnik • Planung, Finanzierung und Errichtung von Energieanlagen • Betrieb von Energieanlagen • Energieeinkauf und Nutzenergieverkauf • Garantierte Verbesserung (Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit)	Grundlage der Vergütung: eingesparte Energiekosten gegenüber dem Verbrauch vor der Optimierungsmaßnahme
Technisches Anlagenmanagement (Betriebsführungs-Contracting)	• Optimierung der Betriebskosten von Energieanlagen • Betriebsführung (Bedienung und Instandhaltung) von neuen und bestehenden Energieanlagen	Vereinbarter Preis für die Betriebsführung
Finanzierungs-Contracting (Anlagenbau-Leasing)	• Optimierung der Investitionskosten für Einrichtungen und Anlagen • Finanzierung der Investitionen • Contracting-Kunde betreibt Anlage auf eigenes Risiko	Vereinbarter Preis für die Finanzierung

Beim **Technischen Anlagenmanagement**, das oftmals auch als Betriebsführungs-Contracting bezeichnet wird, übernimmt der Contractor spezifische Aufgaben z. B. in Bezug auf Bedienung, Instandhaltung und Wartung z. B. des Heizkraftwerkes. Die Vertragslaufzeiten sind hier in der Regel mit 1 und 3 (bis 5) Jahren relativ kurz (vgl. [Bäsmann, 2010]).

Das **Finanzierungs-Contracting** (z. T. auch als Anlagenbau-Leasing bezeichnet) zeichnet sich dadurch aus, dass der Contractor das Biomasseheiz(kraft)werk finanziert. Ggf. können auch die Planung und Errichtung sowie die Optimierung und gewisse Servicefunktionen für den Betrieb mit eingeschlossen sein. Allerdings liegt das Erfolgsrisiko für den Anlagenbetrieb in vollem Umfang beim Nutzer/Contractingnehmer selbst. Der Contractor sichert seine (Finanzierungs-)Leistungen mehr oder weniger in bankenüblicher Weise ab. Diese Form des Contracting hat heute am Markt die geringste Bedeutung.

Neben diesen vier Grundvarianten gibt es in der Praxis eine Vielzahl individueller Contracting-Lösungen. Momentan spielt in Deutschland das Energieliefer-Contracting die mit Abstand bedeutendste Rolle [Bäsmann, 2010].

Entscheidend ist die sorgfältige Auswahl des Contractors bzw. der Contractinggesellschaft z. B. über ein Ausschreibungsverfahren. Bei allen Contracting-Varianten müssen die Beziehungen zwischen Contractor und Contractingnehmer in vertraglichen Regelungen festgeschrieben werden. Bei einem Energieliefer-Contracting wird z. B. ein Kaufvertrag für die gelieferte Energie abgeschlossen. Der Preis für die Energielieferung setzt sich in der Regel aus Grund-, Arbeits- und Messpreis zusammen (vgl. [Bässmann, 2010]). Der Grundpreis beinhaltet die Kapital- sowie Betriebs- und Wartungskosten, der Arbeitspreis ist abhängig vom Verbrauch an Brennstoffen und Betriebsmitteln und der Messpreis umfasst die Kosten der Verbrauchserfassung. Wegen der langen Vertragslaufzeiten sind Möglichkeiten zur Preisänderung erforderlich, die durch entsprechende Preisgleitklauseln definiert werden.

Aus Sicht des Initiators bzw. des künftigen Contractingnehmers sind insbesondere folgende Vorteile bei Contracting-Lösungen zu nennen:

- Übernahme der – gerade bei Biomasseprojekten oft hohen – Investitionskosten durch den Contractor; damit stehen die finanziellen Mittel des Contractingnehmers für andere Aktivitäten zur Verfügung.
- Risikoverlagerung hin zum Contractor; v. a. beim Energieliefer-Contracting werden die durchzuführenden Maßnahmen (Planung, Finanzierung, Bau, Betrieb, Instandhaltung, Energiezukauf, Nutzenergieverkauf) durch den externen Dienstleister eigenverantwortlich und auf eigene Rechnung durchgeführt.
- Externes Know-how kann für die Planung, Errichtung und Betrieb von z. B. Biomasse(heiz)kraftwerken und Wärmenetzen herangezogen werden.
- Kein zusätzlicher personeller Aufwand für Contractingnehmer erforderlich, der sich damit auf seine Kernkompetenzen und eigentlichen Aufgabenbereiche konzentrieren kann.
- Ggf. finanzielle Einsparungen durch Nutzung von Synergieeffekten vonseiten des Contractors.

Demgegenüber sind die Nachteile von Contracting-Lösungen u. a. folgende

- Im Vergleich zum Eigenbetrieb entstehen dem Contractingnehmer ggf. höhere Personal- und Verwaltungskosten. Dies resultiert z. B. in höheren monatlichen Zahlungen für die erbrachte Energiedienstleistung für den Contractingnehmer im Vergleich zum Eigenbetrieb. Im Vorfeld sollte daher bereits geprüft werden, ob höhere Kosten an anderer Stelle durch Einsparungen z. B. aufgrund von Synergieeffekten aufgewogen werden können.
- Die Einflussnahmemöglichkeiten des Initiators/Contractornehmers auf das geplante Vorhaben sind deutlich geringer als beim Eigenbetrieb.

Unter www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/contractoren.html findet sich eine Auflistung von Contractinggesellschaften, die je nach Gesellschaft die Finanzierung oder den Betrieb eines Biomasseheizwerkes oder auch beides übernehmen. Weitere Informationen zum Thema Contracting finden sich u. a. beim Verband für Wärmelieferung e. V. unter www.energiecontracting.de sowie unter www.hessenenergie.de/Downloads/Dl-Pub/dlp-confin/dlp-confin.shtml. [BAFA, 2011] stellt eine Checkliste bzgl. Musterverträgen für Energiespar- sowie Energieliefer-Contracting bereit.

5.5.1.4 Fondsfinanzierung

Bei der Finanzierung über spezielle Projekt-/Beteiligungsfonds können Privatanleger und Investoren Eigenkapital für die Finanzierung beispielsweise einer Biogasanlage oder eines Heizkraftwerkes mit Wärmenetz bereit stellen. Eine privat organisierte und mit privatem Kapital ausgestattete Projektgesellschaft realisiert mithilfe dieser Mittel das Projekt. Nach erfolgter Inbetriebnahme der Bioenergieanlage erwarten die Anleger und Investoren entsprechende jährliche Renditen aus dem laufenden Anlagenbetrieb und damit aus der Einspeisung von Strom und dem Verkauf der erzeugten Wärme. Im Vergleich z. B. zu Windenergie- oder Solarenergieprojekten spielen Fondsfinanzierungen für Bioenergieprojekte heutzutage in Deutschland eine eher untergeordnete Rolle. Dies liegt z. T. darin begründet, dass der Energieerzeugung aus Biomasse im Vergleich zu Wind und Sonne aufgrund des erforderlichen Biomassebezugs und der oft aufwändigeren Betriebsführung geringere bzw. unsichere Renditeerwartung zugeschrieben werden.

Projektfonds funktionieren als Sammelstellen für private Anlegergelder, die in entsprechende Projekte fließen. Das Fondsvolumen wird in Form von Aktien oder stillen Gesellschaftsanteilen angeboten. Die Zeichner der Anteile sind als Aktionäre oder Gesellschafter an der Projektgesellschaft beteiligt. Das bedeutet, dass jeder Gesellschafter bzw. Mitunternehmer mit seinem Kapitalanteil an allen Gewinnen und Verlusten der Gesellschaft beteiligt ist. Verluste, die insbesondere in der Anfangsphase des Projektes auftreten können, werden dem Anleger anteilig zugewiesen. Diese individuellen Verlustzuweisungen wirken sich bei der persönlichen Einkommens- bzw. Lohnsteuererklärung des privaten Investors steuermindernd aus.

Die Projekt-/Beteiligungsfonds werden meist von speziellen Finanzdienstleistergruppen, Finanzagenturen oder Fondsmanagern angeboten. Unter ihnen befinden sich auch verschiedene, die sich auf die Finanzierung von Projekten zur Nutzung

erneuerbarer Energien spezialisiert haben. Solche Finanzagenturen entscheiden meist nach einer eingehenden Analyse des geplanten Projektes unter Zuziehung von Experten darüber, ob sie eine Projektidee oder ein Vorhaben finanzieren oder nicht. Hierbei werden sowohl die Finanzkennzahlen als auch – je nach Fonds – die Zielsetzungen des Projektes beurteilt. Die Chancen, eine solche prinzipiell Bank-unabhängige Eigenkapitalbeschaffung für ein bestimmtes Bioenergieprojekt zu bekommen, sind besonders gut, wenn Aussicht auf eine kontinuierliche und akzeptable Verzinsung besteht. Wesentliche Kriterien in diesem Zusammenhang können u. a. der Einsatz einer erprobten Konversionstechnologie, das Vorhandensein von langfristigen Biomasseliefer- sowie Wärmeabnahmeverträgen und die Vergütung aus der Stromeinspeisung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sein, was auf einen sicheren Anlagenbetrieb bzw. eine kontinuierliche Verzinsung schließen lässt. Weiterhin ist auch ein intelligentes Marketing (z. B. durch Herausstellen des Umweltgedankens) hilfreich, um entsprechende Kapitalgeber zu finden.

5.5.1.5 Leasing

Die Biomasseanlage wird durch den Leasinggeber (d. h. die Leasinggesellschaft) – häufig eine Banktochter oder eine speziell gegründete Projektgesellschaft dieser Leasinggesellschaft – errichtet und finanziert. Der Leasinggeber überlässt die Anlage im Rahmen eines langfristigen Mietvertrages dem Leasingnehmer zur Nutzung. Nutzung und Betrieb sowie die damit zusammenhängenden Risiken verbleiben damit beim Leasingnehmer. Von Vorteil ist, dass der Leasingnehmer keine größeren Investitionen vornehmen muss, sondern nur regelmäßig die Leasingrate zu zahlen hat. Jedoch sind die Leasingkosten meist höher als die banküblichen Zinsen [FORSEO, 2008]. Der Leasingnehmer erhält eine Erwerbsoption am Ende der Vertragslaufzeit. Diese orientiert sich an der Nutzungsdauer der Anlage.

Rechtlich ist das Leasing eine besondere Form des Mietvertrages. Für die Überlassung der Anlage entrichtet der Leasingnehmer eine Leasingrate. Beim sogenannten Vollamortisations-Leasingvertrag entspricht deren Summe den Anschaffungs- und Herstellungskosten einschließlich aller Neben- und Finanzierungskosten, die dem Leasinggeber entstehen. Leasing ist besonders zur Finanzierung von Kraftfahrzeugen, Computern und Software gebräuchlich. In den letzten Jahren wird Leasing jedoch auch zunehmend – insbesondere von weniger finanzstarken Kommunen – als Finanzierungsinstrument für Energieanlagen genutzt.

5.5.2 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Förderprogramme

Das **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** ist das zentrale Gesetz zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bzw. Biomasse. Es ist zum 1. April 2000 in Kraft getreten und wurde in den Jahren 2004, 2009 und 2012 novelliert. Es hat zum Ziel, „im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen“ (§ 1 Abs. 1 EEG 2012) und den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2020 (2050) auf mindestens 35 % (80 %) zu erhöhen.

Das EEG regelt die (bevorzugte) Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energien und schreibt Festpreise für die Vergütung des Stroms aus Anlagen anspruchsberechtigter Anlagenbetreiber fest. Die Vergütungszahlung wird im EEG für einen Zeitraum von 20 Jahren garantiert. Für neu in Betrieb genommene Anlagen sinken die Grundvergütungen ab dem Jahr 2013 jeweils um 2,0 % gegenüber Anlagen, die im Vorjahr in Betrieb genommen wurden.

Die Einspeisevergütungen wirken damit als projektunabhängige Form einer indirekten Förderung. Einzelheiten, weitere Bedingungen, um in den Genuss der Einspeisevergütung zu kommen, sowie ggf. aktuelle Änderungen finden Sie z. B. unter www.erneuerbare-energien.de („Gesetze“ und „Erneuerbare-Energien-Gesetz“). Im Jahr 2014 wird das EEG erneut novelliert.

Förderprogramme für die Energieerzeugung und -bereitstellung aus Biomasse. Neben dem EEG gibt es auf der Ebene der EU, des Bundes und der Länder zahlreiche Förderprogramme, um eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien im Allgemeinen und von Biomasse im Speziellen zu unterstützen. Daneben fördern auch Regionen, Städte und Gemeinden sowie ggf. auch Energieversorgungsunternehmen (EVU) Projekte zur Energiegewinnung aus Biomasse.

Einen aktuellen und umfassenden Überblick über öffentliche Förderprogramme und Finanzhilfen u. a. für die Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke bietet der BINE Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe. Unter www.energiefoerderung.info sind alle für Privatpersonen relevanten Bundes- und Landesprogramme und gegebenenfalls Fördermöglichkeiten von Gemeinden und Energieversorgern abrufbar und in ihrer aktuellen Fassung verfügbar.

Weitere Informationen können z. B. bei den verschiedenen Bundes- und Länderministerien sowie bei den Energieagenturen der Länder und bei den Banken eingeholt werden. Eine sehr umfassende und immer aktuelle Zusammenstellung der für Projekte im Bereich „Regenerative Energien“ jeweils in Anspruch zu nehmenden öffentlichen Förderung bietet die Förderdatenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, die im Internet unter www.foerderdatenbank.de verfügbar ist.

Förderprogramme des Bundes und der Länder speziell für Bioenergieprojekte werden auch vom Biomasse Info-Zentrum zusammengestellt und sind ebenfalls im Internet unter http://bioenergie.fnr.de/foerderung/foerderuebersicht aufgelistet.

Die Verfügbarkeit von Fördergeldern öffentlicher Fördergeber für Projekte zur Demonstration und Markteinführung von Techniken zur energetischen Nutzung von Biomasse hängt jeweils auch von aktuellen Haushaltsplänen ab. Nicht selten gibt es Mittelkürzungen in laufenden Förderprogrammen auch während eines Jahres oder eine Haushaltssperre, sodass keine Bewilligungen mehr ausgesprochen werden können. Es empfiehlt sich deshalb, jeweils rechtzeitig die aktuellsten Informationen zu den Fördermöglichkeiten, den Förderkonditionen und -höhen bei den zuständigen Stellen einzuholen.

Die jeweils angebotenen Fördermöglichkeiten umfassen im Wesentlichen Investitionszuschüsse, Förderkredite sowie Investitionszulagen, Investitionsabzugsbeträge und Sonderabschreibungen.

Investitionszuschüsse

Investitionszuschüsse sind einmalige direkte finanzielle Mittelzuwendungen zur Unterstützung der Finanzierung von Investitionen und Erstausstattungen. Sie sind im Regelfall nicht rückzahlbar, wenn die damit verbundenen Zuwendungsbedin-

gungen und der Zuwendungszweck eingehalten werden. Sie werden daher auch als eigenkapitalähnliche Mittel betrachtet, da sie dem Projekt dauerhaft zur Verfügung stehen.

Förderkredite
Förderkredite sind zinsvergünstige langfristige Darlehen, die sich von den üblichen Bankkrediten u. a. wie folgt unterscheiden:
- die Kreditzinsen liegen unterhalb des Kapitalmarktniveaus,
- es handelt sich um Festzinsen mit langen Laufzeiten,
- außerplanmäßige Tilgung ist ohne Zahlung einer Vorfälligkeitsentschädigung möglich,
- die Anlaufjahre sind tilgungsfrei,
- der Finanzierungsanteil und die absoluten Förderbeiträge sind hoch.

Förderkredite werden insbesondere durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gewährt. Die KfW-Darlehen werden nicht unmittelbar an die Unternehmen bzw. den Investor vergeben, sondern ausschließlich über die Hausbank ausgereicht. Die Hausbanken haften der KfW für die herausgelegten Darlehen. Der Antrag auf Mittel aus diesen Programmen ist daher bei einem Kreditinstitut (in der Regel die Hausbank) zu stellen und die Förderkredite sind banküblich abzusichern.

Investitionsabzugsbetrag und Sonderabschreibungen
Investitionsabzugsbetrag und Sonderabschreibung nach § 7 g EStG: Die Regelung des § 7 g EStG soll die Investitionsfähigkeit speziell kleiner und mittlerer Unternehmen erhöhen. Der Investitionsabzugsbetrag ermöglicht den begünstigten Betrieben eine Vorverlagerung von Abschreibungspotenzial in ein Wirtschaftsjahr vor Anschaffung oder Herstellung eines Wirtschaftsgutes. Begünstigte Betriebe können im Jahr der Anschaffung bzw. Herstellung eines neuen oder gebrauchten Wirtschaftsgutes und in den folgenden vier Jahren eine Sonderabschreibung (neben der normalen Abschreibung) von insgesamt bis zu 20 % der Kosten geltend machen [IHK, 2012].

Tabelle 5.6 zeigt wesentliche Förderprogramme für die energetische Nutzung von Biomasse, gegliedert nach EU-, Landes-, Bundesländer-/Kommunalebene sowie sonstige Quellen.

„De-minimis" – Beihilfen und Subventionen
Förderungen und Subventionen für Bioenergieprojekte können ggf. dem europäischen Recht unterliegen und Einschränkungen unterworfen sein. Hierbei ist insbesondere die „De-minimis"-Regelung zu beachten. Die „De-minimis"-Beihilfe ist ein Begriff aus dem Subventionsrecht der Europäischen Union. Damit sollen Dinge ‚kleiner Bedeutung' einer zu starken Regelung entzogen und die Absicht, Beihilfen oder Förderungen als geringfügige Beigabe zu verstehen, verdeutlicht werden. Grundsätzlich muss für Beihilfen und Subventionen eines EU-Mitgliedstaates an ein Unternehmen die Genehmigung der Europäischen Union eingeholt werden, wenn sie sich wettbewerbsverzerrend auswirken können. „De-minimis"-Beihilfen sind von der Wettbewerbsregel ausgenommen und können daher ohne Genehmigung vergeben, sie können aber ggf. von der EU kontrolliert werden. Der „De-minimis"-Schwellenwert liegt für Bioenergieanlagen bei 200.000 Euro über drei Steuerjahre. Dabei werden alle Förderungen zusammengezählt (kummuliert). (Quelle: EG-Verordnung Nr. 1998/2006 vom 15.12.2006)

5.6 Öffentlichkeitsarbeit

Gerade auch bei der geplanten Realisierung umfangreicherer Bioenergievorhaben (z. B. einer Biogasanlage oder eines Biomasseheiz(kraft)werkes) kann es zu mangelnder Akzeptanz vonseiten der unmittelbaren Nachbarschaft, der Bürgerschaft, Verbänden etc. kommen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Bedenken und Vorbehalten genereller Art (z. B. gegen den Anbau von Energiepflanzen allgemein) und Bedenken und Vorbehalten, die sich konkret auf die geplante Bioenergieanlage beziehen [NABU, 2006]. Folgende Bedenken spielen hierbei eine wichtige Rolle (vgl. [Rohmund, 2010]):
- Erhöhte Verkehrsbelastung (bei der Anlieferung der Biomasse an die Bioenergieanlage),
- Geruchsemissionen (z. B. bei der Langzeitlagerung von feuchtem Holz oder bei der Ausbringung von Gärrückständen aus Biogasanlagen),
- Rauchgasemissionen (erhöhte lokale Schadstoffemissionen z. B. Staubemissionen bei Holzfeuerungen),
- Einflussnahme auf das Landschaftsbild bzw. Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes z. B. in der Umgebung eines Heiz(kraft)werkes oder durch vermehrten Maisanbau.

Im Vergleich zu anderen Erneuerbare-Energien-Projekten, wie z. B. Solar- oder Windkraftprojekten, ist für den Betrieb einer Bioenergieanlage ein Brenn- oder Rohstoff, nämlich Biomasse, erforderlich, die z. T. auch eigens für diese Zwecke auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut wird. Dessen Anlieferung und Verbrennung bedingt entsprechenden Fahrzeugverkehr bzw. Emissionen auf lokaler und regionaler Ebene [Neumann, 2010]. Bei der Entwicklung und Realisierung einer Biogasanlage oder eines Biomasseheiz(kraft)werkes muss diesen besonderen Anforderungen und der damit verbundenen Standortfrage vom künftigen Anlagenbetreiber bzw. Planer die entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Prinzipiell ist die energetische Nutzung von Biomasse – wie jede Form der Energieumwandlung – mit gewissen, jedoch teilweise vermeidbaren bzw. minimierbaren schädlichen bzw. negativen lokalen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Daher sollte es das Ziel jeder Anlagenplanung sein, die negativen Auswirkungen zu minimieren. Dies umfasst beispielsweise für Heiz(kraft)werke:
- die Verringerung des Schadstoffausstoßes (z. B. der Staubemissionen) durch die Sicherstellung eines optimalen Ausbrands, durch die entsprechenden primär- und sekundärseitigen Maßnahmen zur Luftreinhaltung und durch die Vermeidung von häufigen Anfahrprozessen und Teillastzuständen,
- die Optimierung der Anlieferlogistik verbunden mit einer Optimierung der Standortwahl, d. h. der Abwägung zwischen der Nähe zu Wärmeabnehmern und der Beeinträchtigung der Anwohner durch häufige Lieferfahrten. Damit kommt insbesondere einer standortangepassten Planung eine entscheidende Rolle zur Förderung der Akzeptanz der geplanten Anlage zu!

Für die erfolgreiche Realisierung einer Bioenergieanlage, zur Sicherstellung einer möglichst breiten öffentlichen Zustimmung und Akzeptanz für das geplante Projekt aber auch im Falle eines

TAB. 5.6: ÜBERBLICK ÜBER AUSGEWÄHLTE FÖRDERPROGRAMME DER EU, DES BUNDES, DER LÄNDER UND KOMMUNEN SOWIE WEITERE OPTIONEN FÜR DIE ENERGETISCHE BIOMASSENUTZUNG (STAND NOVEMBER 2013)

	Programm	Antragsberechtigte	Fördergegenstand	Kontakt/Internet
EU	**Forschungsprogramme der Europäischen Kommission „Horizont 2020“**	Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen, Kommunen, öffentliche Einrichtungen, Verbände/Vereinigungen. mind. drei Projektpartner aus verschiedenen Ländern	Die Europäische Kommission bündelt ab 2014 diverse Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Programm „Horizont 2020“. Die Exekutivagentur für kleine und mittlere Unternehmen ist u. a. mit der Durchführung folgender Programme beauftragt: • Programm für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und für kleine und mittlere Unternehmen (COSME) (2014 bis 2020) • Programm für Klima- und Umweltpolitik (LIFE) (2014 bis 2020) • Rahmenprogramm für Forschung und Innovation „Horizont 2020“ (2014 bis 2020)	Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (EASME) http://ec.europa.eu/easme/ Nationale Kontaktstellen: www.horizont2020.de http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/
	European Local Energy Assistance (ELENA) Technische Hilfe – Finanzierung	Städte und Regionen	Finanzierungen im Rahmen von ELENA decken einen Teil der Kosten der technischen Hilfe, die notwendig ist, um ein Investitionsprogramm vorzubereiten, durchzuführen und zu finanzieren. Solche technische Hilfe betrifft z. B. Machbarkeits- und Marktstudien, Geschäftspläne, Energieprüfungen, Vorbereitung für Vergabeverfahren. D. h. alles was notwendig ist, damit die Energieprojekte der Städte und Regionen eine Finanzierung aus Mitteln der Europäischen Investitionsbank erhalten können.	Europäische Investitionsbank www.eib.org
	Europäischer Energieeffizienzfonds (EEEF) Darlehen, Beteiligung, Garantien, Techn. Hilfe	Kommunale, lokale und regionale Behörden sowie öffentliche und private Behörden, die im Auftrag dieser Behörden handeln	Unterstützung von Initiativen im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Direkte Investitionen des Fonds können zwischen 5 Mio. Euro und 25 Mio. Euro betragen.	European Energy Efficiency Fund (EEEF) www.eeef.eu
Bund	**Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien** (MAP) Investitionszuschüsse	Privatpersonen; Kommunen; kleine oder mittlere Unternehmen; freiberuflich Tätige; Land- und Forstwirtschaft; Gartenbau; ...	Jeweils bis einschließlich 100 kW Nennwärmeleistung: automatisch beschickte Anlagen zur Verbrennung von fester Biomasse für die thermische Nutzung (Pelletofen mit Wassertasche, Pelletkessel, Hackschnitzelanlage) und besonders emissionsarme Scheitholzvergaserkessel; (Basis-, Bonus- u. Innovationsförderung).	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) www.bafa.de Energie/erneuerbare Energien/Biomasse
	KfW-Programm erneuerbare Energien Programm „Premium“: Zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse Programm „Standard“ Zinsgünstige Darlehen	Für jeden Programmteil zu prüfen: privatwirtschaftliche Unternehmen; Unternehmen mit kommunaler; kirchlicher oder karitativer Beteiligung; Freiberufler; Landwirt; gemeinnützige Organisation; Kommunen; kommunale Betriebe und Zweckverbände	**Premium** (Pr. Nr. 271, 281): Errichtung u. Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse für die therm. Nutzung mit mehr als 100 kW install. Nennwärmeleistung sowie streng wärmegeführte KWK-Biomasse-Anlagen mit bis zu 2 MW_{th} (die im Antrag auf Tilgungszuschuss genannten Emissionswerte sind einzuhalten!). Errichtung u. Erweiterung von Wärmenetzen, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden und spez. Anforderungen erfüllen. Finanzierung mit bis zu 100 % der förderfähigen Netto-Investitionskosten, i. d. R. max. 10 Mio. Euro Spezifische Tilgungszuschüsse bzw. Festbeträge für Biomasseanlagen und Wärmenetze. **Standard** (Programm Nr. 270, 274): Errichtung, Erweiterung, Erwerb von Anlagen, die die Anforderungen des EEG erfüllen sowie von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) und Anlagen zur Wärmeerzeugung sowie z. B. Wärmenetze (die aus erneuerbaren Energien gespeist werden), die die Anforderungen des Programms „Premium“ nicht erfüllen. Finanzierung mit bis zu 100 % der förderfähigen Netto-Investitionskosten, i. d. R. max. 25 Mio. Euro.	Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Frankfurt www.kfw.de www.kfw.de/kfw/de/Inlandsfoerderung/

	Programm	Antragsberechtigte	Fördergegenstand	Kontakt/Internet
Bund	**Energie vom Land** Zinsgünstige Darlehen	Kleine u. mittlere Unternehmen der Energieproduktion	Finanzierung der energet. Verwertung nachwachsender Rohstoffe und anderer organischer Verbindungen (z. B. Biogasanlagen, Biomasseheizkraftwerke, Anlagen zur Erzeugung biogener Kraftstoffe)	Landwirtschaftliche Rentenbank, www.rentenbank.de
	BMEL/FNR-Programm „Nachwachsende Rohstoffe“	u. a. Forschungseinrichtungen, Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft	u. a. Forschung, Entwicklung, Pilot-, Demonstrationsprojekte, kommerziell nutzbare Prototypen im Bereich energetische Nutzung	www.fnr.de
	BMUB-Umweltinnovationsprogramm	u. a. Unternehmen, Körperschaften des öffentl. Rechts	Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen	www.umweltinnovationsprogramm.de
Bundesländer, Kommunen	**Landesprogramme** v. a. Investitionszuschüsse	u. a. Privatpersonen, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen	Jedes Bundesland hat eigene Programme zur Förderung Erneuerbarer Energien und damit auch zur Förderung einer verstärkten energetischen Biomassenutzung.	Eine ausführliche Liste findet sich unter www.foerderdatenbank.de
	Kommunale Programme v. a. Investitionszuschüsse	u. a. Privatpersonen, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen	Zunehmend stellen auch Regionen, Regionalverbände, Landkreise, Städte, Gemeinden eigene Mittel für die Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien zur Verfügung.	Einzelheiten zu den jeweiligen Fördermaßnahmen sind vor Ort bei den zuständigen Gemeinde-, Stadt- oder Regionalverwaltungen zu erfragen.
Weitere Optionen	**Deutsche Bundesstiftung Umwelt** Investitionszuschüsse, ggf. Darlehen oder Bürgschaft	Unternehmen, Bildungseinrichtung, Forschungseinrichtung, Hochschule, Kommune, Öffentl. Einrichtung, Privatperson, Verband/Vereinigung	Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert die Entwicklung und Nutzung neuer umweltentlastender Technologien und Produkte mit besonderem Fokus auf kleinen und mittleren Unternehmen. In Deutschland existieren weitere Umweltstiftungen. Eine spezifische Prüfung des jeweiligen Förderrahmens und der Förderbedingungen ist daher erforderlich.	www.dbu.de
	Umweltbanken, Landesbanken etc. Zinsgünstige Darlehen		Die Fördermöglichkeiten, die z. B. Umweltbanken oder Landesbanken bzgl. Investitionen in Bioenergievorhaben anbieten, sind direkt bei den jeweiligen Banken zu erfragen.	

Die Förderprogramme unterliegen zum Teil sehr starken zeitlichen Änderungen. Daher besteht hier kein Anspruch auf Vollständigkeit. Für projektbezogene, umfassende Recherchen zu Fördermöglichkeiten empfehlen sich folgende Links:

www.energiefoerderung.info – BINE Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe. Für den privaten Bereich kostenloser, für gewerblich gebührenpflichtiger Zugang.

http://bioenergie.fnr.de/foerderung/foerderuebersicht/ – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Zusammenfassung der Förderprogramme des Bundes und der Länder speziell für Bioenergieprojekte.

www.foerderdatenbank.de – Die Förderdatenbank wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie betrieben.

erforderlichen Konfliktmanagements stehen dem künftigen Anlagenbetreiber bzw. dem Planer verschiedenste Maßnahmen zur Verfügung.

Diese Maßnahmen reichen

- von der ausschließlichen Informationsbereitstellung durch den künftigen Anlagenbetreiber (z. B. durch Informationstafeln oder Besichtigungsfahrten),
- über verschiedenste Beteiligungsmöglichkeiten der Bürger am Entwicklungs- und Realisierungsprozess der Bioenergieanlage sowie bei der Lösung von Konflikten (z. B. Bürgerversammlungen),
- bis hin zu weitreichenden partizipativen Prozessen wie sie z. B. bei der Etablierung von Bioenergiedörfern zu finden sind. Dies bezieht sich einerseits auf den Ablauf der Projektentwicklung und die daran geknüpften partizipativen Entscheidungsprozesse und andererseits auf die konkrete finanzielle Einbeziehung von Projektbeteiligten und Bürgern durch die Bildung von z. B. Genossenschaften [FNR, 2010]; [FNR, 2013f].

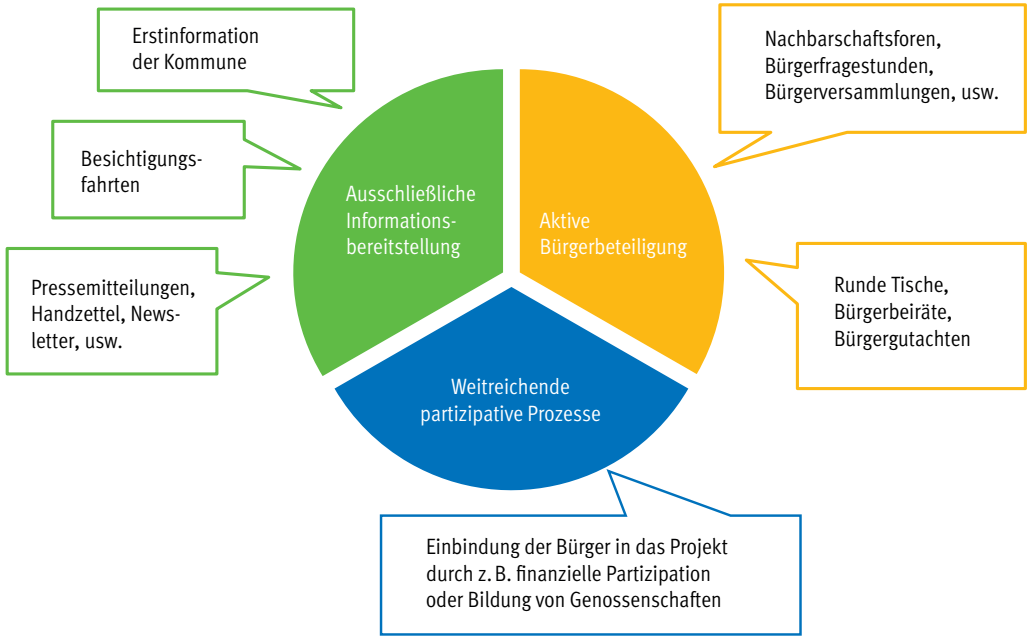
Ein vorgefertigtes Schema für die Durchführung bzw. den „richtigen“ Zeitpunkt bestimmter Maßnahmen existiert nicht, vielmehr hängt es von der jeweiligen Projekt- bzw. auch Konfliktkonstellation sowie der Komplexität des geplanten Vorhabens ab, in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt eine Einbindung der Bürgerschaft/Öffentlichkeit geboten ist.

Verschiedene Maßnahmen sind in Abbildung 5.10 exemplarisch dargestellt und werden nachfolgend erläutert (vgl. auch [Feldmann, 2011]; [Wüste, 2010]; [Maciejczyk, 2010]; [NABU, 2008]). Speziell in [NABU, 2008] findet sich eine Einordnung verschiedener Maßnahmen in den zeitlichen Ablauf von der Projektplanung über die Genehmigung bis hin zu Bau und Betrieb der Anlage. Ehrenstein et al. beschäftigen sich speziell mit der Akzeptanz von Biogasanlagen und Handlungsmöglichkeiten zur För-

derung der Akzeptanz ([Ehrenstein et al., 2012]). Ausführlichere Darstellungen zu den Möglichkeiten der Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerbeteiligung speziell bei der Planung und Realisierung von Bioenergiedörfern sowie der Realisierung von Bioenergieprojekten in Kommunen finden sich z. B. in [FNR, 2010] und [Wehnert et al., 2007].

- **Erstinformation der Kommune**
  Bereits in einem frühen Projektstadium sollte als vertrauensbildende Maßnahme eine Erstinformation beim Bürgermeister oder im Gemeinderat stattfinden. Hier sollten sowohl projektbezogene Informationen (z. B. geplante Biomassen, Konversionsanlage, Anlagengröße, Standort) präsentiert werden als auch auf mögliche Konflikte und das weitere Vorgehen bei der Öffentlichkeitsarbeit hingewiesen werden.
- **Besichtigungsfahrten**
  Um den Bürgern aber auch Entscheidungsträgern einen Einblick in bereits realisierte, erfolgreich betriebene Biogasanlagen, Heiz(kraft)werke oder Nahwärmeprojekte zu ermöglichen, sollten rechtzeitig Besichtigungsfahrten zu entsprechenden Anlagen organisiert werden. Entscheidend dabei ist, dass die Exkursionsziele hinsichtlich Standortbedingungen und Anlagentechnik mit dem geplanten Projekt möglichst gut vergleichbar sind. Den Teilnehmern der Besichtigungsfahrt sollte die Möglichkeit gegeben werden, vor Ort mit Anlagenbetreiber, Biomasselieferanten, Bürgern, kommunalen Vertretern etc. den Prozess der Projektentwicklung und -realisierung, die Chancen, aber auch etwaige Risiken, die ein derartiges Projekt mit sich bringt, zu diskutieren.
- **Pressemitteilungen, Handzettel, (Email-)Newsletter, Plakate, Tag der offenen Tür**
  Über diese Medien können die interessierten Bürger regelmäßig und aktuell über den Planungs- und Genehmigungsstand des Projektes unterrichtet werden. Auch kann über den Baufortschritt sowie ggf. über Beeinträchtigungen während der Bauphase informiert werden. Am Tag der offenen Tür kann auf der Baustelle der aktuelle Baufortschritt vor Ort erkundet werden, auch können mit Projektinitiator, Planer, Genehmigungsbehörden etc. offene Fragen und Bedenken diskutiert werden.
- **Nachbarschaftsforen, Bürgerfragestunden, Bürgerversammlungen, Informationsstände**
  Deutlich vor Beginn des Genehmigungsverfahrens sollte sich die Öffentlichkeit über das Vorhaben informieren können (z. B. eingesetzte Biomassen, Anlagentyp und -größe, geplanter Standort, lokale Auswirkungen, Vorteile und (öffentlicher) Nutzen des geplanten Vorhabens). Weiterhin sollte den Bürgern nach Einreichung der Genehmigungsunterlagen der aktuellen Planungsstand präsentiert werden, auch sollten die Bürger während des Baus über den Baufortschritt informiert werden. Hierzu wird die Organisation entsprechender Informationsveranstaltungen empfohlen. Im Rahmen der Informationsveranstaltungen ist es wichtig, Transparenz und Vertrauen zu erzeugen sowie auf die Fragen und Sorgen der Bürger differenziert einzugehen. Eine externe Moderation solcher Veranstaltungen kann ggf. sehr hilfreich sein, um bei vorliegenden Konflikten durch einen neutralen Moderator Ausgleich zu schaffen und um das weitere Vorgehen in Bezug auf offene und kritische Punkte abzustimmen. Während Nachbarschaftsforen,

MÖGLICHE MASSNAHMEN IM RAHMEN DER ÖFFENTLICHKEITSARBEIT



Quelle: [IER, 2012]

© FNR 2013

Abb. 5.9: Mögliche Maßnahmen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit zur Förderung der Akzeptanz von Bioenergieprojekten

Bürgerfragestunden bzw. Bürgerversammlungen eine Information und Erörterung in einer „großen“ Runde ermöglichen, dienen Informationsstände eher dem bilateralen Austausch und den spezifischeren Diskussionen zwischen einzelnen Bürgern und dem Projektinitiator.

- **Runde Tische, Bürgerbeiräte, Bürgergutachten (Mediationsveranstaltungen)**
  Hinausgehend über Informationsveranstaltungen dienen runde Tische der strukturierten Bearbeitung von Konflikten und der Bewertung von Lösungsmöglichkeiten für das geplante Vorhaben (ggf. unter Einbezug von Mediatoren). Neben den Bürgern sind hier auch relevante Entscheidungsträger und Institutionen eingebunden. Eine differenzierte Problembearbeitung wird hier angestrebt, die speziell auf das geplante Bioenergievorhaben ausgelegt ist. Bei der Etablierung eines Bürgerbeirats, der als Bindeglied zwischen den Bürgern und den Initiatoren des Vorhabens fungieren soll, oder aber bei der Erarbeitung von z. B. Bürgergutachten kann der Rahmen der Problemerörterung und Konzepterarbeitung durchaus weiter gesteckt sein und z. B. die Entwicklung von kommunalen Energiekonzepten umfassen (was letztlich dann auch das geplante Einzelvorhaben mit einschließt). Damit kann dann durch die Bürger die künftige Energieversorgung z. B. der Kommune mitgestaltet werden.
- **Einbindung der Bürger in das Projekt (z. B. durch finanzielle Partizipation)**
  Die Einbeziehung von Bürgern und weiteren Projektbeteiligten (wie z. B. Biomasselieferanten, Wärmeabnehmer) in die Anlageninvestition, das Betreibermodell und den Anlagenbetrieb und damit die Etablierung von Gemeinschaftslösungen trägt maßgeblich zur Überwindung von Akzeptanzproblemen bei. Detaillierte Ausführungen zu den Merkmalen von Gemeinschaftslösungen finden sich z. B. in Kapitel 5.4.2.

Die Entscheidung für eine oder mehrere der oben genannten Maßnahmen hängt u. a. vom Konfliktpotenzial des Projektes und den an das geplante Bioenergievorhaben geknüpften technischen, wirtschaftlichen oder ökologischen Unsicherheiten und Unwägbarkeiten ab [NABU, 2008]. Ist beispielsweise bei einem geplanten Heiz(kraft)werk ein niedriges Konfliktpotenzial zu erwarten und ist das Projekt mit wenigen technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten verbunden (z. B. Nutzung etablierter Anlagentechnik und Vorhandensein eines großen, sicheren Wärmeabnehmers), kann ggf. die ausschließliche, umfängliche Bereitstellung von Informationen bereits eine hinreichende und erfolgversprechende Kommunikationsstrategie und Öffentlichkeitsarbeit darstellen. Mit zunehmendem erwartetem Konfliktpotenzial bzw. bei vermehrten Unsicherheiten, die mit dem Projekt verbunden sind, empfiehlt es sich, umfassendere, partizipative Formen der Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung anzustreben. So ist z. B. eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung und die Nutzung partizipativer Prozesse dann von besonderer Bedeutung, wenn die Anlieger der Anlage als zukünftige Wärmekunden (bei Nahwärmesystemen) gewonnen werden sollen bzw. müssen.

6 BEISPIELE DER GUTEN FACHLICHEN PRAXIS

Zur Illustration der Aufgaben im Bereich des Projektmanagements werden im Folgenden sechs Beispiele der guten fachlichen Praxis kurz vorgestellt, ihre Erfolgsfaktoren identifiziert, ihre Besonderheiten herausgearbeitet und daraus hervorgehende Erfahrung vermittelt. Die Beispiele decken Vorhaben aus den Bereichen Bioenergiedörfer, Verbrennung von Holz, Erzeugung und Nutzung von Biogas, Strohverbrennung sowie Biokraftstoffproduktion ab.

6.1.1 Bioenergiedorf Feldheim

BIOENERGIEDORF FELDHEIM (BRANDENBURG)

Konzeption und technische Daten

- Die Gemeinde Feldheim war 2010 Gewinner des von der FNR betreuten bundesweiten Wettbewerbs Bioenergiedörfer des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
- Feldheim ist ein Ortsteil der Stadt Treuenbrietzen mit 128 Einwohnern (Stand 2010).
- Im Dezember 2008 ging als zentrale Energieerzeugungsanlage eine Biogasanlage mit einer elektrischen Leistung von 500 kW ans Netz.
- Bei der Biogasanlage handelt es sich um eine Kofermentation, d. h. gleichzeitige Vergärung von Gülle und/oder Festmist mit Biomasse.
- Neben Strom und Wärme werden jährlich noch ca. 11.250 m³ Wirtschaftsdünger (aufbereiteter Gärrückstand) in der Anlage produziert.

Die technischen Daten der Biogasanlage sind in folgender Tabelle aufgeführt.

Technische Daten Biogasanlage Feldheim

Installierte elektrische Leistung	500 kW_{el}
jährliche Stromproduktion	4.000 MWh
davon Eigenbedarf (ca. 13,5 %)	540 MWh
jährliche Wärmeerzeugung	2.275 MWh
Länge des Nahwärmenetzes	3.000 m
angeschlossene Gebäude	39 Wohngebäude, Agrarbetrieb, Produktionsbetrieb
jährliche Produktion Wirtschaftsdünger	11.250 m³

© Energiequelle GmbH

Über das 3.000 m lange Wärmenetz, welches seit Dezember 2009 in Betrieb ist, werden 39 Wohngebäude, 1 Agrarbetrieb mit drei Ställen sowie ein Produktionsbetrieb mit Wärme versorgt. Neben dem BHKW wird noch ein Holzhackschnitzelkessel mit einer thermischen Leistung von 299 kW für die Wärmeversorgung eingesetzt.

In nachfolgender Tabelle sind die jährlich eingesetzten Rohstoffmengen der Biogasanlage aufgelistet.

Inputstoffe Biogasanlage

Schweinegülle	2.000 m³
Rindergülle	1.500 m³
Maissilage	6.125 t
Getreideschrot	650 t

BIOENERGIEDORF FELDHEIM (BRANDENBURG)

Weitere Besonderheiten der Gemeinde Feldheim sind u. a. der Windpark. Dieser besteht aus 43 Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 74,1 MW. Die erste Anlage ging im Dezember 1998 ans Netz. Im Solarpark Selterhof wurden im November/Dezember 2008 34 Photovoltaikmodule mit je 7,82 kWp installiert. Es handelt sich hierbei um zweiachsig der Sonne nachgeführte Systeme. Diese erhöhen den Jahresstromertrag um ca. 40 % gegenüber starr montierten Anlagen. 2009 wurde der Solarpark um 188 Module mit je 8,05 kWp erweitert. Die Gesamtleistung beträgt derzeit 2,26 MW.

Um Schwankungen in der Stromproduktion zukünftig zu puffern, ist ein Energiespeicher auf Basis einer Natrium-Schwefel-Batterie geplant.

Organisation und Realisierung

Die Besonderheit in Feldheim ist das in Privatbesitz befindliche Nahwärme- und Stromversorgungsnetz. Eigentümer sind die Feldheim Energie GmbH & Co. KG (Nahwärmenetz) sowie die Energiequelle GmbH & Co. WP Feldheim 2006 KG (Stromnetz). Die Gesellschafter der Energie GmbH & Co. KG sind sämtliche Hausbesitzer und Gewerbebetriebe in Feldheim sowie die Stadt Treuenbrietzen.

Durch die Einbindung der Feldheimer Bevölkerung als Gesellschafter erfährt das Projekt eine breite Akzeptanz. Diese wird durch den vor Ort produzierten Strom und Wärme und der damit verbundenen regionalen Wertschöpfung (ca. 105.000 €/a) verstärkt.

Finanzierung und Förderung

Die Fördermöglichkeiten von Anlagen zur Erzeugung von Bioenergie sowie von Nahwärmenetzen sind sehr vielfältig. Neben EU- und Bundes-Zuschüssen können je nach Bundesland auch Landesgelder beantragt werden.

Die Gesamtinvestitionskosten für das Nahwärmenetz und die Hausanschlüsse des Bioenergiedorfes Feldheim belaufen sich auf 1.725.000 Euro. Die Eigenmittel der Gesellschaft betragen hierbei 130.000 Euro. Die zweckgebundenen Zuwendungen belaufen sich auf 830.000 Euro. Insgesamt wurde das Bioenergieprojekt mit ca. 50 % von der EU, dem Bund und dem Land Brandenburg bezuschusst. Die Förderquote von 50 % teilt sich in 75 % aus Geldern des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und 25 % aus Haushaltsmittel des Landes Brandenburg auf.

Weiter wurden 450.000 Euro in das Stromnetz und die Hausanschlüsse investiert. Dieses Investitionsvolumen wurde ohne Förderung, rein durch Eigenmittel finanziert.

Fazit

- Der Ortsteil Feldheim zeigt, wie eine zukünftige dezentrale regenerative Energieversorgung mit unterschiedlichen Akteuren im ländlichen Raum realisiert werden kann.
- Durch die Privatisierung des Wärme- und Stromnetzes wurde eine regionale Wertschöpfung geschaffen.
- Neben der 100-prozentigen regenerativen Strom- und Wärmeerzeugung wird hier auch großer Wert auf die Speicherung der elektrischen Energie gelegt. Über eine Natrium-Schwefel-Batterie soll zukünftig überschüssiger Strom gespeichert werden, sodass zu jeder Tageszeit eine Vollversorgung möglich ist.

Weiterführende Infos

www.neue-energien-forum-feldheim.de/
www.wege-zum-bioenergiedorf.de/bioenergiedoerfer/gewinner-2010/

6.1.2 Holzheizkraftwerk mit ORC-Modul zur regenerativen Nahwärme- und Stromversorgung

HOLZHEIZKRAFTWERK MIT ORC-MODUL ZUR NAHWÄRMEVERSORGUNG („SCHARNHAUSER PARK“, OSTFILDERN, BADEN-WÜRTTEMBERG)

Konzeption und technische Daten

- Das Holzheizkraftwerk steht auf einem ehemaligen Armeestandort innerhalb des Gemeindegebiets der Stadt Ostfildern.
- Seit 1992 wird hier der neue Stadtteil „Scharnhauser Park“ geplant, entwickelt und aufgesiedelt. Er erstreckt sich über 150 Hektar und soll im Endausbau 10.000 Einwohner beheimaten.
- Es konnte eine für Neubaugebiete verhältnismäßig hohe bauliche Dichte erzielt werden (mittlere Geschossflächendichte liegt bei 1,2).
- Auch ist der Stadtteil durch eine kleinräumige Nutzungsmischung (Wohnen, Verwaltung, Gewerbe, Handel und Dienstleistung) gekennzeichnet.

© Dr. Ludger Eltrop

HOLZHEIZKRAFTWERK MIT ORC-MODUL ZUR NAHWÄRMEVERSORGUNG („SCHARNHAUSER PARK“, OSTFILDERN, BADEN-WÜRTTEMBERG)

Die technischen Daten zum Holzheizkraftwerk (HHKW), welches seit 2004 in Betrieb ist, sind in folgender Tabelle aufgeführt. Rund 80 % des gesamten Wärmebedarfs können durch diese Anlage regenerativ gedeckt werden. Die Spitzenlast wird durch einen erdgasbefeuerten Kessel gedeckt.

Technische Daten HHKW

Feuerungswärmeleistung Kessel	8,0 MW_{th}
Wirkungsgrad Kessel	85 %
Thermoölleistung	6,8 MW_{th}
Wärmeleistung ORC	5,3 MW_{th}
Wirkungsgrad thermisch ORC	78 %
elektrische Leistung	1,0 MW_{el}
Wirkungsgrad elektrisch ORC	15 %

Durch die Nutzung oberflächennaher Geothermie in einer städtischen Jugendeinrichtung (17 kW), den Gebrauch der Wasserkraft (67 kW), die Errichtung von photovoltaischen Anlagen (ca. 60 kWp) wird die Energieversorgung im Stadtteil zusätzlich diversifiziert und auf regenerative Basis gestellt.

Organisation und Realisierung

Der heutige Standort des Heizkraftwerks war bereits vor der Entwicklung des Baugebietes durch die ehemalige Kaserne gegeben. Als das Gebiet noch von den amerikanischen Streitkräften genutzt wurde, bestand ein Nahwärmenetz mit einem Heizwerk, das zunächst mit Kohle und später mit Erdgas betrieben wurde. Bei der Ausarbeitung des städtebaulichen Konzepts wurde das Siedlungsgebiet an diese Standortvorgaben angepasst. Das Siedlungsgebiet endet in einer Entfernung von 100 Metern zur Konversionsanlage. Der Standort des Heizkraftwerks ist in Bezug auf mögliche Störungen durch Lieferungen und Geruchsemissionen folglich günstig gelegen.

Der Betrieb des Holzheizkraftwerkes wird von einem eigens gegründeten Unternehmen durchgeführt, dessen Anteilseigner die lokalen Stadtwerke, die Stadt Ostfildern und ein Contracting-Unternehmen sind. Die erzeugte Wärme wird von der Betreiberfirma an die lokalen Stadtwerke veräußert, die ihrerseits die Wärmeverteilung an den Endkunden übernehmen. Das Holzheizkraftwerk wird zu rund einem Drittel mit Waldholz und zu zwei Dritteln mit Landschaftspflegeholz befeuert, beides wird durch ein Logistik-Unternehmen aus den umliegenden Kreisen (Entfernung bis rund 100 Kilometer) angeliefert.

Zu Beginn der Entwicklung des Stadtteiles war eine einheitliche Eigentümerstruktur gegeben, sodass die gesamte Projektsteuerung von einer Entwicklungsgesellschaft (einer 100-prozentigen Tochter der Stadt) durchgeführt und der Anschluss der Privateigentümer an das (durch das HHKW gespeiste) Nahwärmenetz mittels Immobilienkaufverträgen flächendeckend erwirkt werden konnte. Jeder Bewohner, der sich für den Scharnhauser Park als Wohnort entschieden hat, war also bereits im Vorhinein über die Bedingungen (Wärmeversorgung mit einem Nahwärmenetz) informiert und drückte durch Unterzeichnung des Kauf-/Mietvertrages sein Einverständnis aus. Dies bereitet – so belegt auch eine empirische Untersuchung [Jenssen, 2010a] – die Grundlage für eine breite Akzeptanz der Bioenergie im Stadtteil.

Die Planung des Stadtteils wurde darüber hinaus von einem intensiven Beteiligungsprozess flankiert, zu dem insgesamt 30 Arbeitskreistreffen (‚Foren‘) interessierter BürgerInnen, ein monatliches Jour Fixe von BürgerInnen und Verwaltung, ein Open Space Workshop und geführte Spaziergänge durch den Stadtteil gehörten [Jansen, 2008]; [Jessen, 2005].

Finanzierung und Förderung

Die Entwicklung des Stadtteils und seiner Energieversorgung wurde entscheidend mithilfe von Fördermitteln (Landesgartenschau 2002, Investitionszuschüsse des Landes, Bundesprogramm Experimenteller Wohnungs- und Städtebau, EU-Projekt POLYCITY) realisiert. Durch die Höhe und spezielle Art der Förderung ist der Scharnhauser Park kein direkt übertragbares Modell für andere Kommunen. Es zeigt sich aber auch, dass für die Realisierung von Bioenergieprojekten eine Vielzahl an Möglichkeiten zur finanziellen Unterstützung zur Verfügung stehen und in Hinblick auf ihre Verfügbarkeit für das jeweils geplante Vorhaben zu prüfen sind.

Zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit ist der Wärmeverkauf an den Endkunden (genau wie der Einkauf der Holzhackschnitzel) an den Gaspreis gekoppelt. Dieser Vorteil für den Betreiber weist jedoch gleichzeitig Nachteile für den Endkunden auf: Im Falle eines Preisanstiegs bei fossilen Energieträgern werden die Vorteile des kostengünstigeren Energieträgers Holz nicht an den Endkunden weitergegeben. Zudem ist die Nachvollziehbarkeit der Preisgestaltung für die Verbraucher oftmals schwierig.

Fazit

- Die Realisierung des Bioenergieprojektes wurde vor allem durch den Umstand begünstigt, dass ein komplett neuer Stadtteil entwickelt und die Anschlusspflicht an das Nahwärmenetz in die Kaufverträge aufgenommen wurde. Die künftigen Bewohner trafen daher im Zuge des Kaufs bzw. der Miete der Immobilien bewusst die Entscheidung für dieses Konzept und mussten nicht wie in einem Bestandsgebiet erst vom Anschluss überzeugt werden.
- Als weiterer Aspekt war für die reibungslose Realisierung des Bioenergieprojektes der Standort des Heizkraftwerks am Rande der Siedlung maßgeblich, da so mögliche Beeinträchtigungen der Bewohner reduziert werden konnten.

Insgesamt ist die Ausrichtung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger als integraler Bestandteil der ökologischen Ausrichtung des Stadtteils in weiten Teilen gelungen.

Weiterführende Infos

www.ing-buero-schuler.de
www.ostfildern.de/scharnhauser_park.html

6.1.3 Anlage zur Wärmeversorgung und Nutzung verschiedener Holzsortimente

HACKSCHNITZELHEIZWERK BRAKEL (NORDRHEIN-WESTFALEN)

Konzeption und technische Daten

- Das Hackschnitzelheizwerk Brakel in der Bioenergieregion Kulturland Kreis Höxter ist seit 2003 in Betrieb.
- Der Kreis Höxter hat eine Fläche von ca. 120.000 ha, wovon 30 % Waldfläche sind und 56 % landwirtschaftlich genutzt werden.
- Die Versorgung des Hackschnitzelheizwerks mit Biomasse erfolgt über Land-, Forstwirte, regionale Spediteure, Lohnunternehmer sowie den Maschinenring Höxter-Warburg.
- Als Brennstoff wird neben Wald- und Waldrestholz (stammt aus vier Forstbetrieben) auch Landschaftspflegeholz aus der Region, welches bei der Hecken- und Knickpflege anfällt, sowie Straßenbegleitgrün verwendet. Die Transportdistanz beträgt hierbei bis zu 80 km.

Das Heizwerk besteht aus zwei Hackschnitzelkesseln mit je 1,2 MW Leistung (siehe Tabelle). Die Spitzenlast wird über zwei Gaskessel mit jeweils 1 MW gedeckt.

Technische Daten Heizwerk Brakel

Feuerungswärmeleistung je Hackschnitzelkessel	1,2 MW_{th}
Feuerungswärmeleistung je Gaskessel	1,0 MW_{th}
jährlicher Biomassebedarf	ca. 3.000 t
jährliche Wärmeerzeugung	6.900 MWh
Länge des Nahwärmenetzes	1.400 m
jährliche CO_2-Einsparung	1.200 t/a

Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz mit einer Länge von 1.400 m. Zu den Wärmeabnehmern gehören:

- Kolping Berufsbildungswerk gGmbH
- Kreis Höxter (Kreisberufskolleg Brakel)
- Stadt Brakel (Grundschule)
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Kreisstelle Höxter)
- Landwirtschaftlicher Kreisverband Höxter-Warburg

Das Heizwerk erzeugt jährlich ca. 6.900 MWh Wärme. Hierfür werden ca. 3.000 t an Biomasse benötigt, welche von Forstbetriebsgemeinschaften angeliefert wird. In untenstehender Tabelle sind die Biomassearten und ihre jeweiligen Anteile aufgelistet.

Eingesetzte Biomasse und deren Anteil im Heizwerk Brakel

Rohstoff	Anteil
Waldfrischhackschnitzel (vornehmlich Schwachholz)	ca. 65 %
Sägewerksrest- und Althölzer (A1)	ca. 10 %
Landschaftspflegehölzer (Straßenbegleitgrün etc.)	ca. 25 %

Organisation und Realisierung

Das Hackschnitzelheizwerk wurde 2003 am Stadtrand von Brakel errichtet. Die Finanzierung des Projektes (Heizwerk und Nahwärmenetz) wurde von der Gesellschaft zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe GmbH (GNR) übernommen. Die GNR ist ebenfalls für den reibungslosen Betrieb des Heizwerkes verantwortlich und setzt sich aus folgenden regionalen Gesellschaftern, die das nötige Know-how für den Betrieb der Anlage mitbringen, zusammen (siehe Tabelle).

Gesellschafter des Heizwerk Brakels und deren Kompetenz

Gesellschafter	Kompetenz
Agrardienst GmbH	Logistik, Hackertechnik, Rohstoffe, kaufmännische und geschäftsführende Leistungen
E.ON-Energieservice	technische Betrieb und übergeordnete Leittechnik, Energiemanagement, Überwachung über Leitzentrale
Stratmann Städtereinigung	Altholzversorgung, Containerlogistik und Ascheentsorgung

Finanzierung und Förderung

Die gesamten Investitionskosten für das Hackschnitzelheizwerk betragen rund 1,5 Mio. Euro. Die Finanzierung des Bioenergie-Projektes wurde vom Land Nordrhein-Westfalen aus dem Fördertopf „Holzabsatzförderung“ unterstützt.

Der Wärmepreis wird mit den Kunden vertraglich festgelegt. Der Jahresumsatz beläuft sich pro Jahr auf ca. 400.000 Euro. Neben dem Klima profitieren v. a. die regionalen Waldbauern sowie Firmen.

Fazit

- Bedingt durch die Nutzung von regionalen Rohstoffen, kurze Transportwege, geringe Logistikkosten und durch die Wertschöpfung vor Ort kann die Wirtschaftlichkeit des Projektes garantiert werden.
- Die Einsparung an Heizöl beläuft sich jährlich auf ca. 700.000 l.
- Somit können pro Jahr rund 1.200 t des klimaschädlichen CO_2 eingespart werden

Weiterführende Infos

www.bioenergieregion.kreis-hoexter.de
www.mr-hoexter-warburg.com

6.1.4 Biogasanlage mit umfassendem Wärmenutzungskonzept

BIOGASANLAGE IN GETTORF (SCHLESWIG-HOLSTEIN)

Konzeption und technische Daten

- Die Biogasanlage Gettorf hat eine elektrische Leistung von 1.200 kW.
- Die tägliche Biogasproduktion beträgt ca. 13.000 m³
- In der Biogasanlage wird Gülle und Festmist mit Anbaubiomasse kofermentiert.
- Insgesamt besteht die Anlage aus zwei Fermentern und einem Nachgärer.
- Über Mikrogasleitungen gelangt das produzierte Biogas zu drei Satelliten-BHKWs.

In vielen Biogasanlagen wird die erzeugte Wärme nicht optimal genutzt, d. h. es muss notgekühlt werden. Um die entstehende Abwärme im BHKW effizienter zu nutzen, betreibt die Biogasanlage Gettorf (siehe untenstehende Tabelle) neben einem BHKW am Hof, welches zwei Wohnhäuser sowie die Betriebsgebäude versorgt, drei Satelliten-BHKWs. Das Biogas wird über ein Mikrogasnetz mit einer Länge von 4,2 km direkt zu den Wärmekunden transportiert. An den drei Standorten der Satelliten-BHKWs werden zwei Gewerbegebiete mit Ladengeschäften, einem Autohaus, einem Schwimmbad sowie einem Gesundheitszentrum versorgt. Weiter wird über ein Satelliten-BHKW Wärme in ein Wärmenetz der E.ON Hanse eingespeist. Die drei Satelliten-BHKWs haben eine elektrische Leistung von 265 kW (2 Anlagen) bzw. 330 kW.

Technische Daten Biogasanlage Gettorf

Installierte elektrische Leistung	1.200 kW_{el}
BHKW 1 (an der Biogasanlage)	340 kW_{el}
BHKW 2 (Satellit, Gewerbegebiet)	265 kW_{el}
BHKW 3 (Satellit, Gewerbegebiet)	265 kW_{el}
BHKW 4 (Wärmenetz Gettorf)	330 kW_{el}

Zur Abdeckung von Spitzenlasten und zur Überbrückung von Betriebsunterbrechungen werden noch weitere Gasbrenner in den Gewerbegebieten eingesetzt. Pufferspeicher von je 21 m³ an den Satelliten-BHKWs stehen zum Ausgleich von Lastschwankungen zur Verfügung. Diese weiteren Anlagen gewährleisten eine hohe Sicherheit der Wärmeversorgung.

Nachfolgend ist der Substratmix aufgelistet, welcher in der Biogasanlage vergoren wird:

- Rindergülle und Festmist (ca. 600 Rinder)
- Pferdemist
- Mais
- Ganzpflanzensilage
- Grassilage
- Getreide

Organisation und Realisierung

Betreiber der Biogasanlage und der Wärmenetze zur Versorgung der Gewerbegebiete ist die Bio PM GmbH & Co. KG.

Geplant war ursprünglich eine Biogasanlage mit einer elektrischen Leistung von einigen hundert kW. Bedingt durch die starke Wärmenachfrage v. a. durch die Gewerbegebiete und das bestehende Wärmenetz der E.ON Hanse wurde die elektrische Leistung der Biogasanlage schon in der Planungsphase auf 1.200 kW erhöht. Wie auch in anderen Bioenergieprojekten erwies sich hier eine transparente Präsentation des Vorhabens gegenüber der Gemeinde als sehr hilfreich. Somit konnten Hemmnisse und Bedenken bezüglich der Biogasanlage sowie der Wärmeversorgung schon im Voraus angegangen und widerlegt werden. Weiter trug zur erfolgreichen Umsetzung des Projektes die Kooperationsbereitschaft der E.ON Hanse bei.

© Eckhard und Maren Marxen

Das erste BHKW an der Biogasanlage wurde im Oktober 2009 installiert. Das Mikrogasnetz sowie die drei Satelliten-BHKWs wurden Ende 2010 errichtet. Die Planungen ergaben, dass durch den Bau des Mikrogasnetzes geringere Wärmeverluste und Baukosten verursacht werden. Für die Einspeisung des Biogases in das Mikrogasnetz ist ein Druck von 400 mbar notwendig. Hierfür werden ca. 0,03 kWh_{el} pro Kubikmeter Biogas (entspricht 1,5 % der im Biogas enthaltenen Primärenergie) benötigt. Hätte man anstatt des Mikrogasnetzes eine Wärmeleitung errichtet, beliefen sich die Verluste im Netz auf bis zu 30 % (entspricht ca. 12 % der im Biogas enthaltenen Primärenergie). Weiter wird der Vorteil der zentralen Verstromung des Biogases direkt an der Biogasanlage durch ein größeres BHKW mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad, durch die bessere Wärmeabgabe der Satelliten-BHKWs kompensiert.

Finanzierung und Förderung

Der Bau von BHKWs, Pufferspeichern, Wärme- und Mikrogasnetzen etc. wird über verschiedene Förderprogramme unterstützt. Neben dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) erteilt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zinsgünstige Kredite und Zuschüsse für unterschiedliche Projekte. Weiter besteht die Möglichkeit der finanziellen Unterstützung von Bioenergieprojekten über Landes-, Bundes- und EU-Gelder.

Der eingespeiste Strom wird über das EEG vergütet. Hier erhält der Anlagenbetreiber für jede eingespeiste kWh an elektrischer Energie eine feste Vergütung. Dieser Betrag wird dem Anlagenbetreiber über 20 Jahre plus das Jahr der Inbetriebnahme der Anlage zugesichert.

Fazit

- Neben dem Einsatz unterschiedlicher Substrate zeichnet sich die Anlage durch den Einsatz von Satelliten-BHKWs und der damit optimierten Wärmenutzung aus.
- Die jährliche Einsparung an CO_2-Emissionen beträgt ca. 7.000 t.
- Durch eine aktive Eibindung der Bevölkerung und der Gemeinde konnten schon im Vorfeld Zweifel und Vorbehalte gegenüber der Biogasanlage sowie den Satelliten-BHKWs ausgeschlossen werden.

Weiterführende Infos

www.schleswig-holstein.de/Waermenetzkarte

6.1.5 Heizwerk mit Strohverbrennung

STROHHEIZWERK HERMERSBERG (RHEINLAND-PFALZ)

Konzeption und technische Daten

- Seit der Inbetriebnahme 2011 versorgt das Strohheizwerk mit einer thermischen Leistung von 850 kW das Nahwärmenetz der Gemeinde Hermersberg.
- Die Gemeinde Hermersberg mit rund 1.750 Einwohnern liegt im Landkreis Südwestpfalz. Die landwirtschaftliche Nutzfläche beträgt rund 45 % der Gemeindefläche.
- Die Strohrundballen mit einem Gewicht von 300 bis 400 kg werden von umliegenden Landwirten angeliefert.

Die Nutzung von Stroh steht nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion wie es z. B. beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen der Fall ist. Jedoch ist bei der Nutzung von Stroh als Brennstoff zu beachten, dass nicht die gesamte anfallende Strohmenge energetisch genutzt werden kann. Primär wird Stroh als Einstreu in der Viehhaltung und zum Ausgleich der Humusbilanz auf dem Acker eingesetzt.

Nach der Anlieferung der Strohballen werden diese zerpflückt und das Stroh gelangt über den Vorratsbehälter mittels einer Förderschnecke in den rund 600 °C heißen Brennkessel. Der jährliche Strohbedarf beträgt ca. 500 t. Über die Abwärme des Kessels wird Wasser erwärmt und in drei Heißwasserspeichern mit einem Gesamtvolumen von 27.000 l gespeichert. Von den Pufferspeichern aus wird die Wärme über das 1.100 m lange Nahwärmenetz zu den anliegenden Verbrauchern gebracht. Insgesamt werden ca. 80 Gebäude mit der Anlage versorgt. Es handelt sich hierbei um ein Neubaugebiet, Häuser im Altbestand sowie einem Gewerbegebiet. Nachfolgende Tabelle zeigt die technischen Daten des Strohheizwerks.

Technische Daten Strohheizwerk Hermersberg

Thermische Leistung	850 kW_{th}
Strohbedarf	ca. 500 t/a
Pufferspeicher Volumen	3 x 9.000 l
Länge des Nahwärmenetzes	1.100 m
Max angeschlossene Gebäudeeinheiten	80
jährliche CO_2-Einsparung	ca. 477 t/a

Die Steuerung der Anlage erfolgt vollautomatisch. Der örtliche Heizungsbauer ist jedoch per Mobiltelefon mit der Steuerungseinheit verbunden und kann bei einer Störung der Anlage schnell vor Ort sein. Sollte das Strohheizwerk ausfallen, wird die Wärmeversorgung über einen Notfall-Ölbrenner gesichert.

Die jährliche Einsparung an Heizöl beläuft sich auf ca. 250.000 l. Dadurch können rund 477 t CO_2-Emissionen vermieden werden.

Organisation und Realisierung

Aufgrund der relativ isolierten Lage Hermersbergs von einer Metropolregion ist die Gemeinde nicht ein stark nachgefragter Wohnort. Weiter gibt es vor Ort keinen Erdgasanschluss. Aus diesem Anlass beschäftigten sich Kommunalpolitiker 2008 mit dem Vorhaben, das Dorf attraktiv und zukunftssicher zu machen. Bei der Suche nach einer Möglichkeit, Energie preiswert und unabhängig zu generieren, wurde beschlossen, auf regional vorhandene Biomassen zurückzugreifen und ein Strohheizwerk zu errichten. Betreiber der Anlage ist das gegründete Energiewerk der Verbandsgemeinde.

© WVE GmbH

Eine große Herausforderung beim Bau der Anlage stellte die Einhaltung der deutschen Vorgaben bezüglich der Rauchgasreinigung dar. Zu diesem Zeitpunkt der Planung gab es keine Strohheizwerke im thermischen Leistungsbereich von 800 kW, lediglich ein paar Pilotanlagen sowie kleinere Feuerungsanlagen in Dänemark. Letztendlich wurden jedoch mit der eingesetzten Rauchgasreinigung die gesetzlichen Vorgaben um Vielfaches unterschritten.

Die Wärmenachfrage im Gebäudebestand ist aufgrund des fehlenden Gasanschlusses in der Gemeinde sehr groß. Im Neubaugebiet wurde ein Anschluss- und Benutzungszwang der Nahwärme festgelegt.

Finanzierung und Förderung

Im Zuge des EU-Förderprogramms Integrierte Ländliche Entwicklung (ILE) entstand die Idee, den energetisch nutzbaren Teil des Strohs in einem Heizwerk zu verwerten. Ziel des Förderprogramms ist es, die Energiegewinnung aus regenerativen Energieträgern voran zu treiben.

Die Investitionskosten der Anlage betragen 900.000 Euro. Bezuschusst wurde das Heizwerk mit fast 265.000 Euro. Diese Summe wurde je zur Hälfte vom Land Rheinland-Pfalz und aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) bereitgestellt.

Die Verbraucher erhalten die Kilowattstunde Wärme für 5,6 Cent (inkl. Steuern). Neben einem Heizkessel sparen sich die Hausbesitzer den Heizöltank.

Fazit

- Neben dem Beitrag zum Klimaschutz (ca. 477 t vermiedene CO_2-Emissionen pro Jahr) wird die regionale Wertschöpfung, durch den Einsatz Stroh gefordert.
- Der energetisch nutzbare Anteil des Strohs steht in keiner Konkurrenz zur Nahrungsmittel- und Futtererzeugung.
- Mit 5,6 Cent pro Kilowattstunde (inkl. Steuern) stellt der angebotene Energiepreis gegenüber fossilen Brennstoffen eine günstige Alternative dar.
- Des Weiteren ist im Zuge von Neu- oder Umbauten das Wegfallen des Heizöltanks und des Heizraums hervorzuheben, die sowohl kosten- als auch raumintensiver sind als die Übergabestation der Nahwärme.

Weiterführende Infos

www.vgwaldfischbach-burgalben.de
www.wve-kl.de

6.1.6 Anlage zur Biokraftstoffnutzung

BIOETHANOL- UND BIODIESELPRODUKTION (VERBIO ETHANOL SCHWEDT GMBH & CO. KG, VERBIO DIESEL SCHWEDT GMBH & CO. KG, BRANDENBURG)

Konzeption und technische Daten

- Im August 2005 ging die VERBIO Ethanol Anlage in Schwedt in Betrieb.
- Im selben Jahr wurde die Biodieselanlage errichtet. Sie steht wie die Ethanolanlage auf dem Gelände der PCK-Raffinerie.

Für die Bioethanolproduktion (siehe untenstehende Tabelle) wird fast ausschließlich Roggen von Landwirten aus der Region verwendet. Der eingesetzte Rohstoff wird zu 90 % in Bioethanol und Biogas umgewandelt. Die restlichen entstehenden Koppelprodukte können als hochwertiger Biodünger wieder in die Landwirtschaft zurückgeführt werden.

Technische Daten Bioethanolanlage

Leistung	30 MW (45 MW bis 2013)
Produktionskapazität Bioethanol	200.000 t/a
Produktionskapazität Biomethan	250 GWh/a

In der Produktionsanlage für Biodiesel (siehe folgende Tabelle) kommt vorwiegend Rapsöl zum Einsatz. Das entstehende Nebenprodukt Glycerin kann zum Beispiel in der Kosmetik-, Lebensmittel- oder Pharmaindustrie weiterverwendet werden.

Technische Daten Biodieselanlage

Produktionskapazität Biodiesel	250.000 t/a
Produktionskapazität Pharmaglycerin	25.000 t/a

Die in Deutschland seit 2011 geltende Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung legt fest, dass bei der Erzeugung von Biokraftstoffen mindestens 35 % (ab 2017 50 %) weniger CO_2 freigesetzt werden darf als bei fossilen Kraftstoffe. Die VERBIO-Biokraftstoffprodukte erreichen und übertreffen diese Vorgaben für Biodiesel (51 %), Bioethanol (81 %) und Biogas (90 %) schon heute [eigene Angaben].

Organisation und Realisierung

Die VERBIO Diesel Schwedt GmbH & Co. KG sowie die die VERBIO Ethanol Schwedt GmbH & Co. KG sind beide Tochtergesellschaften der VERBIO Vereinigte BioEnergie AG. Die Holding der VERBIO AG beinhaltet neben dem Vorstand und den zentralen Unternehmensfunktionen auch die Forschung und Entwicklung sowie den Anlagenbau.

Die VERBIO AG, der einzige großindustrielle Produzent von Biodiesel, Bioethanol und Biomethan in Europa, nahm die beiden Anlagen kurz hintereinander im August 2005 und November 2005 in Betrieb. Im Jahr 2010 wurde die Bioethanolanlage zu einer Bioraffinerie mit einer Leistung von 30 MW ausgebaut. Bis 2013 wird sie bis auf 45 MW erweitert werden. Die Kopplung einer Biomethan-, Bioethanol- und Biodüngeranlage innerhalb der Bioraffinerie ist in diesem Maßstab weltweit einzigartig.

© VERBIO Vereinigte BioEnergie AG

Die Bioethanolanlage ist europaweit die erste Anlage, welche auf dem Gelände einer Mineralölraffinerie errichtet wurde. Für beide Anlagen (Bioethanol und Biodiesel) ergibt sich aus ihrer Lage auf dem Gelände der PCK Raffinerie GmbH ein großer Standortvorteil durch kurze Transportwege und die energetische Integration in eine Großraffinerie. Der größte Teil des Biodiesels fließt zum Beispiel über eine Pipeline direkt zur Beimischung in die Mineralölraffinerie.

Fazit

Im Zuge einer nachhaltigen Energie- und Klimapolitik werden Biokraftstoffe und deren effiziente Herstellung immer wichtiger. Neben der Erhöhung der Versorgungssicherheit in Deutschland durch geringere Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen bergen sie auch unter Einbeziehung des gesamten Wertschöpfungsprozesses ein sehr hohes CO_2-Minderungspotenzial. Durch die Nutzung der Ganzpflanze, geschlossene Kreisläufe, Einbindung regionaler Landwirte und die Nähe zu einer Großraffinerie zur Beimischung der Biokraftstoffe in andere Mineralölprodukte erreicht die VERBIO AG in beiden Produktionsanlagen einen besonders effizienten und CO_2-sparenden Prozess.

Es wird nicht nur darauf Wert gelegt, nachwachsende Rohstoffe für die Herstellung der Biokraftstoffe zu verwenden sondern auch darauf, dass deren Qualitäten nicht zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion geeignet sind. Der Leitspruch lautet: „Erst auf den Teller, dann in den Tank“. Die notwendigen Rohstoffe zur Bioethanol- und Biomethanproduktion werden zu über 95 % aus der unmittelbaren Umgebung bezogen, in enger Zusammenarbeit mit Landwirtschaftsverbänden und mit festen Abnahmeverträgen.

Weiterführende Infos

www.verbio.de

6.1.7 Bioenergiedorf Wettesingen

WETTESINGEN – EIN DORF MACHT BIO-MOBIL (HESSEN)

Konzeption und technische Daten

- Biogasanlage (500 kW-BHKW) 2007 am Dorfrand errichtet.
- Gründung der Wettesinger Energiegenossenschaft im Jahr 2010.
- Heizwerk mit 366 kW-Biogas-BHKW und 1.300 kW-Biogaskessel (vorsorgt über 380 m Rohgasleitung aus erweiterter Biogasanlage).
- Nahwärmenetz für Wettesinger Haushalte, gewerbliche und öffentliche Gebäude.
- Heizwerk mit 3 Holzpelletheizkesseln (zusammen 1.640 kW).

Organisation und Realisierung

Das hessische Dorf Wettesingen, ein Ortsteil der Gemeinde Breuna mit 370 Haushalten und ca. 1.300 Einwohnern liegt am Rand des Naturparks Habichtswald. Vier von fünf Häuser in Wettesingen sind unter Denkmalschutz stehende Fachwerkbauten. Da sich deren Wärmebedarf bei energetischen Sanierungen nur bedingt reduzieren lässt, war ein Großteil der Bürgerschaft schnell für ein gemeinsames, genossenschaftliches Vorgehen bei der Wärmeversorgung bereit. Mit zunächst 200 Haushalten wurde die Energiegenossenschaft Wettesingen e. G. gegründet und eine Nahwärmeversorgung auf Grundlage Bioenergie geplant. Kalkulierbare Wärmepreise von 7 Cent/kWh und die Perspektive, sich künftig nicht mehr um Heizkesselwartung bzw. -ersatz, Schornsteinfegergebühren, Brennstoffeinkauf etc. sorgen zu müssen, erleichterten die Entscheidung für eine zentrale Wärmeversorgung mit Nahwärmenetz.

Die Energiegenossenschaft plante im ersten Schritt einen Heizwerkstandort mit Biogas-BHKW und Biogas-Heizkessel an einem Gartenbaubetrieb und im zweiten Schritt ein Heizwerk mit drei Pelletheizkesseln. Eine 2007 an einem Landwirtschaftsbetrieb errichtete 500 kW-Biogasanlage wurde erweitert und liefert aus einem zusätzlichen Fermenter Biogas über eine Rohgasleitung an das Biogas-BHKW der Energiegenossenschaft. Ein Nahwärmenetz verbindet Biogas-BHKW/Biogaskessel, Pelletheizwerk und die zahlreichen Wärmeabnehmer im Ort.

Neben bisher 200 Haushalten werden im Ort auch das Rathaus, Kindergarten und Feuerwehrhaus, eine Metzgerei, eine Schreinerei, zwei Kirchen und die Wettesinger Sparkasse über das Wärmenetz versorgt. Bei der Verlegung des Wärmenetzes wurden übrigens gleich Leerrohre für Glasfaserkabel mitverlegt, um den Ort nun günstig mit schnellem Internet versorgen zu können.

Mit der Grundlast aus dem BHKW, der Mittel- und Spitzenlast aus den in Kaskade geführten Holzpelletheizkesseln (390, 530 und 720 kW) wird Wettesingen seine Wärme künftig zu 100 % aus Bioenergie beziehen.

Bei der Organisation und Realisierung des Vorhabens stand der Energiegenossenschaft die Viessmann Group als Partner zur Seite. Auf Basis fest vereinbarter Wärmepreiskonditionen übernahm damit ein Partner – aus einer Hand – die Detailplanung, Lieferung von Anlagentechnik, Bauausführung und Inbetriebnahme des Wärmeversorgungssystems.

Finanzierung und Förderung

Rund 200 Hausbesitzer zeichneten einen Genossenschaftsanteil von 500 Euro an der Energiegenossenschaft und leisteten 3.500 Euro als Eigenkapitalbeteiligung. Die Finanzierung des Vorhabens wurde von der UmweltBank AG, Nürnberg, begleitet. Aus dem Marktanreizprogramm „Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ erfolgte über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und das BAFA eine Förderung für die Pelletheizkessel, für die Wärmeübergabestationen in den Gebäuden sowie für das Nahwärmenetz.

Fazit

Die Ökobilanz des Bioenergie-Einsatzes in Wettesingen ist beachtlich. Biomasse ersetzt jährlich ca. 800.000 Liter Heizöl. Dies spart Emissionen von 1.300 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten ein. Wettesingen leistet damit einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz und erhöht die regionale Wertschöpfung. Die Bürger profitieren von künftig stabilen Wärmepreisen.

Weiterführende Infos

www.bioenergie-wettesingen.de
www.viessmann.de/bioenergiedorf

7 AUTORENINFORMATION UND LITERATURVERZEICHNIS

7.1 Informationen zu Autorinnen und Autoren

Autorinnen/Autoren
Dr. sc. agr. Ludger Eltrop, Dr. sc. agr. Marlies Härdtlein, Dr.-Ing. Till Jenssen (jetzt Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft BW), Dr.-Ing. Enver Doruk Özdemir, Dipl.-Ing. Martin Henßler, Dr.-Ing. Christoph Kruck

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)
Abteilung „Systemanalyse und Erneuerbare Energien (SEE)“
Universität Stuttgart
Heßbrühlstraße 49a
70565 Stuttgart

Der vorliegende Dachleitfaden Bioenergie wurde mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart erstellt. Die FNR hat die Erstellung fachlich begleitet. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch bei den Autoren.

In den Dachleitfaden sind übergeordnete Inhalte aus dem Leitfaden Bioenergie (Jahr 2000 bzw. Jahr 2005) zu Grundlagen der biogenen Festbrennstoffe als nachwachsende Energieträger, zu Biomasse-Potenzialen, zu dem Für und Wider einer Energiegewinnung aus biogenen Festbrennstoffen, zur Projektentwicklung und -realisierung sowie zur Finanzierung und Förderung eingeflossen. Nachfolgend wird auf **die Autorinnen und Autoren der entsprechenden Kapitel des Leitfadens Bioenergie der Auflagen vom Jahr 2000 und 2005 in alphabetischer Reihenfolge** verwiesen (im Falle eines Instituts- bzw. Firmenwechsels sind in Klammern die früheren Institutionen angegeben).

Dr. sc. agr. Sabine Deimling
PE International – Sustainability Performance
Hauptstraße 111–113
70771 Leinfelden-Echterdingen
(IER, Universität Stuttgart)

Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer
Fachhochschule Nordhausen
Weinberghof 4
99734 Nordhausen
(IER, Universität Stuttgart)

Dipl.-Ing. Peter Heinrich
Fichtner GmbH & Co. KG
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart

Dipl.-Ing. Birgit Jahraus
Fichtner GmbH & Co. KG
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt
Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eißendorfer Straße 40
21073 Hamburg
(IER, Universität Stuttgart bzw. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig)

Dipl.-Biol. Konrad Raab
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70182 Stuttgart
(IER, Universität Stuttgart)

Dr. sc. agr. Christine Rösch
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Postfach 3640
D-76021 Karlsruhe
(IER, Universität Stuttgart)

Dipl.-Ing. Bettina Schneider
(IER, Universität Stuttgart)

Dipl.-Ing. Sven Schneider
(Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig)

7.2 Literaturverzeichnis

[AGEB, 2013]
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2012. Berlin: Selbstverlag

[AGEB, 2014]
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2013. Berlin: Selbstverlag

[Allensbach, 2007]
Allensbach: Bundespresseamt (Hrsg.): Allensbach-Studie zur Energieversorgung und Energiepolitik. Stand: November 2007 – zitiert aus FAZ vom 19.12.2007 „Preisschock auf dem Energiemarkt".

[Alpert, 1992]
Alpert, S. B.; Spencer, D. F.; Hidy, G.: Biospheric Options for Mitigation Atmospheric Carbon Dioxide Levels. Energy Conversion and Management, 33 (5–8), 1992.

[Aretz, Hirschl, 2007]
Aretz, Astrid; Hirschl, Bernd 2007: Biomassepotenziale in Deutschland: Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Eberswalde: Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1: www.dendrom.de (Zugegriffen am 10.12.2010).

[ASUE, 2005]
Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und Umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) (Hrsg.) (2005): Dienstleistungen und Finanzierungsangebote von Energieversorgungsunternehmen: Contracting. Februar 2005. www.asue.de

[BAFA, 2011]
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (Hrsg.) (2011): Checkliste: Musterverträge für Energiespar-Contracting sowie Energieliefer-Contracting (als Wärmeliefervertrag) (Stand 01.10.2011). www.bfee-online.de/bfee/informationsangebote/mustervertraege/contracting_mustervertraege/index.html (Zugegriffen am 02.08.2012).

[Bahrs, Held, 2007]
Bahrs, E. und Held, J.-H.: Steigende Nachfrage auf den Energie- und Agrarrohstoffmärkten – Konsequenzen für die niedersächsische Landwirtschaft, die Bodenmärkte und die Agrarpolitik – Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen – Studie im Auftrag des niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2007.

[Bäsmann, 2010]
Bäsmann, H. (2010): Definition und Grundlagen. In: „Der Facility Manager": Marktübersicht der Energiecontracting-Anbieter. Deutschland 2010. S. 8–13.

[Bauer et al., 2009]
Bauer, Christian; Schenler, Werner; Hirschberg, Stefan; Marucci, Adriana; Burgherr, Peter; Roth, Stefan; Zepf, Niklaus: Systemvergleich von Strom- und Wärmeversorgung mit zentralen und dezentralen Anlagen. Villigen/Zürich, Paul Scherer Institut, Axpo Holding, 2009.

[BauGB, 2011]
Baugesetzbuch vom 23.07.1960, zuletzt geändert am 11.06.2013. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbaug/gesamt.pdf (Zugegriffen am 13.03.2014).

[BBR, 2007]
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): Grünes Gold im Osten?! Flächenansprüche von Biomassepfaden durch klimabedingte Ausbauziele und Handlungsoptionen für die Raumordnung, Bonn, Selbstverlag des BBR, 2007.

[BBSR, 2011]
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Strategische Einbindung regenerativer Energien in regionale Energiekonzepte Wertschöpfung auf regionaler Ebene, Bonn, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 18/2011, 2011.

[Berndes et al., 2002]
Berndes, Göran: Bioenergy and water – the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply, Global Environmental Change 12 (2002) 253–271.

[BetrSichV, 2011]
Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung) vom 27.09.2002, (Zuletzt geändert am 08.11.2011). www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/betrsichv/gesamt.pdf (Zugegriffen am 10.04.2014).

[Bilharz, 2008]
Bilharz, M.: „Key Points" nachhaltigen Konsums. Ein strukturpolitisch fundierter Strategieansatz für die Nachhaltigkeitskommunikation im Kontext aktivierender Verbraucherpolitik. Marburg, Metropolis-Verlag, 2008.

[BLE, 2013]
Erteilte Anerkennungen für Zertifizierungssysteme und Zertifizierungsstellen, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn, 2013. http://www.ble.de/DE/02_Kontrolle/05_NachhaltigeBiomasseherstellung/04_Anerkennungen_MusterVordrucke/AnerkennungenMusterVordruckeNachhaltige_node.html (Zugegriffen am 07.11.2013).

[BImSchG, 2012]
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz-BImSchG) vom 15.03.1974 (Zuletzt geändert am 27.06.2012). www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf (Zugegriffen am 25.07.2012).

[1. BImSchV, 2010]
Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). Ausfertigungsdatum: 26.01.2010. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_1_2010/gesamt.pdf (Zugegriffen am 25.07.2012).

[9. BImSchV, 2007]
Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren – 9. BImSchV) vom 18.02.1977 (Zuletzt geändert am 23.10.2007). www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_9/gesamt.pdf (Zugegriffen am 25.07.2012).

[Biokraft-NachV]
Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 30.09.2009 (BGBl. I S. 3182), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 22.06.2010 (BGBl. I S. 814) geändert worden ist.

[BioAbfV]
Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung) vom 21.09.1998. (Zuletzt besucht am 23.04.2012). www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bioabfv/gesamt.pdf (Zugegriffen am 25.07.2012).

[BiomasseV, 2012]
Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV) (2012). Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Verordnungstextes in der ab 01.01.2012 geltenden Fassung. www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/gesetze/biomasseverordnung/doc/2671.php (Zugegriffen am 10.04.2014).

[BioSt-NachV]
Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung vom 23.07.2009 (BGBl. I S. 2174), die zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 28.07.2011 (BGBl. I S. 1634) geändert worden ist.

[Blesl et al., 2009]
Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U., König, A., Jenssen, T., Eltrop, L.: Wärmeatlas Baden-Württemberg – Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen, Universität Stuttgart, 2009. http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4840/pdf/Waermeatlas_BW.pdf (Zuletzt besucht am 07.11.2013).

[BMU, 1999]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 1999: Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Bonn, Münster, Stuttgart, Wuppertal: Selbstverlag: S. 138.

[BMU, 2011a] (Kapitel 4 Abbildung)
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. BMU Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung". Methodenhandbuch – Methoden zur stoffstromorientierten Beurteilung für Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms. Version 2.1, Oktober 2011.

[BMU, 2011b]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Vergütungssätze, Degression und Berechnungsbeispiele nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 04.08.2011, „EEG 2012". www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssaetze_eeg_2012.pdf (Zugegriffen am 07.04.2014).

[BMU, 2012]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen, Stand: März 2012, Berlin, Selbstverlag, 2012.

[BMU, 2013a]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand: Februar 2013, Berlin, Selbstverlag, 2013.

[BMU, 2013b]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und Internationale Entwicklung. (Stand: Juli 2013) Berlin, Selbstverlag, 2013.

[BMELV, 2004]
Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Berlin: Selbstverlag, 2004.

[BMELV, BMU, 2010]
BMELV: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Anhang. Berlin. 2010.

[BMWi, 2011]
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi, www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html (Zugegriffen am 15.08.2011).

[BMWi, 2014]
Erneuerbare Energien im Jahr 2013 – Erste vorläufige Daten zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin, 2014.

[Bohunovsky et al., 2007]
L. Bohunovsky, R. Madelener, I. Omann, M. Bruckner, S. Stagl, Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung von lokalen Energieszenarien – Lokale Energiesysteme der Zukunft, Ökologisch Wirtschaften 2 (2007) 47–50.

[Böttcher, 2009]
Böttcher, Jörg (2009): Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Vorhaben. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH. München.

[BP, 2010]
BP: BP Statistical Review of World Energy 2011. London, Selbstverlag, 2011.

[Bruckner, Strohmeier, 2010]
Starthilfepaket Biomasseheizwerke, Bayerischer Gemeindetag mit Verband Deutscher Biomasseheizwerke e.V. (2010). http://www.holz-von-hier.de/Bioenergie_Bioenergie_0_kkdetail_KK_OHNE.html?KK_OHNE_vt=starthilfe (Zugegriffen am 17.11.2013).

[Buddenberg und Kralemann, 2002]
Buddenberg, J.; Kralemann, M.: Welches Potenzial bietet der Energieholzmarkt wirklich? Studie der Niedersächsischen Energieagentur. Hannover. 2002.

[Bundesregierung, 2011]
Bundesregierung: Energie für Deutschland. Das Energiekonzept der Bundesregierung. Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich, Berlin, Selbstverlag, 2011.

[Campbell et al., 2008]
Campbell, J., Lobell, D., Genova, R., Field, C.: The global potential of bioenergy on aban-doned agricultural lands. Environmental Science & Technology, Volume 42, No. 15, 5791-5794, 2008.

[Chum et al., 2011]
Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud, 2011: Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[DBFZ, 2011]
Deutsches BiomasseForschungsZentrum: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. DBFZ Report Nr. 4, DBFZ Leipzig, 2011. https://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_4.pdf (Zugegriffen am 07.11.2013).

[Degenhart, 2010]
Degenhart, Heinrich (2010): Die Finanzierung von Biomasse-Nahwärme-Genossenschaften. Ein Überblick. Arbeitspapierreihe Wirtschaft & Recht. Arbeitspapier Nr. 6. Institut für Wirtschaftsrecht (ifWR) der Leuphana Universität Lüneburg. Oktober 2010. www.leuphana.de/professuren/finanzierung-finanzwirtschaft/arbeitspapierreihe.html

[Diefenbacher et al., 2003]
H. Diefenbacher, V. Teichert, S. Wilhelmy, Leitfaden. Indikatoren im Rahmen einer lokalen Agenda, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2003.

[DIN EN ISO 14040]
Deutsches Institut für Normung: Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen, Erläuterungen, DIN EN ISO 14040, 1997.

[DLG, 2011]
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (2011): Tagung Dezentrale Energieversorgung „Bioenergie in Kommunen – Partnerschaften zwischen Land- und Forstwirtschaft und Kommunen“. 29.03.2011. Fulda. www.dlg.org/bioenergiepartnerschaft.html (Zugegriffen am 21.04.2012).

[DLR, 2004]
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stuttgart: Selbstverlag, 2004.

[DüMV]
Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung) vom 05.12.2012 www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_mv_2012/gesamt.pdf (Zugegriffen am 07.11.2013).

[DüV]
Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 10.01.2006, zuletzt geändert am 24.02.2012. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf (Zugegriffen am 07.04.2014).

[EEG, 2012]
Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzestextes in der ab 01.01.2012 geltenden Fassung.

[Ehrenstein, 2012]
Ehrenstein, U., Strauch, S. und Hildebrand, J. (2012): Akzeptanz von Biogasanlagen. Hintergrund, Analyse und Empfehlungen für die Praxis. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und Forschungsgruppe Umweltpsychologie (FG-UPSY) des Saarlandes (Hrsg.). Projekt gefördert durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). März 2012.

[EnWG, 2012]
Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 07.07.2005 (Zuletzt geändert am 16.01.2012). www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enwg_2005/gesamt.pdf (Zugegriffen am 07.04.2014).

[Feldmann, 2011]
Feldmann, I. (2011): Entwicklung von Gemeinschaftsprojekten. ARGE Bioenergie-Region Ludwigsfelde. Vortrag im Rahmen der „Bioenergie-Erfolgsmodelle Ländertour 2011“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

[Fichtner, 2000]
Fichtner: Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart. In: FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie, Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Gülzow. 2000.

[Field et al., 2007]
Field, C., Campbell, J., Lobell, D.: Biomass energy: the scale of the potential resource, Trends in Ecology and Evolution, Volume 23, No. 2, 65–72, 2008.

[FNR]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow, 2007: Eltrop, L.; Raab, K.; Hartmann, H., Schneider, S.; Schröder, G.; Fischer, J.; Jahraus, B.; Heinrich, P.

[FNR, 2003]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Klimaschutz und Arbeitsplätze durch Bioenergie. Pressemitteilung der FNR vom 02.07.03, 2003.

[FNR, 2010]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.) (2010): Wege zum Bioenergiedorf. Leitfaden. Gülzow. Dezember 2010.

[FNR, 2012]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.) (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüren für 1) Mecklenburg-Vorpommern, 2) Niedersachsen, 3) Brandenburg, 4) Thürgingen. Jeweils 1. Auflage 2012. Gülzow.

[FNR, 2013a]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Pelletheizungen Marktübersicht. 7. Auflage 2013. Gülzow.

[FNR, 2013b]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Hackschnitzel-Heizungen Marktübersicht. 4. Auflage 2013. Gülzow.

[FNR, 2013c]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Basisdaten Bioenergie Deutschland. 2013. Gülzow.

[FNR, 2013d]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 3. Auflage 2013. Gülzow.

[FNR, 2013e]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Leitfaden Biogas. 6. Auflage 2013. Gülzow.

[FNR, 2013f]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Geschäftsmodelle Bioenergieprojekte – Rechtsfragen, Vertrags- und Steuerfragen. 1. Auflagen 2013. Gülzow.

[FNR, 2014]
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Leitfaden Feste Biobrennstoffe. 1. Auflage 2014. Gülzow. (in Vorbereitung)

[Foley et al., 2011]
Foley, N., Ramankutty, N., Brauman, K., Cassidy, E., Gerberl, M., Johnston, M., Mueller, N., O’Connell, C., Deepak, K., West, R., Balzer, C., Bennet, E., Carpenter, S., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstro, J., Sheehan, J., Siebert, S. Tilman, D., Zaks, D.: OSolutions for a cultivated planet. Nature, 477/2011: 337–342.

[FORESO, 2008]
FORESO GmbH (Hrsg.) (2008). Biomasse Leitfaden für Kreditinstitute. Handbuch zur Prüfung und Finanzierung von Biomasseheizkraftwerken. Autoren: Thomas Lang, Astrid Grell. Februar 2008.

[Fritsche et al., 2010]
Fritsche, U., Hennenberg, K., Huenecke, K.: The “iLUC Factor” as a Means to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land Use Change, Working Paper, Darmstadt: Öko-Institut 2010.

[Fritsche, Rausch, 2008]
Fritsche, U. Rausch, L.: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

[Gerhard et al., 2011]
Gerhard, M.; Rüschen, T.; Sandhövel, A. (Hrsg.) (2011): Finanzierung Erneuerbarer Energien. Frankfurt School Verlag. September 2011.

[Haas und Kranzl, 2003]
Haas, R.; Kranzl, L.: Bioenergie und Gesamtwirtschaft: Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich. Berichte aus Energie- und Umweltforschung; 2003/12. Im Auftr. des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 239 S., 2003.

[Haberl et al., 2010]
Haberl, H., Beringer, T., Bhattacharya, S., Erb, K., Hoogwijk, M., The global technical potential of bioenergy in 2050 considering sustainability constraints, Environmental Sustainability, Volume 2, 394–403, 2010.

[Hack, 2002]
Hack, M.: Rechtliche Rahmenbedingungen des Contracting. In: Bemmann, U.; Schädlich, S. (Hrsg.): Contracting Handbuch 2002. Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln. 2002.

[Heck, Hoffmann, 2004]
Heck, P., Hoffmann, D., Wern, B.: Anleitung zur energetischen Biomassenutzung in Rheinland-Pfalz. Universität des Saarlandes. Institut für angewandtes Stoffstrommanagement. Birkenfeld 2004.

[Hepperle, Teuffel, 2007]
Hepperle, F.; Teuffel, K. Frhr. v.: Nachhaltige Waldwirtschaft und Holzenergie Deutschland und Europa. Vortrag im Rahmen des Bioenergie-Kolloquiums am 12.02.2007 in Stuttgart, 2007.

[Hoffmann, 2007]
Hoffmann, D.: Regionale Wertschöpfung durch optimierte Nutzung endogener Bioenergiepotenziale als strategischer Beitrag zur nachhaltigen Regionalentwicklung. Universität des Saarlandes. Institut für angewandtes Stoffstrommanagement. Saarbrücken, 2007.

[Holm-Müller, Breuer, 2006]
Holm-Müller, K.; Breuer, T.: Potenzialkonzepte für Energiepflanzen. In: BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) 2006: Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2 2006: 7–13, 2006.

[Hoogwijk et al., 2003]
Hoogwijk, M., Faaij, A., Broek, R., Berndes, G., Gielen, D., Turkenburg, W.: Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy, Biomass & Bioenergy, Volume 25, 119–133, 2003.

[Hoogwijk et al., 2005]
Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., Vries, B., Turkenburg, W.: Potential of biomass out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios, Biomass & Bioenergy, Volume 29, 225–257, 2005.

[IE, 2003]
IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht. Endbericht, Leipzig, Dezember, 2003.

[IE, 2004]
IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse. Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat.) im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW). Leipzig, März 2004. 2004.

[IE, 2006]
Institut für Energetik: Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext, Leipzig, Selbstverlag, 2006.

[IEA Bioenergy, 2009]
Bioenergy – a Sustainable and Reliable Energy Source, Main report, Whakarewarewa, Selbstverlag, 2009.

[IER, 2012]
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Uni Stuttgart, 2012.
www.uni-stuttgart.de/ier

[IAEA, 2002]
International Atomic Energy Agency, Energy Indicators for Sustainable Development. Guideline and Methodologies, Selbstverlag, Wien, 2002.

[IE Leipzig, IfEU, 2007]
CO_2-Minderungsmengen und -kosten bei einer Nutzung nachwachsender Rohstoffe im energetischen Bereich; Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2007.

[IHK, 2012]
Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart (IHK) (2012): Der Investitionsabzugsbetrag und die Sonderabschreibung nach § 7 g EStG. Stand Januar 2012. www.stuttgart.ihk24.de/recht_und_steuern/steuerrecht/Einkommen-_und_Koerperschaftssteuer (Zugegriffen am 02.04.2012).

[IINAS, 2013]
IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 4.81. Computerdatenbank: www.gemis.de (Zugegriffen am 07.11.2013).

[IMA, 2002]
IMA: Image der deutschen Landwirtschaft, Oktober 2002.
www.ima-agrar.de/Dateien/Imagestudie.pdf (Zugegriffen Nov. 2003). Bonn. 2002.

[IPCC, 2008]
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Klimaänderung 2007: Synthesebericht. Deutsche Übersetzung; Berlin, 2008.

[Jacoby, 2010]
Jacoby, M.: Konzept zur rechtlichen und wirtschaftlichen Machbarkeit einer Energielogistik Vulkaneifel. Im Auftrag der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Vulkaneifel mbH; L.E.E. s.à r.l. Junglinster, 2010.

[Jansen, 2008]
Jansen, K. J.: Dialog. Ostfildern, 2008.

[Jauschnegg, 2011]
Jauschnegg, H.: Vergleich der Situation der Wärmeerzeugung aus Biomasse am Beispiel Österreich, Impulsvortrag auf der Tagung Wärmeerzeugung aus Biomasse – Aktueller Stand und Handlungsbedarf am 20.10.2011 in Berlin.

[Junker et al., 2000]
Junker, A.; Schwarz, R.; Schwarz-Schier, J.-C.: Genehmigungsverfahren und Umweltschutz. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, Loseblatt-Ausgabe, 43. Ergänzungslieferung, Februar 2000.

[Jenssen, 2010a]
Jenssen, Till 2010: Einsatz der Bioenergie in Abhängigkeit von der Raum- und Siedlungsstruktur. Wärmetechnologien zwischen technischer Machbarkeit, ökonomischer Tragfähigkeit, ökologischer Wirksamkeit und sozialer Akzeptanz. Wiesbaden: Vieweg Teubner Research, 2010.

[Jenssen, 2010b]
Jenssen, Till 2010: Nachhaltige Bioenergie nachhaltig nutzen! In: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Jahrgang 34, Nummer 2: 117–127.

[Jessen, 2005]
Jessen, J.: Quartierszenario Ostfildern Scharnhauser Park 2030, in: disP 4/05, S. 36–49, 2005.

[Kaltschmitt et al., 2009]
Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. Hofbauer, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Neu überarbeitete und erweiterte Auflage, 2009.

[Kaltschmitt et al., 2008]
Kaltschmitt M.; Lenz V.; Thrän D.: Zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland – Potenziale, Stand und Perspektiven. Leibnitz-Institut für interdisziplinäre Studien e.V. LIFS Online. 25.08.2008.

[Kaltschmitt, Thrän, 2008]
Kaltschmitt, M.; Thrän, D.: Bioenergie im globalen Energiesystem. Möglichkeiten und Grenzen, Zeitschrift für Energiewirtschaft, 02/2008, 127–138.

[Kaltschmitt, Hartmann, 2001]
Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 1. Auflage, 2001.

[Kanning et al., 2009]
Kanning, H., Buhr, N., Steinkraus, K.: Erneuerbare Energien – Räumliche Dimensionen, neue Akteurslandschaften und planerische (Mit)Gestaltungspotenziale am Beispiel des Biogaspfades, Raumforschung und Raumordnung 67, 142–156, 2009.

[Kasthofer, 1818]
Kasthofer KA (1818); zitiert nach Hilty L (2006) Umweltbezogene Informationsverarbeitung. Beiträge der Informatik zu einer nachhaltigen Entwicklung. Hamburg: Habilitationsschrift an der Universität Hamburg: 66.

[Knappe et al., 2007]
Knappe, F.; Böß, A.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Vogt, R.; Dehoust, G.; Schüler, D.; Wiegmann, K.; Fritsche, U.: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Umweltforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (HRSG). Dessau, 2007.

[Knoll, Rupp, 2007]
Knoll, M.; Rupp, J.: Stoffliche oder energetische Nutzung? Nutzungskonkurrenz um die Ressource Holz. IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH (www.izt.de). Berlin, 2007.

[Koch et al., 2010]
Koch, Annika; Porsche, Lars; Wacker, Alexander 2010: Genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien? BBSR-Berichte KOMPAKT 13/2010: S. 6.

[König, 2009]
König, Andreas: Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis zum Jahr 2030. Stuttgart: Dissertation an der Universität Stuttgart, 2009.

[Kost et al., 2012]
Kost C., Schlegl T., Thomsen J., Nold S., Mayer J.: Studie Stromgestehungskosten erneuerbare Energien, ISE. Mai 2012.

[Kowalski et al., 2009]
K. Kowalski, S. Stagl, R. Madlener, I. Omann, Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis, European Journal of Operational Research 197 (2009) 1063–1074.

[Lahl, 2010]
Lahl, U.: iLUC und Biokraftstoffe in der Analyse. Regionale Quantifizierung klimaschädlicher Landnutzungsänderungen und Optionen zu deren Bekämpfung, Berlin, Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., 2010.

[LBO, 2012]
Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 05.03.2010 (zuletzt geändert am 03.12.2013). www.gaa.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16493/1_2_1.pdf (Zugegriffen am 13.03.2014).

[Leible et al., 2003]
Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, C.; Wintzer, D.: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft – Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Karlsruhe: Forschungszentrum 2003 (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882), 278 Seiten. 2003.

[Loibnegger et al., 2010]
Loibnegger, T.; Metschina, Ch.; Solar, T.: Regionale Biomassehöfe. 3 Schritte zu einer erfolgreichen Projektrealisierung. Hrsg.: Landwirtschaftskammer Steiermark (Referat Energie und Biomasse), Graz. Ausarbeitung im Rahmen des von Intelligent Energy Europe geförderten Projektes „Biomasstradecentres".

[Lysen, Egmond, 2008]
Lysen, E., Egmond, S. (Hrsg.): Biomass Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy , Bilthoven, Netherlands Environmental Assessment Agency, 2008.

[Maciejczyk, 2010]
Maciejczyk, M. (2010): Hilfestellungen für eine positive Öffentlichkeitsarbeit seitens des Fachverbandes Biogas e.V. Vortrag auf der Tagung „Öffentlichkeitsarbeit und Konfliktmanagement bei Bioenergieprojekten". 02.12.2010. Bad Hersfeld.

[Mantau, 2008]
Mantau, U.: Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. In: Seintsch, B.; Dieter, M.: Waldstrategie 2020, Tagungsband zum Symposium des BMELV, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut: 27–36. 2008.

[Münch, 2008]
Münch, J.: Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland. Positionspapier, Heidelberg, Institut für Energie- und Umweltforschung, 2008.

[NABU, 2006]
Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) (2006): Leitfaden Erneuerbare Energien. Konflikte lösen und vermeiden. Warlich Druck Meckenheim. Juni 2006.

[NABU, 2008]
Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) (2008): Kommunikationsratgeber zum Ausbau Erneuerbarer Energien. Hannover. August 2008.

[Nakicenovic et al., 1993]
Nakicenovic, N.; Grubler, A.; Inaba, A.; Messner, S.; Nilsson, S.; Nishimura, Y.; Rogner, H.-H.; Schafer, A.; Schrattenholzer, L.; Stubegger, M.; Swisher, J.; Victor, D.; Wilson, D.: Long Term Strategies for Mitigating Global Warming. Energy International Journal, 18 (5), 401–609, 1993.

[Neumann, 2010]
Neumann, H. (2010): Bioenergieprojekte im Wandel des öffentlichen Meinungsbildes. Vortrag auf der Tagung „Öffentlichkeitsarbeit und Konfliktmanagement bei Bioenergieprojekten". 02.12.2010. Bad Hersfeld.

[Nill et al., 2001]
Nill, M.; Thrän, D.; Kaltschmitt, M.: Ökobilanz der Nutzung biogener Festbrennstoffe. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung VI. Witzenhausen-Institut, Witzenhausen. 2001.

[nova-Institut, 2010]
nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH: Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung) Volumen, Struktur, Substitutionspotenziale, Konkurrenzsituation und Besonderheiten der stofflichen Nutzung sowie Entwicklung von Förderinstrumenten, Studie gefördert durch das BMVEL. Mai 2010. Hürth.

[Nussbaumer, 2007]
Nussbaumer, Thomas 2007: Feinstaub aus Holzfeuerungen: Bildung, Relevanz und Minderung. Stuttgart: Vortrag anlässlich des Bioenergiekolloquiums, 17.01.2007.

[Özdemir et al., 2011]
Özdemir, Doruk; Härdtlein, Marlies; Jenssen, Till; Zech, Daniel; Eltrop, Ludger 2011: A confusion of tongues or the art of aggregating indicators – Reflections on four projective methodologies on sustainability measurement. In: Renewable & Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1: 2385–2396.

[Özdemir, 2012]
Özdemir E. D.: The Future Role of Alternative Powertrains and Fuels in the German Transport Sector, Dissertation an der Universität Stuttgart, 2012.

[Pieprzyk, 2009]
Pieprzyk, B., Globale Bioenergienutzung – Potenziale und Nutzungspfade. Analyse des WBGU-Gutachtens „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung", Berlin, Agentur für Erneuerbare Energien, 2009.

[Ramesohl et al., 2006]
Ramesohl, S.; Arnold, K.; Kaltschmitt, M.; Scholwin, F.; Hofmann, F.; Plättner, A.; Kalies, M.; Lulies, S.; Schröder, G.; Althaus, W.; Urban, W.; Burmeister, F.: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Band 1 von 4. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen, 2006.

[Renn et al., 2007]
Renn O, Deuschle J, Jäger A, Weimer-Jehle W (2007) Leitbild Nachhaltigkeit. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

[Renn, 1995]
Renn, Ortwin 1995: Technikfolgenabschätzung von Energiesystemen. In: Fratzscher, Wolfgang; Stephan, Karl 1995: Abfallenergienutzung – Technische, wirtschaftliche und soziale Aspekte. Berlin: Akademie Verlag: 11–27.

[Rohmund, 2010]
Rohmund, M. (2010): Öffentlichkeitsarbeit und Konfliktmanagement bei Bioenergieprojekten. Vortrag auf der Tagung „Öffentlichkeitsarbeit und Konfliktmanagement bei Bioenergieprojekten". 02.12.2010. Bad Hersfeld.

[Santos Bernardes et al., 2002]
Santos Bernardes M, Briem S, Krewitt W, Nill M, Rath-Nagel S, Voß A (2002) Grundlagen zur Beurteilung der ‚Nachhaltigkeit von Energiesystemen in Baden-Württemberg. Karlsruhe: Forschungsbericht FZKA-BWPLUS.

[Schreck, 1998]
Schreck, Petra 1998: Akzeptanz sperriger Infrastruktureinrichtungen. Wahrnehmung und Bewertung von Deponien aus Sicht der Anwohner. Jülich: Berichte des Forschungszentrums Jülich.

[Schaumann, 2002]
Schaumann, Gunter 2002: Die Effizienzbewertung von Kraft-Wärme-Kopplung. In: VDI-Workshop „Der optimale Einsatz der KWK" am 15.10.2002 in Düsseldorf.

[Seidenberger et al., 2011]
Seidenberger, T., Offermann, R., Thrän, D.: Bioenergieregionen in Deutschland – Wertschöpfung durch Nutzung der Biomasse. Mitteleuropäische Biomassekonferenz 2011, Graz, Österreich, Tagungsband, S. 26.

[Sims et al., 2006]
Sims, R., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G., Smith, P.: Energy crops: current status and future prospects, Global Change Biology, Volume 12, 2054–2076, 2006.

[Smeets, Faaij, 2007]
Smeets, E., Faaij, A.: Bioenergy potentials from forestry in 2050, Climatic Change, Volume 81, 353–390, 2007.

[SRU, 2007]
Sachverständigenrat für Umweltfragen. Klimaschutz durch Biomasse. Berlin: Selbstverlag, 2007.

[Storm, 2010]
Storm, Wulf-Dietmar (2010): Finanzierung von Bioenergieprojekten. Vortrag auf 16. Thüringer Bioenergietag „Bioenergiestrategien für Thüringen", 25.02.2010, Jena.

[Steiner, 2009]
Steiner, Achim, zitiert nach website WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: www.wbgu.de/wbgu_jg2008.html (Zugegriffen am 28.04.2009).

[Stenull, 2012]
Stenull, M.: Stand und Entwicklung der Biogasnutzung in Baden-Württemberg – ein ökonomisch-ökologischer Vergleich, Dissertation in Bearbeitung.

[Struschka, 2003]
Struschka, M.: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung. Forschungsbericht 29944140, Texte des Umweltbundesamtes, 2003.

[Thrän et al., 2010]
Thrän, D.; Buchhorn, M.; Bunzel, K.; Seyfert, U.; Zeller, V.; Müller, K.; Matzdorf, B.; Gaasch, N.; Klöckner, K.; Möller, I.; Starick, A.; Brandes, J.; Günther, K.; Turm, M.; Zeddies, J.; Schönleber, N.; Gamer, W.; Schweinle, J.; Weimar, H.; Parker, N.; Wacker, A.: Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2010.

[Thrän et al., 2011]
Thrän, D., Edel, M., Pfeifer, J., Ponitka, J., Rode, M., Knispel, S.: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung, Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2011.

[Thrän, Szarka, 2011]
Thrän D.; Szarka N.: Die Rolle der Bioenergie in einer zukünftigen Energieversorgung. Leibnitz-Institut für interdisziplinäre Studien e. V. LIFS Online. 04.10.2011.

[Thrän, Kaltschmitt, 2007]
Thrän, Daniela und Kaltschmitt, Martin, 2007: Konkurrenzen bei der Bioenergieerzeugung – Hemmnis oder Anreiz für den weiteren Ausbau? Zeitschrift für die Energiewirtschaft (ZfE) 31 (2007) 1, 57–66.

[TierNebG]
Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz vom 25.01.2004, zuletzt geändert am 22.12.2011. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tiernebg/gesamt.pdf (Zugegriffen am 25.07.2012).

[Upreti, 2004]
B. Upreti: Conflict over biomass energy development in the United Kingdom: some observations and lessons from England and Wales, Energy Policy 32, 2004.

[UVPG, 2012]
Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12.12.1990, zuletzt geändert am 25.07.2013. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/uvpg/gesamt.pdf (Zugegriffen am 13.03.2014).

[Vuuren et al., 2009]
Vuuren, D., Vliet, J., Stehfest, E.: Future bio-energy potential under various natural constraints, Energy Policy, Volume 37, 4220–4230, 2009.

[VDI 2067, 2000]
VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen. Blatt 1 Beiblatt Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 2000.

[VDI 6025, 1996]
VDI 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, November 1996. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 1996.

[WBGU, 2008]
Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin: Selbstverlag, 2008.

[WCED, 1987]
The World Commission on Environment and Development (WCED), Our Common Future, Oxford University Press, Oxford, 1987.

[website destatis]
www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2006/07/PD06__268__85.psml (Zugegriffen am 08.12.2011).

[website FNR1]
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/t/a/tabelle-anbau-nr-12-13_2.pdf (Zugegriffen am 28.03.2014)

[website FNR2]
http://mediathek.fnr.de/grafiken/was-kann-bioenergie-2050-leisten.html (Zugegriffen am 13.03.2014).

[website FSC]
www.fsc-deutschland.de (Zugegriffen am 21.11.2011).

[website GBEP]
www.globalbioenergy.org (Zugegriffen am 21.11.2011).

[website PEFC]
www.pefc.org (Zugegriffen am 21.11.2011).

[website RSB]
rsb.epfl.ch (Zugegriffen am 21.11.2011).

[website RSPO]
www.rspo.org (Zugegriffen am 21.11.2011).

[Weiss, 2005]
Weiss, F.: Bewertung der Nachhaltigkeit heutiger Technologien der Stromerzeugung – Aggregation der Indikatoren, Workshop der ILK (Internationale Länderkommission Kerntechnik), Frankfurt, am 23.02.2005.

[Wehnert et al., 2007]
Wehnert, T.; Heimann, S.; Jörß, W.; Knoll, M.; Nolting, K.; Bolay, S.; Reichard, Ch.; Klinski, S.; Longo, F. (2007): Erneuerbare Energien in Kommunen optimal nutzen – Denkanstöße für die Praxis. ske2p (Strategische Kommunale Energiepolitik zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger). Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Natur und Reaktorsicherheit. Oktober 2007.

[WI, RWI, 2008]
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH WI; Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung RWI (im Auftrag des BMWi): Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse, Endbericht – Kurzfassung vom 25.04.2008. http://en.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Biomasse-Nutzungskonkurrenz_Kurzfassung.pdf (Zugegriffen am 04.08.2010).

[Wüste, 2010]
Wüste, A. (2012): Tagung „Chancen und Risiken der Bioenergie im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung“. 24. und 25.01.2012. Göttingen.

[Zech et al., 2012]
Zech, Daniel; Jenssen, Till; Eltrop, Ludger: Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien zur Wärmebereitstellung in Wohngebäuden. In: D. Gallego Carrera (Hrsg.): Nutzung von Wärmeenergie in Privathaushalten. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2012.

[Zech et al., 2010]
Zech, Daniel; Jenssen, Till; Wassermann, Sandra; Eltrop, Ludger: Von Äpfeln und Birnen – Wärmetechnologien auf dem Prüfstand der Nachhaltigkeit. Vortrag auf der Jahrestagung des Arbeitskreises Geographische Energieforschung „Energie als interdisziplinäres Forschungsfeld“ am 23. und 24.04.2010 in Koblenz, 2010.

[Zeller et al., 2011]
Zeller, V.; Weiser, C.; Hennenberg, K.; Reinicke, F.; Schaubach, K.; Thrän, D.; Vetter, A.; Wagner, B.: Basisinformation für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung. Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ Band 2. DBFZ (Hrsg.): Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH, Leipzig, 2011.

[ZSW et al., 2006]
Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung (ZSW), SOWI (Institut für Sozialwissenschaften Universität Stuttgart); DLR (Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt): Nahwärmeversorgung und erneuerbare Energien im Gebäudebestand – Initiierung von Pilotprojekten in Baden-Württemberg, Hemmnisanalyse und Untersuchung der Einsatzbereiche. Endbericht. Stuttgart, 2006.

7.3 Informationsangebot FNR Mediathek

Über die Mediathek der FNR (mediathek.fnr.de) sind die in Kapitel 1 bzw. Abbildung 1.1 vorgestellten Leitfäden der FNR als auch zahlreiche weitere Fachpublikationen, Datenbanken und Internetportale zu Bioenergiethemen zugänglich. Einen Überblick über das Informationsangebot der FNR vermittelt Abbildung 7.1.

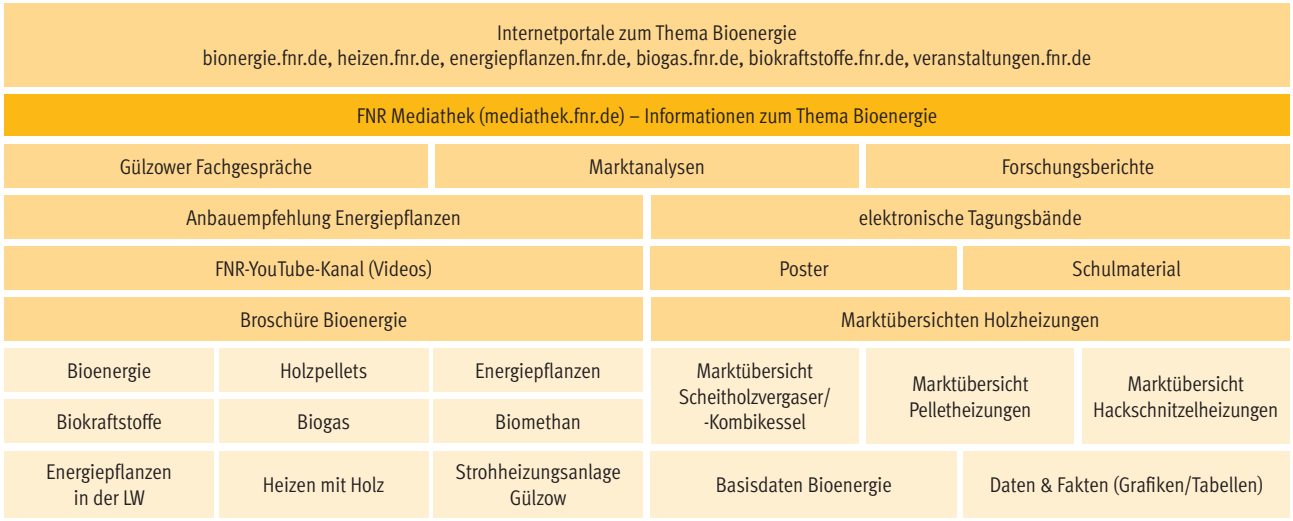


Abb. 7.1: Überblick über das Informationsangebot der FNR

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 640
FNR 2014

FNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.