

**DER NACHHALTIGKEITSBEIRAT DER LANDESREGIERUNG  
BADEN-WÜRTTEMBERG (NBBW)**

***Energie aus Biomasse:  
Potenziale und Empfehlungen  
für Baden-Württemberg***

**Stuttgart, April 2008**

Herausgeber: Der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg  
Geschäftsstelle an der Universität Stuttgart  
Kronenstraße 36  
70174 Stuttgart  
Tel. 0711 685-83261/-83351  
Fax 0711 685-82175  
E-Mail: [info@nachhaltigkeitsbeirat-bw.de](mailto:info@nachhaltigkeitsbeirat-bw.de)  
Internet: <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de>

Geschäftsführer: Christian D. León

Der **Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg (NBBW)** ist ein unabhängiges, wissenschaftliches Beratungsgremium der Landesregierung und besteht aus bis zu neun Mitgliedern. Er wurde am 22. April 2002 von der Landesregierung Baden-Württemberg ins Leben gerufen und am 4. Oktober 2005 für weitere drei Jahre berufen. Der Nachhaltigkeitsbeirat hat die Aufgabe, das Land auf dem Weg in eine nachhaltige und dauerhaft umweltgerechte Entwicklung zu beraten und die Umsetzung des im Dezember 2000 vom Ministerrat beschlossenen „Umweltplan Baden-Württemberg“ kritisch zu begleiten. Dazu überprüft er in regelmäßigen Abständen die Erreichung der dort formulierten Ziele und gibt Empfehlungen zu Schwerpunkten bei der Umsetzung ab.

Weitere Informationen sowie sämtliche bisher erschienene Gutachten sind auf der Homepage des NBBW abrufbar: [www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de](http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de)

#### **Die Mitglieder des Nachhaltigkeitsbeirats (Periode 2005-2008):**

- Dr. **Peter Fritz**, Forschungszentrum Karlsruhe
- Dr. **Ulrich Höpfner**, IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
- Prof. Dr. **Giselher Kaule**, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. **Claudia Kemfert**, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin
- Prof. Dr. **Lenelis Kruse-Graumann**, Psychologisches Institut an der Universität Heidelberg (stellv. Vorsitzende)
- Prof. Dr. Dr. **Franz Josef Radermacher**, Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n), Ulm
- Prof. Dr. Dr. h. c. **Ortwin Renn**, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie, Universität Stuttgart (Vorsitzender)
- Prof. Dr. **Lutz Wicke**, Institut für UmweltManagement (IfUM), Europäische Wirtschaftshochschule Berlin

## Gliederung

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Potenziale nachwachsender Energieträger</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. Quantitative Abschätzung der Potenziale</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 Empfehlungen zu den einzelnen Energieträgern</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft.....	11
2.2.2 Kurzumtriebs-Plantagen .....	12
2.2.3 Dauerkulturen (Miscanthus und andere Grasarten) .....	13
2.2.4 Rapsöl.....	13
2.2.5 Alkohol aus Getreide und Zuckerrübe .....	14
2.2.6 Silomais .....	14
2.2.7 Zweikulturnutzungssysteme .....	14
2.2.8 Grassilage.....	15
2.2.9 Reststoffe und Biomasse von Zwischenfrüchten.....	16
2.2.10 Stroh .....	16
2.2.11 Landschaftspflegegut.....	17
<b>2.3 Zusammenfassende Darstellung der Empfehlung des NBBW</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Verwertungsstrategie in Baden-Württemberg</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Technologien und Perspektiven</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 Empfehlungen zu Verfahren und Technologien</b> .....	<b>21</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>23</b>
<b>Literaturquellen</b> .....	<b>23</b>
<b>Tabelle zum Energieertrag</b> .....	<b>24</b>

## Hinweis

Autoren des vorliegenden Gutachtens des Nachhaltigkeitsbeirats Baden-Württemberg (NBBW) sind die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Bioenergie“ des NBBW: Prof. Giselher Kaule (federführend), Dr. Peter Fritz, Dr. Ulrich Höpfner und Prof. Franz Josef Radermacher. An der Erstellung des Gutachtens haben ebenfalls mitgewirkt: Dr. Hans-Georg Schwarz-von Raumer (ILPÖ Universität Stuttgart), Christian D. León (NBBW Geschäftsstelle), Dr. Ludwig Leible (ITAS-FZK), Stefan Kälber (ITAS-FZK) und Dr. Guido Reinhardt (IFEU).

Download-Adresse dieses Gutachtens:

<http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de/mainDaten/dokumente/bioenergiegutachten.pdf>

## Zusammenfassung

Das Land Baden-Württemberg hat sich im aktuellen „Energiekonzept 2020“ zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieverbrauch des Landes bis zum Jahr 2020 gegenüber heute zu verdoppeln. Der Biomasse wird dabei eine besondere Bedeutung beigemessen: So soll der Biomasseeinsatz für die Stromerzeugung in diesem Zeitraum nahezu verdreifacht, für die Wärmegewinnung fast verdoppelt werden und damit rund 8 Prozent des Primärenergieeinsatzes erbringen. Den Biokraftstoffen der ersten Generation wird keine Bedeutung mehr beigemessen.

Steht ein ausreichendes Potenzial an einheimischer Biomasse zur Verfügung? Kann es auch genutzt werden, ohne gleichzeitig andere wichtige ökologische, ökonomische und soziale Ziele zu verletzen, wie z. B: Luftreinhaltung, Bodenschutz, Erhalt der Biodiversität, Erhaltung des Landschaftsbildes und Ziele der Nahrungsmittelversorgung? Welche einheimische Biomasse ist dabei zu bevorzugen? Welche neuen Verfahren müssen entwickelt werden?

Diesen Fragen ist der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg (NBBW) nachgegangen und kommt zusammengefasst zu folgenden Ergebnissen:

1. Das **Ziel** des Landes Baden-Württemberg, 115 PJ an Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung über Bioenergie zu nutzen, ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten mit heimischer Biomasse nicht vollständig erreichbar. Der NBBW schätzt das im Jahr 2020 in Baden-Württemberg verfügbare Biomaspotenzial auf maximal rund 85 PJ (Primärenergie), davon 20 nicht aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Landschaftspflege.
2. Nur dieses **Potenzial** an Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft steht **nachhaltig** zur Verfügung. Seine Ausdehnung ist wegen der Konkurrenz zu übergeordneten Zielen begrenzt. Insbesondere sind dies die Ziele des Arten- und Biotopschutzes, des Bodenschutzes (Erosion, Humusbilanz), des Wasserschutzes (Grundwasser- und Fließgewässer-Qualität), des Flächenschutzes (Schutzgebietssystem 15 Prozent der Landesfläche) und der Nahrungsmittelselbstversorgung („Nahrungsmittel vor Energie“).
3. Eine **nachhaltige Realisierung** des Potenzials an Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft einschließlich der Landschaftspflege (Siedlungen, Straßenbegleitgrün, Schutzgebiete) ist nur unter folgenden Bedingungen möglich :
  - Sammlung und Transport der Biomasse müssen über Förderprogramme und Kompensationszahlungen unterstützt werden, z. B. durch Integration in die Landschaftspflegerichtlinie. Freiwerdende Mittel aus Agrarprogrammen müssen hierzu umgeleitet werden.
  - Die Biomasse soll für die Strom- und Wärmeerzeugung und nicht für die Kraftstoffherzeugung nach den derzeit üblichen Verfahren eingesetzt werden. Mit dieser Prioritätensetzung ist verbunden, dass dem EU-weiten Ziel der Beimischung von Biokraftstoffen nur mit importierter Biomasse entsprochen werden kann. Bei diesen Importen ist allerdings nicht sichergestellt, dass sie nachhaltig produziert wurden.
  - Der Abruf des Potenzials setzt eine enge Kooperation zwischen den Ministerien, eine entsprechende Neustrukturierung des EU-Agrarmarktes und den Aufbau bisher nicht vorhandener Organisations- und Kooperationsstrukturen auf regionaler Ebene voraus (regionale Energiekonzepte).

4. Um eine nachhaltige Nutzung von Flächen sicherzustellen und gleichzeitig eine optimale Nutzung der Biomasse zu gewährleisten, **empfiehlt der NBBW der Landesregierung:**
- Nur die Nutzung von flächengebundener Biomasse zu unterstützen, deren Anbau die anerkannten Nachhaltigkeitsziele, wie z. B. den Erhalt des Humusgehalts, gewährleistet und deren gesamte Energie- und Treibhausgasbilanz über den ganzen Lebenszyklus berechnet, eindeutig positiv ist.
  - Den gezielten Anbau von Raps, Rüben und Weizen zur Energieproduktion nicht zu forcieren und eine weitere Intensivierung in sensiblen Gebieten auszuschließen.
  - Grünland nicht generell umzunutzen oder weiter zu intensivieren. Biomasse aus Grünland, die in der Tierproduktion nicht benötigt wird, sollte thermisch verwertet werden oder als Koferment in Biogasanlagen eingespeist werden.
  - Sich für die stärkere Nutzung nicht genutzter Potenziale vorhandener Rest- und Abfallstoffe (Restholz, Stroh, Landschaftspflegegut) einzusetzen und dafür Modelle für Organisation und Finanzierung zu erarbeiten.
  - Neue Anbauverfahren in der Landwirtschaft zur Erweiterung der Fruchtfolge und zur Produktion von Biomasse (z.B. Zweikulturnutzungssysteme) anzuregen und eine wissenschaftliche Begleituntersuchung durchführen zu lassen, in der die potenziellen Konflikte mit Boden, Grundwasser und Artenschutz untersucht werden.
  - Regionale Energiekonzepte zur Nutzung von Biomasse inkl. Kraft-Wärmekopplung in Kombination mit einer integrierten Landschaftsentwicklungsplanung zu erarbeiten und dies in Modellregionen umzusetzen. Die Nachhaltigkeitsstrategie sollte dafür genutzt werden, ein „Leuchtturmprojekt“ ins Leben zu rufen bzw. zu unterstützen.
  - Szenarien für neue Strategien im Energieholz-Anbau unter den Randbedingungen des Klimawandels zu erarbeiten und ökologisch zu bewerten.
  - Darauf hinzuwirken, dass bei der Neuordnung der EU-Agrarmarktordnung die zu erwartenden freiwerdenden Mittel gezielt zur Förderung von Extensivierungsmaßnahmen eingesetzt werden, insbesondere der Umwandlung von Acker zu Extensivgrünland in Überflutungsgebieten, der Flächenstilllegung unter ökologischer Zielsetzung zum Schutz von Uferstreifen und der Ausweisung ökologischer Korridore zum Schutz der Artenvielfalt.
  - Zu prüfen, durch welche Instrumente die Co-Verbrennung von Biomasse in Steinkohlekraftwerken gefördert werden kann.
  - Die Förderung durch das EEG auf Anlagen mit elektrischen Leistungen über 20 MW<sub>el</sub> zu erweitern, um die Wettbewerbsfähigkeit von Vergasungstechnologien zu verbessern.
  - Bei der Kraft-Wärmekopplung (KWK) vor allem Gemeinschaftsanlagen mit Fermentation, Wärmeleitung und geringeren Kosten pro kWh zu fördern. Als Vorbild könnten Maschinenringe dienen, in denen sich Landwirte zusammenschließen.
  - Unter Vorsorgegesichtspunkten Forschungsanstrengungen zu unterstützen, insbesondere auf dem Gebiet der Bio-Kraftstoffe der zweiten Generation und in Verfahren zur Erhöhung der Energiedichte von Brennstoffen und der Effizienz der Umwandlung.
  - Den Import von Energie aus Biomasse nur unter strengen Nachhaltigkeitskriterien und einer entsprechenden Zertifizierung zuzulassen. Hierzu bedarf es verbindlicher internationaler Abkommen. Aufgrund des Verdrängungswettbewerbes sollte die Zertifizierung auf Futtermittel ausgedehnt werden.

# 1 Einleitung

Der globale Klimawandel und die Zunahme extremer Wetterereignisse sind Realität geworden. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen wurden Schlagzeilen, die im Bewusstsein der Menschen angekommen sind. Klimakonferenzen, wie die auf Bali im Dezember 2007, sind zum Medienereignis geworden. Der Weg zu einem Kyoto-Nachfolgeabkommen mit dem Ziel der Klimagerechtigkeit (NBBW 2003 und 2007) ist noch steinig, erste Weichen dorthin sind aber bereits gestellt. Mit dem gestiegenen Bewusstsein und der Akzeptanz in der Bevölkerung für weitergehende Maßnahmen zur deutlichen Reduktion klimawirksamer Gase (Beispiel „Erneuerbare-Wärme-Gesetz“) gewinnt der beschleunigte Einsatz erneuerbarer Energieträger zur Erreichung ehrgeiziger Klimaziele an Bedeutung. Hinzu kommen die Endlichkeit der fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle, die teilweise jetzt schon knapp werden, und die begrenzte Reichweite von Uran im Kontext der Nutzung der Kernenergie (vor allem bei Verzicht auf die Brütertechnologie), wobei bezüglich einer solchen Nutzung die Diskussion und gesellschaftliche Einschätzung der Risiken dieser Technologie und das bisher ungelöste Problem der Endlagerung eine große Rolle spielen (s. NBBW 2007). „Erneuerbare Energien haben im Allgemeinen einen positiven Effekt auf Energiesicherheit, Beschäftigung und die Luftqualität“, heißt es im aktuellen Bericht des UNO-Klimarates IPCC. Neben dem Hauptargument, dass erneuerbare Energien klimaneutral sind, ist die Chance einer wachsenden Unabhängigkeit vom Import fossiler Brennstoffe, die aus einigen wenigen, zudem als unsicher eingestuften Lieferländern kommen, ein wichtiges zusätzliches Argument für die Nutzung erneuerbarer Energien.

Innerhalb der erneuerbaren Energieträger schneidet in der öffentlichen Wahrnehmung die Biomasse besonders gut ab, nicht nur, weil sie bei der Energiebereitstellung genau soviel CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre freisetzen wie sie in ihrer Wachstumsphase durch Photosynthese davor gebunden haben. Im Gegensatz zu Wasser- und Windenergie, deren weitere Ausbreitung massive Eingriffe in die Gewässerökosysteme bzw. Veränderungen des Landschaftsbildes verursachen würden, werden ähnliche direkte Eingriffe durch den Anbau von Biomasse zunächst nicht befürchtet. Ein weiterer Vorteil ist die Erschließung neuer Märkte innerhalb der Landwirtschaft und somit neuer Einkommensquellen für die Landwirte, ihrer Zulieferer und Abnehmer. Hier kann Biomasse, die weltweit dezentral verfügbar ist, eine bedeutende Rolle spielen.

In der Diskussion werden aus Sicht des NBBW einige wichtige Aspekte allerdings nicht ausreichend berücksichtigt, die eine differenzierte Betrachtung der Thematik erforderlich machen:

1. Bei der Produktion und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe muss Energie eingesetzt werden. Anbau, Ernte und Transport der Biomasse vermindern einen erheblichen Teil der eingesparten Menge CO<sub>2</sub>. Intensivanbau führt zu Bodenerosion, Humusabbau und damit auch erneut zur Freisetzung von CO<sub>2</sub>. Boden wird auf diese Weise von einer CO<sub>2</sub>-Senke zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle. Eine Systembetrachtung (Life Cycle Analysis) fehlt.
2. Aktuell wenig beachtet wird, dass wachsende Moore und Humusanreicherung in Böden die einzigen CO<sub>2</sub>-Senken sind, auf die wir kurz- und mittelfristig Einfluss haben. Wenn wir hier weniger Biomasse entnehmen als produziert wird, kann zumindest über Jahrhunderte hinweg betrachtet der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen werden. Künstliche CO<sub>2</sub>-Senken, durch die CO<sub>2</sub> über Abscheidung und Lagerung (CCS – Carbon Capture and Storage) unterirdisch gespeichert wird, sind technisch noch nicht ausreichend erprobt; die Machbarkeit ist wahrscheinlich, aber nicht gesichert. Akzeptiert

man Szenarien, die auch bei erheblicher Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes noch über einen längeren Zeitraum einen immer schnelleren Temperaturanstieg in einem sich selbst verstärkenden Prozess vorhersagen, dann sind diese Senken von extrem hoher Bedeutung. Will man sie in ihrer Wirksamkeit erhalten, begrenzt dies die Nutzung von Bioenergie, insbesondere aus naturnahen Wäldern und anderen naturnahen Lebensräumen (siehe Punkt 8).

3. Viele der für die Energieerzeugung besonders geeigneten Pflanzen haben einen hohen Dünger- und Wasserbedarf. Wasser ist bereits in einigen Regionen der Erde knapp und der nicht mehr aufzuhaltende Klimawandel wird in vielen Regionen der Erde zur Folge haben, dass Wasser für Bewässerungszwecke nicht mehr ausreichend zur Verfügung stehen wird. Unsachgemäße Bewässerung führt zur Versalzung und Bodendegradation. Durch Düngung (insbes. mit Stickstoff) wird im Boden aus N-Überschuss Lachgas gebildet und freigesetzt, was in seiner Treibhauswirkung die CO<sub>2</sub>-Einsparung sogar kompensieren könnte.
4. Die erhöhte Nachfrage nach Biomasse durch zunehmende Nutzung von Restholz einerseits und die energetische Verwertung landwirtschaftlicher Produkte andererseits induziert Marktveränderungen, welche unweigerlich Landnutzungsänderungen nach sich ziehen. Den hohen Erwartungen an eine Beteiligung der Land- und Forstwirtschaft an den Energiemärkten in Politik, bei Verbänden und in der Öffentlichkeit stehen die letztlich klar begrenzte Leistungsfähigkeit der land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen, deren Rolle bei der Nutzung zur Rohstoff- und Lebensmittelproduktion sowie deren Bedeutung im Rahmen des landschaftsbezogenen Ressourcen- und Naturschutzes entgegen.
5. Ebenso wird in der Diskussion über die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe der Flächenverbrauch nicht ausreichend berücksichtigt. Die unvermindert hohe Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrsflächen (derzeit 9,4 ha/Tag in Baden-Württemberg) geht immer zu Lasten landwirtschaftlich genutzter Flächen und wertvoller Böden. Sollte auf den übrig gebliebenen Flächen – zum Teil gefördert durch Subventionen oder andere Anreize – vermehrt die Erzeugung von Energiepflanzen stattfinden, so hätte dies zum einen regional Auswirkungen auf die Versorgung mit hochwertigen Nahrungsmitteln aus der Region und zum anderen weltweit betrachtet Auswirkungen auf die Nahrungsmittelsicherheit. Bereits in seinem Sondergutachten zum Flächenverbrauch (2004) hat der NBBW darauf hingewiesen, dass sich angesichts des prognostizierten Wachstums der Weltbevölkerung und der Zunahme hochwertiger Ernährungsformen die Nachfrage nach Nahrungsmitteln massiv erhöhen wird. Damit steht die Vorhaltung von Flächen für die Produktion von Nahrungsmitteln auf der Prioritätenskala nach Ansicht des NBBW an erster Stelle.
6. Da die Anbauflächen von Energiepflanzen in Konkurrenz zur Lebens- und Futtermittelerzeugung stehen und eine Erweiterung der Anbaufläche in Baden-Württemberg aber auch in Europa nur begrenzt bzw. nur auf Kosten des Naturschutzes möglich wäre, steigen die Importraten von Biomasseprodukten zur Energiebereitstellung aus dem Ausland. Dies ist jetzt schon zu beobachten. Aber auch dort ist die Flächenexpansion für den Energiepflanzenanbau mit gravierenden sozialen und ökologischen Problemen verbunden. Staatliche Subventionen für den Anbau von Energiepflanzen in allen Ländern führen weiterhin zu einem Anstieg der Lebensmittelpreise, was insbesondere in Entwicklungsländern ein soziales Problem darstellt. Es kann regional aber auch ein gegenläufiger Prozess beobachtet werden, wenn der Anbau von Nahrungsmitteln durch die gestiegenen Preise für Kleinbauern wieder rentabel wird. Da die Erreichung europäischer und nationaler Ziele nur mit Importen möglich ist, muss man für diese Entwicklungen auch in Deutschland Verantwortung übernehmen.

7. Eine Ausweitung der Anbauflächen für die Produktion von Biomasse würde zum größten Teil auf Kosten der letzten Flächen für den Schutz der Biodiversität stattfinden; in Baden-Württemberg und Deutschland auf Kosten der Entwicklung des europäischen FFH-Schutzgebietesystems und der Landes-Biotopverbundsysteme. Weltweit entsteht ein massiver Konflikt zwischen der vermehrten Produktion von Biomasse zur Erzeugung von Bioenergie und dem Erhalt der Biodiversität. In der forcierten Flächenbeschaffung zum Anbau entsprechender Pflanzen in Südostasien und Brasilien durch Brandrodung der Urwälder ist dieses Problem schon heute virulent.
8. Die Rodung alter Wälder, insbesondere Brandrodungsprozesse zur Gewinnung von Produktionsflächen für Biomasse zur Erzeugung von Bioenergie, setzt zudem gigantische Mengen zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen frei, die mittlerweile eine der großen Wachstumstreiber in diesem Bereich sind. Alle späteren Einsparungen durch Beimischungen zu Kraftstoffen werden dann schon überkompensiert durch die am Anfang stehende Brandrodung von Regenwald – eine absurde Situation. Dagegen könnten Standards für die Produktion der entsprechenden Produktionsprozesse gefördert werden, z. B. von Seiten der EU. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) erörtert dies ausführlich in seinem Sondergutachten „Klimaschutz durch Biomasse“ vom Juli 2007. Er weist aber auch darauf hin, dass Probleme auftreten können, solche Standards von Seiten der EU WTO-konform zu etablieren und damit potentiell auch durchsetzen zu können.
9. Es bleibt unbestreitbar: Biomasse war in der Menschheitsgeschichte über Jahrtausende, und ist es auch heute in vielen Ländern noch, ein wichtiger Energieträger. Allerdings in vielen Ländern weiterhin auf Kosten der Nachhaltigkeit, z. B. durch Waldrodung zur Brennholzgewinnung ohne Regeneration der Wälder. Auch in Mitteleuropa wurde die Nachhaltigkeit als oberstes Ziel der Forstwirtschaft erst im 18. Jahrhundert verankert. Sie ist in Osteuropa in der Praxis auch jetzt noch nicht Realität.

Für den Einsatz erneuerbarer Energien gibt es ambitionierte Ziele: Europaweit sollen erneuerbare Energien bis 2020 einen Anteil von 20 Prozent am Endenergieeinsatz erreicht haben. Im Jahr 2006 lag der Anteil in Deutschland bei 8 Prozent, rund 75 Prozent davon über die Nutzung von Biomasse. Somit können solche Ziele nur mit einer sehr starken Ausweitung der Biomassenutzung erreicht werden. Jedoch wird der weitere Ausbau von nachwachsenden Rohstoffen für die Erzeugung von Biokraftstoffen der ersten Generation zunehmend kritisch gesehen (z. B. SRU 2007). Da in Europa und Deutschland das Potenzial für Biomasse begrenzt ist, können die Ziele der schrittweisen Substitution fossiler Energieträger nicht ohne Importe stattfinden, was am Beispiel der Biodieselproduktion aus Raps und Palmöl deutlich wird.

Daher ist für den NBBW auch die Frage der Entstehung und Qualität der importierten Biomasse ein zentrales Thema. Für Importe von biogenen Energieträgern aus landwirtschaftlicher Produktion nach Europa muss es überprüfbare und streng kontrollierte Zertifikate geben, die eine Reihe von Kriterien umfassen, die weiter differenziert und regionalisiert werden müssen.



Geeignete Kriterien könnten sein:

- Kein Anbau auf Flächen mit primärem und sekundärem Urwald, der in den vergangenen 30 Jahren gerodet wurde<sup>1</sup>.
- Kein Anbau auf Bewässerungsflächen in Regionen, in denen Wasserknappheit herrscht<sup>2</sup>.
- Keine Verdrängung von Kleinbauern durch Farmen für Energiepflanzen<sup>3</sup>.
- Nachweis einer positiven Humusbilanz. Positive CO<sub>2</sub>-Bilanz unter Einbeziehung der Methan(NH<sub>4</sub>)- und Lachgas(N<sub>2</sub>O)-Emissionen<sup>4</sup>.
- Keine Entwässerung von Feuchtgebieten und damit Vernichtung von CO<sub>2</sub>-Senken<sup>5</sup>.

Für den Import von Holz bzw. Sekundär-Energieträgern aus Holz müssen ebenfalls Standards nachgewiesen werden und überprüfbare Zertifikate gelten. Diese können sich an den Zertifikaten für Tropenholz orientieren (z. B. FSC-Zertifizierung<sup>6</sup>). Die Nachhaltigkeit ist ein traditionelles Prinzip der Forstwirtschaft, muss aber nachgewiesen werden. Zudem muss hier besonders auf die Funktion der Wälder als CO<sub>2</sub>-Senke geachtet werden.

Für die Durchsetzung derartiger Anforderungen verbleibt die schon erwähnte WTO-Kompatibilität als größte Herausforderung (vgl. erneut das Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen). Diesem Thema sollte sich die EU stellen. Nur dann werden die genannten Ziele erreicht werden. Die Einhaltung derartiger Regelwerke würde zwar die Einführung von Energieträgern aus Biomasse als Importware deutlich verlangsamen, dafür aber die CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion der Vegetation und der Böden erhalten und fördern. Wenn auch nicht für die Statistiken einzelner Länder, so wäre das doch ein Erfolg für die globale Klimaentwicklung, die ja erklärtermaßen im Vordergrund der Bemühungen steht. Anstatt weiterhin auf Importe zu setzen, würden das ökonomische Interesse zur Entwicklung regionaler Konzepte mit effizienten Techniken und das Innovationspotenzial gestärkt.

In Baden-Württemberg liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch derzeit (2006) bei rund 6,5 Prozent, der Anteil von Bioenergie am Primärenergieverbrauch liegt bei 5,0 Prozent (UM/WM 2007). Das Potenzial für Bioenergie wird auf 8 bis 10 Prozent geschätzt (MLR 2006). Das im aktuell vorgelegten „Energiekonzept Baden-Württemberg 2020“ angestrebte Ziel geht von rund 8 Prozent in Baden-Württemberg erzeugter Bioenergie aus (WM 2008). Für den NBBW ist daher die zentrale Frage, inwieweit diese Potenziale unter Berücksichtigung der zuvor genannten Randbedingungen erreicht werden können. Das vorliegende NBBW-Gutachten soll Chancen und Grenzen für eine nachhaltige Nutzung der Biomasse in Baden-Württemberg aufzeigen, die Diskussion versachlichen und Empfehlungen für die Landespolitik und deren Einflussnahme auf die Bundes- und EU-Politik geben.

<sup>1</sup> 30 Jahre Veränderungssperre sind im Mittelmeerraum bei Brandstiftung akzeptiert. Mindestens sollte der Zeitraum seit der Unterschutzstellung der Regenwälder gelten. Dies würde aus weiten Teilen Südost-Asiens, aber auch Brasiliens einen Import ausschließen, dafür aber ein Zeichen für Verantwortung setzen.

<sup>2</sup> Als Indikator könnte die Versalzung von Böden in der Region dienen. Eine Kulisse stellt die Karte des Versalzungsriskos der FAO dar (Siebert et al. 2005).

<sup>3</sup> Hier sollten regionale Nicht-Regierungs-Organisationen in die Überprüfung einbezogen werden.

<sup>4</sup> Hier besteht in der Regionalisierung von Modellen noch erheblicher Entwicklungsbedarf.

<sup>5</sup> Für größere Gebiete ist ein Nachweis über die Auswertung von Satellitendaten möglich.

<sup>6</sup> FSC = Forest Stewardship Council

## 2 Potenziale nachwachsender Energieträger

### 2.1. Quantitative Abschätzung der Potenziale

Der Nachhaltigkeitsbeirat sieht, bei einem aktuell noch niedrigem Anteil an in Baden-Württemberg erzeugter Energie aus Biomasse, noch ein Steigerungspotenzial. Der mögliche Beitrag insgesamt darf allerdings nicht überschätzt werden. Tabelle 2.1 fasst quantifizierend die Potenziale zusammen. Die Abschätzungen resultieren aus einer Analyse von Literaturangaben und weiteren Quellen (s. Anmerkungen in Tabelle 2.1). Sie wurden mit Vertretern aus Forschung und Verwaltung diskutiert und, soweit möglich, abgestimmt.

Tabelle 2.1 Primärenergie-Potenziale zur Erzeugung von Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege in Baden-Württemberg

	Theoretisches Potenzial zur energetischen Nutzung insgesamt [PJ/a]	Aktuelle energetische Nutzung des Potenzials [PJ/a]	Nachhaltig und wirtschaftlich <sup>7</sup> machbares Potenzial (Schätzung des NBBW) [PJ/a]
Holz aus Forstwirtschaft	38 Leible et al. (2007)	31 nach UM/WM (2007); beinhaltet unbekanntem Importanteil	26 2/3 des theoretischen Potenzials
Energiepflanzen vom Acker	44 Reinhardt et al. (2005); bei Reduktion der Nahrungsmittelproduktion	6 nach UM/WM (2007)	6 bei hoher Priorisierung der Nahrungsmittelproduktion
Grünland	12 bei Umwandlung in Kurzumtriebsplantagen Rösch et al. (2007); ohne Naturschutz		7 bei Grünlandextensivierung weniger
Reststoffe vom Acker (v. a. Stroh)	16 Stroh und sonstiges Material Leible et al. (2007) MLR (2007)		10 bei Lösung von Logistikproblemen, F&E-Effektivierung und Erhöhung der Energiedichte
Viehhaltung	12 Reinhardt et al. (2005)		6
Landschaftspflege in Siedlungen und Straßenbegleitgrün	8	2 nach UM/WM (2007)	3
Landschaftspflege Naturschutzflächen	13 Reinhardt et al. (2005) Rösch et al. (2007)  bis 15 hochgerechnet nach ILN Singen		5 nur von größeren Flächen im Umfeld von Anlagen  bis 10 bei Förderung und Integration in Pflegeplänen
Σ	143 bis 145	39	63 bis 68

Erläuterungen zur Tabelle:

- Angaben zum Primärenergiegehalt in Petajoule pro Jahr bezogen auf Trockenmasse
- nicht dargestellt: Haus- und Industrieabfälle (Altholz, Abfälle aus Nahrungsmittelindustrie, etc.)

<sup>7</sup> d. h. unter Berücksichtigung des derzeitigen Rohölpreises von rund 100 US\$/Barrel

Vergleicht man das oben geschätzte nachhaltig machbare Potenzial von 63 bis 68 PJ/Jahr mit den aktuell erzeugten 39 PJ Bioenergie aus Land- und Forstwirtschaft, so ist unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsaspekten und Nachhaltigkeitszielen eine Steigerung von ca. 60 Prozent möglich. Das Ziel der Landesregierung, 115 PJ Primärenergie über Bioenergie abzudecken<sup>8</sup>, ist mit heimischer Biomasse nicht erreichbar. Geht man von 20 PJ aus, deren Quellen nicht in Tabelle 2.1. erwähnt sind, ergibt sich ein Fehlbedarf von 32 PJ.

Die nachhaltige Bereitstellung von 63 bis 68 PJ aus Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege ist möglich, sie setzt allerdings eine enge Kooperation zwischen den verantwortlichen Ressorts, eine entsprechende Neustrukturierung des EU-Agrarmarktes und den Aufbau bisher nicht vorhandener Organisations- und Kooperationsstrukturen auf regionaler Ebene voraus. Eine Steigerung des Potenzials über 68 PJ/Jahr z. B. durch Umwandlung von Wiesen in Pappelplantagen, durch verstärkten Energiepflanzenanbau oder über den Import ist aus Sicht des NBBW nicht nachhaltig. Dies würde auf Kosten der Biodiversität und der Nahrungsmittelproduktion hierzulande und in den Anbauländern gehen. Der Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln ist oberste Priorität einzuräumen, da sich die Konkurrenzsituation auf den Agrarmärkten mittel- und längerfristig eher verschärfen wird. Ein Übergang zu Energiepflanzenanbau ohne staatliche Subventionen ist zur Zeit nicht wirtschaftlich, da die Preise für Nahrungsmittel überproportional gestiegen sind und bei mehrjährigen Energiepflanzen (z.B. Pappeln) eine langfristige Festlegung erfolgen muss. Durch die Umwandlung von guten Standorten für die Nahrungsmittelproduktion in Siedlung und Infrastruktur wird die Konkurrenz um produktive Standorte zusätzlich verstärkt. Eine Intensivierung auf empfindlichen Standorten muss zum Schutz von Wasser, Boden und Biodiversität vermieden werden.

Eine Steigerung der Entnahme von Holz ist möglich, da über Jahrzehnte nur wenig Brennholz entnommen wurde. Dies gilt jedoch nur für eine Übergangsphase. Langfristig steht weniger zur Verfügung, da die Humusbilanz, sowie Altholz und Totholz als Lebensraum berücksichtigt werden müssen und Wertholz nicht zur Energiegewinnung genutzt werden sollte.

Kasten 2.1 Bioenergie-Ziel und Potenzial aus der Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege

Bioenergie-Ziel für das Jahr 2020 (Energiekonzept Baden-Württemberg 2020) für die Erzeugung von Wärme und Strom	115 PJ <sup>8</sup>
Nachhaltig und wirtschaftlich machbares Potenzial aus Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege (s. Tab. 2.1)	63 PJ
Energie aus Biomasse 2006 nicht aus Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege erbracht, 35 PJ einschl. Kraftstoffe <sup>9</sup>	20 PJ
<i>Nachhaltig noch zu erbringende Differenz</i>	<i>32 PJ</i>
Eine weitere Erhöhung des Beitrags aus Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege ohne Import ist theoretisch möglich; sie muss jedoch kritisch hinterfragt werden:	
• Agrartechnischer Fortschritt	+ 5-10 PJ
• Steigerung durch massive zusätzliche Förderung bei der Bringung (Sammlung und Transport)	+ 20 PJ
Aus Sicht des NBBW abzulehnen sind z. B.:	
• Steigerung auf Kosten der Biodiversität	+ 3 PJ
• Energiepflanzenanbau auf 25 Prozent der Ackerfläche	+ 10 PJ

<sup>8</sup> s. Energiekonzept 2020: 22,8 TWh Endenergie aus Biomasse; daraus leiten sich ca. 115 PJ Primärenergie ab  
<sup>9</sup> biogene Flüssigbrennstoffe, biogener Abfall, Klär- und Deponiegas, Import von Kraftstoffen, Festbrennstoffe aus nicht in Tabelle 2.1. zitierten Quellen

## 2.2 Empfehlungen zu den einzelnen Energieträgern

Im Folgenden werden Empfehlungen zu den einzelnen Energieträgern im Hinblick auf Anbau und Bringung gegeben. Die Empfehlungen zur weiteren Verwertung folgen dann in Kapitel 3. Die Empfehlungen müssen nicht nur nach Energieträgern und Anbausystemen gegliedert werden, sie müssen auch im Hinblick auf Energieertrag pro Flächeneinheit und Beeinflussung unterschiedlicher Umweltmedien differenziert und bewertet werden. Das Ergebnis der Bewertung versteht sich auch als Bewertungsgrundlage für den Trade-Off mit der Nahrungsmittelproduktion. Generell ist den Zusammenfassungen im Einzelnen voranzustellen, dass unbedingt und vorrangig

- Logistikprobleme zu lösen und
- F&E-Projekte (Erhöhung von Energiedichte und Energieeffizienz, Kraft-Wärme-Kopplung etc.) zu initiieren sind.

Erläuterung zum Bewertungsschema in den Folgeseiten:

	<b>Energieertrag</b>	<b>Ressourcenschutz</b>	<b>Konkurrenz</b>	<b>Bereitstellung</b>
	Ertrag pro Flächeneinheit (siehe Tabelle im Anhang)	Risiko von Beeinträchtigung von Böden, Grundwasser, Biodiversität	Umfang der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion	Schwierigkeit und räumliche Anforderungen (zentral/dezentral), Aufkommen zu ernten und in Anlagen einzuspeisen
 günstig	Hohe verwertbare Biomasseproduktion pro Flächeneinheit.	Boden- und wasserschonend, geringe Emissionen, positiv im Hinblick auf Biodiversität.	Kein Entzug von Flächen für die Nahrungsmittelproduktion.	Auf größeren Flächen in der Nähe der Verwertungsstruktur erntbar.
 Restriktionen beachten	Mittlere verwertbare Biomasseproduktion pro Flächeneinheit.	Risiko insbesondere bei nicht sehr sorgfältiger Produktion.	Nur marginaler Entzug von Flächen für die Nahrungsmittelproduktion.	Zeitliches und/oder räumliches Aufkommen problematisch.
 ungünstig	Niedrige verwertbare Biomasseproduktion pro Flächeneinheit.	Signifikanter Eintrag in das Grundwasser und/oder Emission von Klimagasen. Starke Beeinträchtigung der Biodiversität.	Hohe Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.	Aufkommen dezentral in kleinen Mengen und zeitlich ungünstig. Hohe Transportverluste möglich und daher nur mit z. T. großem Aufwand zu bringen.

### 2.2.1 Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft

Holz als Energieträger hat in Baden-Württemberg das größte Potenzial, einen signifikanten Anteil zu erreichen und nachhaltig zu gewährleisten, allerdings leider mit Einschränkungen:

- Das Aufkommen von Restholz ist räumlich dezentral.
- Die Bringung ist auf einem Großteil der Flächen arbeitsintensiv und nicht mechanisierbar: Steillagen, Bodenverdichtung, Erosion etc.
- Eine weitere Zerschneidung durch Forstwege sollte vermieden werden.
- Der Schutzgebietsanteil sollte erhöht werden (FFH) bzw. die Förderung von Biodiversität konkret in Entwicklungsplänen verankert werden.
- 30 Prozent der Waldflächen sind Steillagen.

Die Erhöhung des Anteils der Nutzung von Restholz und Pflegeanfall hat jedoch auch ökologisch gesehen Vorteile:

- Nach Jahrzehnten des Nährstoffeintrags in die Waldfläche ist ein Nährstoffentzug positiv
- Der Umbau zu standortgerechten Beständen kann beschleunigt werden
- Es kann auf eine Erhöhung des Lichtwaldanteils geachtet werden, einem Habitattyp, der aktuell den größten Artenrückgang in Baden-Württemberg verzeichnet

#### Bewertung Restholz-Nutzung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

#### Bewertung Energieholz-Anbau:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

#### Empfehlung zur Nutzung von Restholz:

Die verstärkte Nutzung von Restholz als Energieträger sollte weiter verfolgt werden. Nach Jahrzehnten mit diffusen Nährstoffeinträgen in die Wälder ist ein Nährstoffentzug generell wünschenswert. Dabei sollte die Bedeutung von Totholz für den Artenschutz gezielt berücksichtigt werden (auf 5 Prozent der Waldfläche keine Entnahme, auf 15 Prozent gezielte Belassung von stehendem Totholz und einzelnen liegenden Stämmen).

#### Empfehlung zum Anbau von Energieholz auf Waldflächen:

Weltweit besteht eine Tendenz, Waldflächen im Kurz- und Mittelumtrieb zu bewirtschaften (Douglasie, Sitka-Fichte). Dies ist eine Entwicklung, der sich auch die Bundesrepublik Deutschland nicht entziehen kann. Daher sollte im Hinblick auf die gezielte Produktion von „Energieholz“ im Vorfeld einer möglichen Realisierung über die forstliche Rahmenplanung Szenarien erarbeitet und ökologisch bewertet werden. Wertholz sollte nicht zur Energiegewinnung verwendet werden, der Anbau von Energieholz auf Waldflächen steht daher in Konkurrenz zur Wertholzproduktion. Der Verwertung von Holz zu nicht-energetischen Zwecken sollte aufgrund der längerfristigen CO<sub>2</sub>-Bindung Vorrang gegeben werden.

**Datenqualität:** Unsicher, da Bringung und Verbrauch aus Wäldern in Privatbesitz nur grob geschätzt werden können. Flächenbezug schwer herstellbar.

## 2.2.2 Kurzumtriebs-Plantagen

Kurzumtriebs-Plantagen (KUPs, z. B. Pappeln und Weiden) auf Grünland und Ackerstandorten spielen in der aktuellen Diskussion über nachwachsende Energieträger eine wichtige Rolle. Selbst in ausreichend großen Flächen oder in zusammenhängenden Streifen angebaut, gelten sie bei den derzeitigen Agrarpreisen ohne Anfangsförderung als nicht wirtschaftlich. Voraussetzungen sind jedoch niedrige Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Produkte, ein ausreichendes Wasserangebot und nicht zu nährstoffarme Standorte. Die Energiebilanz ist günstig. KUPs sind eine weiter zu verfolgende Alternative vor allem zum Maisanbau auf produktiven Ackerstandorten und auf entwässertem ackerbaulich genutztem Niedermoor.

In Baden-Württemberg sind die Voraussetzungen nicht so günstig wie in Norddeutschland. Großflächige Standorte ohne erhebliche Flächenkonkurrenz fehlen. Im Allgäu wären sie in deutlicher Konkurrenz zur Milchproduktion, die zunehmend wirtschaftlich wird.

Für den Umbruch von Grünland gibt es gesetzliche Einschränkungen, für deren Einhaltung es jedoch Vollzugsdefizite gibt. Daher nimmt die Grünlandfläche auch in Baden-Württemberg weiterhin ab. Insbesondere in Auen, FFH-Gebieten und in Habitatkorridoren sollten Flächen, die sich zur Rückwandlung eignen, nicht mit KUPs bestockt werden. Hier sollte der Nutzungstyp „Naturschutz trotz Nutzung“ (NBBW 2004, S. 47) verwirklicht werden und die anfallende Biomasse – sofern sie nicht in der Landwirtschaft verwertet wird – einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Siehe dazu auch Kapitel 2.2.8.

Im Vergleich zum Mais ergeben sich bei KUPs deutliche Vorteile: Stickstoff-(N-)Emissionen in das Grundwasser und in die Luft sind geringer, CO<sub>2</sub>-Bindung durch Humusaufbau, die Entwicklung einer artenreichen Krautschicht ist möglich.

Es gibt aber auch eindeutig Nachteile: Zur Vorbereitung muss die Fläche mit einem Totalherbizid behandelt werden. Die Rückentwicklung zum Acker ist aufwendig, da die Wurzeln gerodet werden müssen. In Gebieten mit Bodenbrütern besteht ein erheblicher Konflikt mit dem Artenschutz.

### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Anbau nicht forcieren. In Baden-Württemberg sind die Bedingungen für KUPs aufgrund der kleinteiligen Nutzungsstruktur und der Betriebsgrößen begrenzt. Geeignete Standorte wären Auen. Hier bestehen Konflikte mit der Erhaltung und Entwicklung von gefährdetem Auengrünland. Das Umbruchverbot muss beachtet werden, bei Ackernutzung der Entzug aus der Nahrungsmittelproduktion. Eventuelle Konflikte mit dem Hochwasserschutz müssen untersucht werden. Rentable Ernte ist nur bei größeren Flächen möglich, die u. U. nur durch Kooperation erreicht werden können. Es sollten großtechnische Versuche auf geeigneten Standorten durchgeführt werden. Dabei könnte auch die Anbauweise „Alley-cropping“ (d. h. KUPs werden in Kombination mit Feldfrüchten oder ähnlichen Früchten gepflanzt) hinsichtlich Artenvorkommen mit flächiger KUP-Anbauweise verglichen werden. In größerem Umfang in Baden-Württemberg nur nach Vorplanung in regionalen Energiekonzepten.

**Datenqualität:** Regionalisierte Daten sind für eine gut belegbare Aussage nicht ausreichend.

### 2.2.3 Dauerkulturen (Miscanthus und andere Grasarten)

Weiden, Pappeln im Kurzumtrieb siehe Kapitel 2.2.2.

Die energetische Bilanz bei Miscanthus (Chinaschilf) ist gut bis sehr gut. Emissionen in Luft und Wasser sind gering, da ganzjährig eine Bodenbedeckung besteht und wenig oder gar nicht gedüngt wird. Bei der Umwandlung von mesotrophem und extensivem Grünland bestehen jedoch erhebliche Konflikte mit dem Artenschutz. Ebenso bei der Anlage dieser Dauerkulturen auf Flächen mit intensiv genutztem Auengrünland, da hier aus ökologischen Gründen eher eine Extensivierung des Grünlandes erfolgen sollte. Dauerkulturen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen sind in Baden-Württemberg bislang Nischenprodukte. Aufgrund der aktuellen Entwicklung in der Landwirtschaft und der zu erwartenden Konkurrenz um gute feuchte Standorte sollten standortbezogene Voruntersuchungen abgewartet werden.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Anbau nicht forcieren. Die Standortbedingungen für den Anbau mehrjähriger Gräser sind fast identisch mit denen produktiver Holz-Kurzumtriebs-Plantagen. Daher gelten die gleichen Einschränkungen.

**Datenqualität:** Punktdaten von Einzelflächen.

### 2.2.4 Rapsöl

Rapsanbau für die Herstellung von Dieselöl hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen und mit ca. 10 Prozent der Ackerfläche einen Anteil erreicht, bei dem eine deutliche Steigerung nur noch auf Kosten der Breite der Fruchtfolge oder des Anteils an Silomais unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten vertretbar ist. Silomais hat jedoch die bessere Energiebilanz. Wird akzeptiert, dass ca. zwei Drittel des Raps-Ertrags in die energetische Verwertung eingespeist werden soll, dann sind wesentliche Steigerungen nicht mehr vertretbar.

Eine jüngst erschienene Studie von Crutzen et al. (2007) beschreibt die Wirkung von Lachgasemissionen ( $N_2O$ ) aus der Landwirtschaft, die insbesondere auf intensiv mit stickstoffhaltigen Düngemitteln versorgten Energiepflanzenkulturen bis zu fünf mal höher sind als bisher von der IPCC angenommen wurde. Für Raps zur Biodieselherstellung wäre laut Studie die relative Erwärmung 1,0 bis 1,7mal höher als die „kühlende“ Wirkung durch die Einsparung von  $CO_2$  aus fossilen Treibstoffen. Da in der Studie keine komplette Klimabilanz betrachtet wird, besteht hier noch Forschungsbedarf. Es zeichnet sich aber ab, dass Raps für die Erzeugung von Kraftstoffen der ersten Generation grenzwertig zu bewerten ist.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Keine weitere Förderung. Die Fläche für Rapsanbau sollte auf keinen Fall ausgeweitet werden, da bei einer wesentlichen Steigerung die Nachhaltigkeit im Hinblick auf die Fruchtfolge nicht mehr gewährleistet ist. Als Übergangsstrategie kann ein Teil aus der Nahrungsmittelproduktion herausgenommen werden und der energetischen Verwertung zugeführt werden (aktuell ein Drittel). Mittelfristig sollte Rapsöl nicht zur Kraftstoff-Herstellung verwendet werden.

**Datenqualität:** Gut

### 2.2.5 Alkohol aus Getreide und Zuckerrübe

Aktuell 0,08 PJ Energie aus 0,6 Prozent der Brotgetreide-Fläche. Zucker aus der Zuckerrübe zur Alkoholgewinnung hat eine sehr ungünstige Energie- und Ökobilanz und sollte nicht gefördert werden. Aufgrund der Rahmenbedingungen und besserer Alternativen kann Getreide zur Alkoholgewinnung in Baden-Württemberg keinen signifikanten Anteil erreichen.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Anbau nicht forcieren. Aufgrund energetisch besserer Alternativen sollte in Baden-Württemberg keine gezielte Förderung von Getreide- und Rübenanbau für die Produktion von Bioethanol erfolgen. Es kann jedoch in geeigneten Betrieben ein sinnvolles Nischenprodukt darstellen. Der mögliche Beitrag in einer Fruchtfolge sollte noch untersucht werden.

**Datenqualität:** Gut.

### 2.2.6 Silomais

Mit 80.000 ha oder 10 Prozent der Ackerfläche hat Silomais einen Anteil erreicht, der bei Berücksichtigung geeigneter Standorte und einer breiten Fruchtfolge nicht mehr wesentlich erweitert werden darf. Erosion und Gewässerbelastung würden ansteigen. 100 neue Standorte für Biogasanlagen sind in Planung. Bei diesem Ausbaugrad sind ca. 30.000 ha Anbaufläche erforderlich. Diese stehen in Konkurrenz zur Milch- und Fleischproduktion, für die weitere Steigerungen der Erzeugerpreise zu erwarten sind. In Bezug auf die Klimawirksamkeit von Mais kommt Crutzen et al. (2007) in seiner Studie zu dem Schluss, dass Mais (zur Ethanolherstellung) eine relative Klimaerwärmung verursacht, die den Berechnungen zufolge bis zu 0,9 bis 1,5 Mal höher ist, als die eingesparte Menge an CO<sub>2</sub>. Dies ist bei Silomais sicher deutlich geringer, soweit derzeitig erkennbar auch geringer als bei Raps und Dieselerzeugung. Daher wird Silomais zur Gasgewinnung positiver bewertet.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Ausbau der Fermentierung verstärkt auf Reststoffe und Landschaftspflegegut. Mais spielt im Hinblick auf die Biogas-Gewinnung eine wichtige Rolle und schneidet im Hinblick auf die Energiebilanz günstig ab. Insbesondere sollte keine Ausweitung auf Grünlandstandorte erfolgen (Silomais in Zweikulturnutzungssystemen siehe Kapitel 2.2.7). Auf über 10 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche sollte der Anbau von Silomais für die energetische Nutzung nicht gesteigert werden.

**Datenqualität:** Zur Abschätzung der Gesamtmenge gut, Konfliktflächen noch unzureichend bekannt.

### 2.2.7 Zweikulturnutzungssysteme





Unter dem Begriff Zweikulturnutzungssysteme werden Mischkulturen zusammengefasst, bei denen die Ganzpflanzen vor der Reife zur Energiegewinnung geerntet werden. Sie gelten bereits jetzt als ökonomisch tragfähig und können vor allem als Alternative zum Mais zur Biogasgewinnung eingesetzt werden. Nach dem Anbau einer Wintergetreidemischung können in Direkteinsaat Mais, Sonnenblumen oder Leguminosen als Sommerfrucht angebaut



werden. Das Zweikulturnutzungssystem hat damit den Vorteil einer ganzjährigen Begrünung. Bodenerosion und Nährstoffauswaschung werden minimiert, Unkräuter können toleriert werden, alte Getreiderassen können eingesetzt werden.

Untersuchungsbedarf besteht noch hinsichtlich der Quantifizierung der Bilanzierung klimawirksamer Gase in der Fruchtfolge und notwendiger Maßnahmen (Herbizide) bei nachfolgendem Anbau von Nahrungspflanzen.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Marktentwicklung abwarten, Begleitforschungen sind erforderlich. Langfristig nur zur Erweiterung der Fruchtfolge. Die unter diesem Begriff zusammengefassten Mischkulturen können die Fruchtfolge bereichern, mit geringem Aufwand an Herbiziden und Pestiziden produziert werden und sind aufgrund der kontinuierlichen Bodenbedeckung bodenschonend. Die hierfür bereitgestellte Fläche steht dann jedoch nicht mehr zur Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung. In großem Stil angewandt entsteht die Gefahr einer neuen Monokultur. In Landschaften mit enger Fruchtfolge positiv.





**Datenqualität:** Für die Erstellung eines Flächenbezugs ausreichend. Potenzielle Konflikte noch nicht vollständig erforscht.

#### 2.2.8 Grassilage





Grassilage vom Intensivgrünland als Beigabe zur Fermentierung steht in Konkurrenz zur Milcherzeugung und Rindfleischproduktion, die sich kostendeckenden Erzeugerpreisen nähern. Da Grünland, das nicht für die Tierernährung benötigt wird (ca. 167.000 ha), in Baden-Württemberg größtenteils empfindliche Standorte einnimmt, sollte eine Intensivierung, egal ob zu Vielschnitt-Grünland oder zu Silomais, vermieden werden. Die guten Grünlandstandorte können potenziell in leistungsfähige Dauerkulturen umgewandelt werden. Mit ca. 7 PJ/Jahr ist das Potenzial über Intensivgrünland ausgereizt. In Auen ist die Extensivierung von Grünland ein wichtiges Ziel, um Oberflächengewässer und das Grundwasser zu schützen und Artenschutz-Ziele zu erreichen. Umgesetzt würde dies eine Extensivierung bedeuten, die das Flächenpotenzial noch einmal verringert. Es würde aber sehr wesentlich das Ziel „Biodiversität vor Energie“ umsetzen.

Mesotrophes (mittlerer Nährstoffhaushalt) und trockenes Grünland gehört zu den Habitattypen mit hoher Bedeutung für die Biodiversität (Schutzgebiete nach FFH Annex 1). Die bei der Pflege anfallende Biomasse kann, je nach Feuchtegrad und Inhaltsstoffen, zur Vergärung oder (als Heu) zur thermischen Verwertung genutzt werden.

#### Bewertung Grassilage vom Intensivgrünland:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

#### Bewertung mesotrophes und trockenes Grünland:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Es sollte keine weitere Steigerung im Intensivbereich erfolgen. Extensivgrünland und Landschaftspflegegut als „added value“ (Förderung und Verwertung) aufgrund der hohen Bedeutung für den Artenschutz ausbauen. Gras als Biomasse für die Fermentierung steht, wie Mais, in Konkurrenz zur Milch- und Fleischproduktion, die ökonomisch zunehmend

bessere Rahmenbedingungen finden. „Überschussgrünland“ sollte energetisch verwertet und eine Intensivierung ausgeschlossen werden. Die Nutzung von extensivem Grünland kann bei vielen kleinen dezentralen Standorten nur in Kombination mit Landschaftspflegemaßnahmen (Heu u. a.) erfolgen.

**Datenqualität:** Räumlich noch völlig unzureichend.

### 2.2.9 Reststoffe und Biomasse von Zwischenfrüchten

Auf der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche können zur Erweiterung der Fruchtfolge und zur Begrünung im Winter vermehrt Zwischenfrüchte angebaut und als feuchte Biomasse fermentiert werden. Dies hätte ökologisch positive Auswirkungen. Die Biomasse von Zwischenfrüchten sollte aber bei umfangreicher Strohentnahme zur Bodenerhaltung teilweise eingearbeitet werden, steht also nicht für eine energetische Verwertung zur Verfügung. Ganzpflanzennutzung von Getreide kann ebenfalls einen Beitrag leisten, allerdings in deutlicher Konkurrenz zur Verwertung als Nahrungsmittel.

**Bewertung:**

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---





**Empfehlung:** Als „Kombinutzung“ ausbauen. Sicherstellen, dass in den Anlagen Rohmaterial verschiedenster Herkünfte eingespeist werden kann. Bei einem hohen Anteil von Mais und Raps in der Fruchtfolge und einer Nutzung von 60 Prozent des Stroh für die thermische Verwertung ist die Einarbeitung von Zwischenfrüchten in den Boden zur Erhaltung der Kohlenstoffbilanz erforderlich. Der Anteil von Leguminosen in der regulären Fruchtfolge kann als Energieträger und wichtiges auflockerndes Glied in der Fruchtfolge noch gesteigert werden.

**Datenqualität:** Grobeinschätzung des Potenzials befriedigend, räumliche Verifizierung unzureichend, derzeitige energetische Nutzung unzureichend bekannt.

### 2.2.10 Stroh

Stroh ist im Vergleich zur Wurzelmasse und zu Zwischenfrüchten für die Erhaltung der Bodenqualität von geringerer Bedeutung. Bei einer entsprechend ausgestalteten Fruchtfolge und Bodenbearbeitung steht das Stroh daher nachhaltig zur Energiegewinnung (zur thermischen Verwertung und für Kraftstoffe der zweiten Generation) zur Verfügung. Mit einem Potenzial von ca. 15 PJ ist ein signifikanter Anteil an der nachhaltig verfügbaren Energie aus Biomasse möglich.

**Bewertung:**

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Stroh für die thermische Verwertung und für Kraftstoffe der zweiten Generation sollte einen erheblichen Anteil an der Primärenergie aus Biomasse einnehmen, da dies ohne ökologische Nachteile möglich ist, sofern eine weite Fruchtfolge und schonende Bodenbearbeitung gewährleistet werden. Technische Voraussetzungen und die Regelungen in Agrar-Umweltprogrammen müssen verbessert werden. Das Land muss die Logistik bei der Verwendung von Stroh zur Bioenergiegewinnung fördern, gerade weil der volumetrische Energiegehalt (Energiedichte) von Stroh sehr gering ist. Das Land sollte darüber hinaus Gelder für Forschung und Entwicklung bereitstellen, wie Stroh am besten genutzt werden kann.

**Datenqualität:** Gut bis befriedigend.

### 2.2.11 Landschaftspflegegut

Von ca. einem Drittel der Siedlungsfläche (Parks, Gärten, etc.) und dem Begleitgrün der Straßen fällt regelmäßig Biomasse an, die entsorgt werden muss (Grüngutsammlung und Biotonne). Für den Kompost fehlen zwischenzeitlich ausreichend Abnehmer. Diese Biomasse kann und sollte der energetischen Verwertung zugeführt werden. Ein wesentlicher Prozentsatz fällt aber dezentral an, muss daher in einem Entsorgungskonzept mitfinanziert werden.

Rund die Hälfte der Naturschutzflächen sind Offenlandbiotop, die bewirtschaftet werden müssen. Mähgut kann der energetischen Nutzung zugeführt werden. Aufgrund der Struktur und dem dezentralen Aufkommen ist jedoch eine extensive Beweidung eine kostengünstige und ökologisch geeignete Alternative. Nahrungssuchende Weidetiere sind weitaus besser als Arbeiter dazu prädestiniert, ungleichmäßig verteiltes Material zu nutzen. Daher kommt nur ein Teil der Fläche als Rohstofflieferant für den Energiepfad in Frage (max. ein Viertel). Hier müssen Landschaftspflegemittel und Materialwert gebündelt werden.

#### Bewertung:

Energieertrag		Ressourcenschutz		Konkurrenz		Bereitstellung	
---------------	---	------------------	---	------------	---	----------------	---

**Empfehlung:** Der NBBW empfiehlt, gezielt Modelle für Organisation und Finanzierung zu erarbeiten. Das Potenzial ist sehr hoch, seine Ausschöpfung jedoch nur bei einer Co-Finanzierung möglich (z. B. über Abfallgebühren, Landschaftspflegemittel, Agrar-Umweltprogramme). Die tatsächlich nutzbare Menge darf daher nicht überschätzt werden. Bei der Novellierung des Landesabfallgesetzes sollte der Ausbau des energetischen Nutzungspotenzials berücksichtigt werden. Pflege- und Entwicklungspläne sollten auch berücksichtigen, wie Pflegematerial sinnvoll energetisch genutzt und, z. B. in Biogasanlagen, naturverträglich verwertet werden kann. Das Land muss Gelder für Forschung und Entwicklung bereitstellen. Dabei sollten die Mengen räumlich genauer erfasst und Wege einer sinnvollen energetischen Nutzung erforscht werden. Es müssen Untersuchungen zur Trennung sowie zu den Schadstoffgehalten durchgeführt und die positiven Umwelteffekte quantifiziert werden (C- und N-Bilanz, Arten- und Biotopschutz, Grundwasserschutz). Von Flächen, die für extensive Beweidung geeignet sind, sollte nur Gehölzaufwuchs Verwendung finden. Raumbezogene Bilanzierungen und Konzepte sollten erstellt und gefördert werden (Transportlogistik).

**Datenqualität:** Raumbezug noch ungenügend.

### 2.3 Zusammenfassende Darstellung der Empfehlung des NBBW

Energieträger (Kapitel)	Energieertrag Ertrag pro Flächeneinheit (siehe Tabelle im Anhang)	Ressourcenschutz Beeinträchtigung von Böden, Grundwasser, Biodiversität	Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion	Bereitstellung Räumliche Anforderungen, um Aufkommen zu ernten und in Anlagen einzuspeisen
<b>Restholz-Nutzung</b> (2.2.1)				
<b>Energieholz-Anbau</b> (2.2.1)			*	
<b>Kurzumtriebs-Plantagen</b> (2.2.2)				
<b>Dauerkulturen</b> (2.2.3)				
<b>Rapsöl</b> (2.2.4)				
<b>Alkohol</b> (2.2.5)				
<b>Silomais</b> (2.2.6)				
<b>Zweikulturnutzung</b> (2.2.7)				
<b>Grassilage Intensivbereich</b> (2.2.8)				
<b>Grassilage mesotroph</b> (2.2.8)				
<b>Zwischenfrüchte</b> (2.2.9)				
<b>Stroh</b> (2.2.10)				
<b>Landschaftspflegegut</b> (2.2.11)				

Erläuterung zu den Ampeln:

- Grün: günstig/gering
- Gelb: Restriktionen beachten
- Rot: ungünstig/hoch

\* Energieholzanbau auf Waldflächen steht aber in Konkurrenz zur Wertholzproduktion

### 3. Verwertungsstrategie in Baden-Württemberg

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln dargelegt, steht Biomasse – einschließlich biogener Rest- und Abfallstoffe – in Baden-Württemberg in bedeutenden, aber begrenzten Mengen für eine energetische Verwendung zur Verfügung. In diesem Kapitel wird ein Einblick in die Vielfalt der energetischen Verwertungsmöglichkeiten gegeben, wobei der Schwerpunkt weniger auf die technische Beschreibung zielt, sondern vielmehr Hinweise für die Ausrichtung einer Verwertungsstrategie geben möchte.

#### 3.1 Technologien und Perspektiven

Biomasse und biogene Rest- und Abfallstoffe liegen in sehr unterschiedlicher Art und Form vor. Um diese Bioenergieträger zur Bereitstellung von Wärme, Strom oder Kraftstoff nutzen zu können, sind teilweise aufwendige und kostenintensive Verfahrensschritte bei der Erfassung (Ernte), Konditionierung, Lagerung und beim Transport an den Verwertungsort nötig. Über physikalisch-chemische, biochemische und thermochemische Prozessschritte können die Bioenergieträger dann in Wärme, Strom und Kraftstoff umgewandelt werden (vgl. Abb. 3.1).

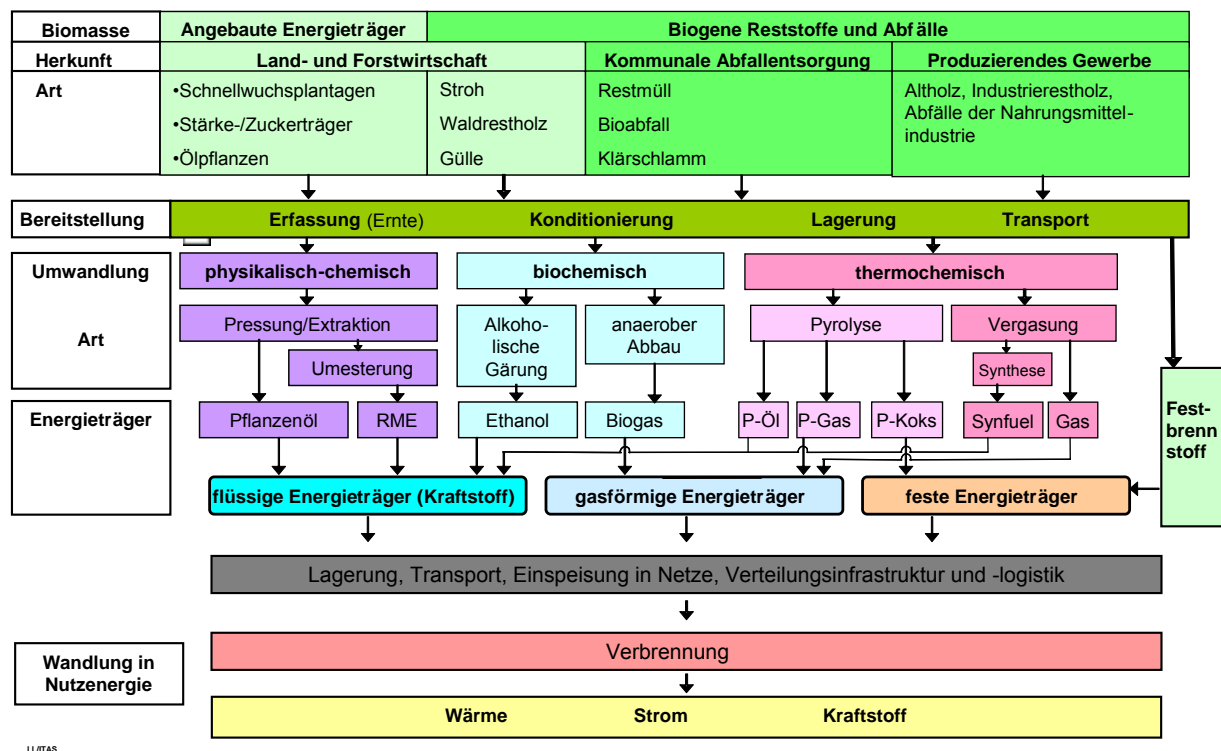


Abb. 3.1: Überblick zu den wesentlichen Schritten der Bereitstellung von Wärme, Strom und Kraftstoff aus Biomasse und biogenen Rest- und Abfallstoffen. Quelle: verändert nach Leible et al. (2006)

Die energetische Nutzung von relativ trockener Biomasse (insbesondere Holz), findet derzeit im Wesentlichen in der Wärmeversorgung statt. Im Bereich der alleinigen Wärmeerzeugung werden dabei den Nahwärmeversorgungssystemen gute Zukunftschancen prognostiziert. Biomassebefeuerte Heizwerke weisen im Allgemeinen eine sehr gute technische Reife auf, insbesondere bei Verwendung von Holz in Form von Hackschnitzeln; die wirtschaftliche Situation dieser Biomasse-Nahwärmesysteme hat sich aufgrund der gestiegenen Preise für fossile Energieträger deutlich verbessert. Im Bereich der Kleinf Feuerungen für Haushalte hat sich in den letzten Jahren die Verwendung von Holzpellets einen nicht vernachlässigbaren

Markt erobert; bei den niedrigen Getreidepreisen der Vergangenheit hatte sich hier auch eine Perspektive für die Getreideverbrennung eröffnet. Es sollte geprüft werden, inwieweit der Einsatz von Strohpellets in Kleinfeuerungen eine technisch und wirtschaftlich interessante Alternative darstellt.

Beim Einsatz von Holz zur Stromproduktion – auch im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung – sind ausschließlich Anlagen anzutreffen, die hinsichtlich ihrer Größenklasse ( $\leq 20 \text{ MW}_{\text{el}}$ ) noch konform mit den Anforderungen des EEG gehen. Der wärmegeführte Betrieb von Biomasse-Heizkraftwerken zur gekoppelten Wärme- und Strombereitstellung ist meist nur dann ökonomisch sinnvoll, wenn infolge eines hohen ganzjährigen Wärme- oder Prozessdampfbedarfs diese Betriebsweise zu hohen Volllaststundenzahlen führt. Die Verbrennung von Stroh zur Stromerzeugung ist wegen der tieferen Ascheerweichungstemperatur, verglichen mit Holz, technisch komplexer; hier zeigt die Co-Verbrennung in Steinkohlekraftwerken jedoch interessante Perspektiven auf.

Die Erzeugung von Biogas zur Stromproduktion hat aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen des EEG (2004) – sie garantieren eine feste Stromvergütung für die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz – einen regelrechten Boom erfahren. 1990 waren in Deutschland rd. 100 Biogasanlagen in Betrieb; Ende 2006 waren dies rd. 3500 Anlagen, mit einer installierten Leistung von 1.100  $\text{MW}_{\text{el}}$  (Baden-Württemberg: 532 Anlagen mit 118.930 kW im Jahr 2007). Die derzeit wichtigsten Einsatzsubstrate für Biogasanlagen sind Gülle und Silomais. Da sich Silomais in Folge des innerhalb eines Jahres stark angestiegenen Agrarpreisniveaus um rd. 50 Prozent verteuert hat, haben Biogasanlagen, die überwiegend auf Silomais ausgerichtet sind, derzeit große Probleme, ihre Wirtschaftlichkeit darzustellen. Vor dem Hintergrund der teilweise nur ungenügenden Wärmenutzung im BHKW-Betrieb zielen aktuelle Bestrebungen darauf ab, Biogas auf Erdgasqualität aufzubereiten und ins Erdgasnetz einzuspeisen. Dies hat den Vorteil, dass die Erzeugung und Verwendung des Biogases nicht am gleichen Ort erfolgen muss, so dass hierdurch ein besserer Gesamtnutzungsgrad erreicht werden kann. Biogas kann natürlich auch als Kraftstoff – direkt, oder besser nach Einspeisung ins Erdgasnetz – genutzt werden. Derzeit ist diese Verwendung zwar nur von nachrangiger Bedeutung; sie sollte aber aufgrund der günstigen spezifischen treibhausrelevanten Emissionen im Betrieb weiter forciert werden.

Der Markt für Biodiesel (RME) und Ethanol als biogene Kraftstoffe der ersten Generation hat sich in den vergangenen Jahren aus einer Nische zu einem zentralen Thema von Wirtschaft und Politik entwickelt; Biodiesel steht hierbei mengenmäßig im Vordergrund. Gefördert wurde dies nicht zuletzt durch die langjährige Steuerbefreiung, die dazu geführt hat, dass sich insbesondere die Produktionskapazitäten von Biodiesel (RME) sehr dynamisch entwickelten; sie liegen heute bei etwa 3,5 Mio. Tonnen pro Jahr. In Deutschland können damit rund 11 Prozent des Dieserverbrauchs gedeckt werden. Neben Biodiesel entwickelte sich auch der Markt für Bioethanol aus Weizen in den vergangenen Jahren stetig; zwischen 2004 und 2006 stieg in Deutschland die Ethanolproduktion auf rd. 600.000 t an. In Deutschland ist die Steuerbefreiung für biogene Kraftstoffe – zugunsten einer Beimischungspflicht (Biokraftstoffquotengesetz) – größtenteils aufgegeben worden, um den drastischen Steuerausfällen entgegenzuwirken. Für Biokraftstoffe der zweiten Generation besteht die Steuerbefreiung noch bis 2015. Vor diesem Hintergrund werden an die synthetischen Kraftstoffe aus Biomass-to-Liquid(BtL)-Prozessen (z. B. nach dem bioliq®-Konzept des Forschungszentrums Karlsruhe) hohe Erwartungen geknüpft. Zum einen, weil sie die Nutzung von Lignocellulose (Holz, Stroh) als mengenmäßig bedeutendster Biomasseträger zur Kraftstoffproduktion ermöglichen; zum anderen, weil über die Nutzung der ganzen Pflanze höhere Kraftstoffträge pro Hektar als bei Biodiesel aus Raps oder Ethanol aus Weizen realisiert werden können.

Aufgrund der stark gestiegenen Weltmarktpreise für Raps und Weizen dürfte der in den letzten Jahren zu beobachtende Zuwachs in Deutschland bei der Produktion von Biodiesel oder Bioethanol aus Weizen zum Erliegen kommen. Es gilt abzuwarten, ab welchen Erdölpreisen die Produktion von Biokraftstoffen der zweiten Generation – z. B. von BtL-Kraftstoff nach dem bioliq®-Konzept – in größeren Mengen demonstriert wird.

### **3.2 Wirtschaftlichkeit**

Im Kasten 3.2 auf der folgenden Seite werden die verfügbaren Technologien zur energetischen Nutzung von Biomasse, hier insbesondere von Stroh und Waldrestholz, zur Bereitstellung von Wärme, Strom und BtL-Kraftstoffen – als Beispiel für Biokraftstoffe der zweiten Generation – anhand der realisierbaren Wärme-, Strom- und Kraftstoffgestehungskosten vergleichend gegenübergestellt und bewertet. Im Mittelpunkt der Gegenüberstellung steht die Frage, bei welchen Verfahren die beste ökonomische Verwertung der Biomasse und die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zu realisieren sind. Als Referenztechnologien werden die Verfahren auf Basis fossiler Energieträger (Steinkohle und Erdöl) herangezogen. Hierbei muss beachtet werden, dass in einer solchen Gegenüberstellung der technische Entwicklungsstand eines Verfahrens einen entscheidenden Einfluss hat, der bei den dargestellten Verfahren sehr unterschiedlich ist.

Im Ergebnis zeigt die Gegenüberstellung, dass die Wirtschaftlichkeit im Bereich der Wärmebereitstellung im Vergleich zur Nutzung von Heizöl in der Regel gegeben ist. Im Bereich der Strom- und Kraftstoffbereitstellung hingegen erweisen sich die zum Vergleich herangezogenen etablierten Energieträger als wirtschaftlicher.

### **3.3 Empfehlungen zu Verfahren und Technologien**

Die Förderung der Bioenergie sollte generell stärker auf die Nutzung der vorhandenen biogenen Rest- und Abfallstoffe – Waldrestholz (Waldenergieholz), Stroh, Landschaftspflegegut, Gülle – ausgerichtet werden (s. Kapitel 2).

Die stark angestiegenen Preise für klassische Agrarrohstoffe wie Getreide, Raps oder Silomais zeigen, dass Bioenergieanlagen, die auf diese Biomasseträger angewiesen sind, derzeit große Probleme haben, wirtschaftlich zu sein.

Für die dezentrale Nutzung der Biomasse (z. B. in Kleinfeuerungen) sollten zur Emissionsminderung (insbes. Feinstaub) durch Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen effiziente und kostengünstige Technologien bereitgestellt werden.

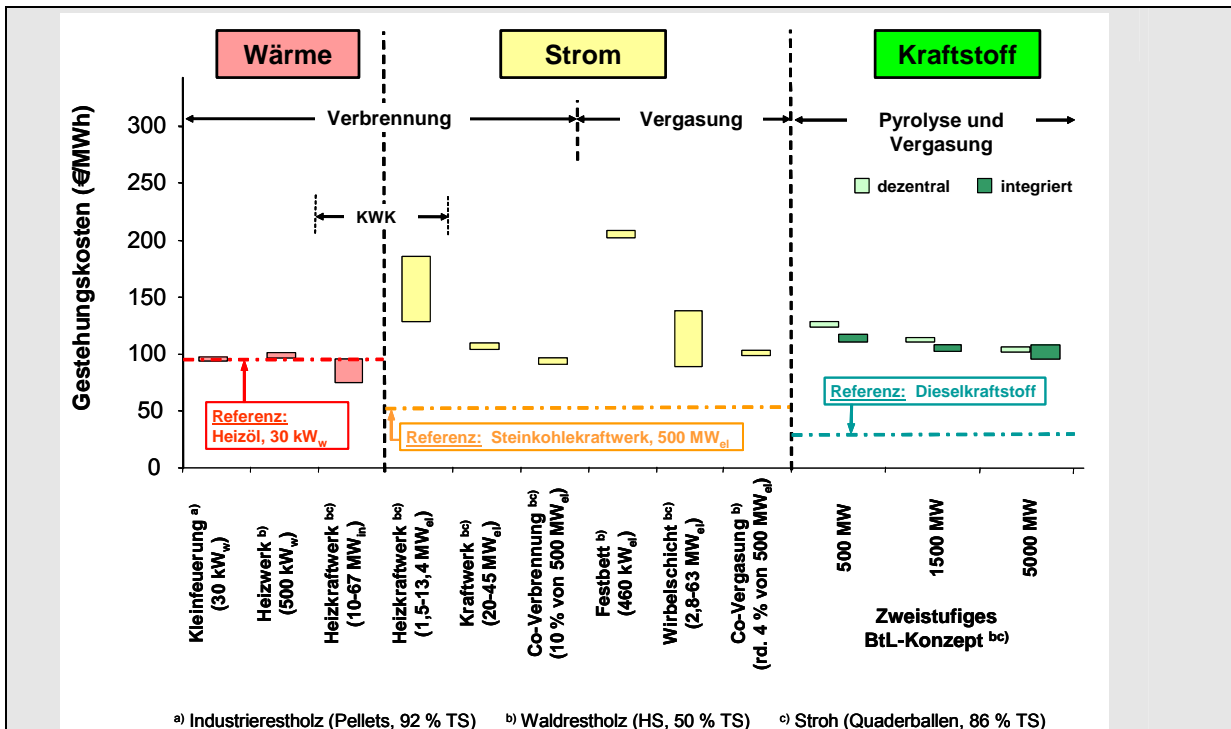
Die Datenlage bei der Einschätzung der Emission von Treibhausgasen ist teilweise ungenügend; dies trifft beispielsweise für die Methanemissionen bei der Erzeugung von Biogas zu.

Zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Verbrennungs- und Vergasungstechnologien, insbesondere bei Anlagen im höheren Leistungsbereich, wäre es sinnvoll, die derzeitige Förderung durch das EEG auch auf Anlagen mit elektrischen Leistungen über 20 MW<sub>el</sub> zu erweitern.

Die Verwendung der Rückstände aus Bioenergieanlagen (z. B. Aschen, Gärrückstände) sollte zur Schließung von Nährstoffkreisläufen weiter optimiert werden.

Im Gegensatz zu den bisher diskutierten Biokraftstoffen (Biodiesel und Bioethanol) der ersten Generation befindet sich die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen (Biokraftstoffe der zweiten Generation) noch in einem frühen Stadium der technischen Entwicklung und Demonstration; mit Blick auf eine Markteinführung sind hier noch umfangreiche Forschungs- und Demonstrationsarbeiten notwendig.

Kasten 3.2: Gestehungskosten bei Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz (Leible et al. 2007)



**Wärmebereitstellung:** Diese Technologien können bereits heute in der Regel nahezu wirtschaftlich betrieben werden und kommen somit ohne Subventionen aus. Ein Beleg hierfür ist die derzeit zu beobachtende verstärkte energetische Nutzung von Holz im Wärmesektor, was sich auch in den gestiegenen Holzpreisen widerspiegelt.

**Stromerzeugung:** Im Vergleich zu den Stromgestehungskosten im Steinkohlekraftwerk stellt sich die Stromproduktion in Heizkraftwerken (Kraft-Wärme-Kopplung) und Kraftwerken auf der Brennstoffbasis von Waldrestholz und Stroh als nicht wirtschaftlich dar. Ein wirtschaftlicher Betrieb dieser Biomasseanlagen wird unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen nur dadurch erreicht, dass kostengünstigere Holzsortimente (Alt-, Industriorestholz oder auch Landschaftspflegegut) mit verbrannt werden. Von den betrachteten Modellanlagen zur Stromerzeugung können die großen Biomassekraftwerke – derzeit nicht durch das EEG gefördert – mit einer elektrischen Leistung im Bereich von 20 bis 45 MW<sub>el</sub> aufgrund von Degressionseffekten als erste die Schwelle zum wirtschaftlichen Betrieb erreichen. Die Co-Verbrennung von Waldrestholz und Stroh in Steinkohlekraftwerken stellt eine sehr kostengünstige Möglichkeit dar, den originär eingesetzten Brennstoff Steinkohle teilweise zu substituieren. Wie die Ergebnisse zeigen, kann über die Co-Verbrennung von Waldrestholz und Stroh in einem Steinkohlekraftwerk Strom zu Kosten von unter 100 EUR/MW<sub>el</sub> und somit günstiger als im Biomassekraftwerk produziert werden. Dies ist aber immer noch wesentlich teurer als eine Stromerzeugung ausschließlich über Steinkohle. Obwohl die Datenbasis und die darauf aufbauende Bewertung der Vergasungstechnologien mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind, deuten sich einige Schlussfolgerungen an: Für Anlagen ab etwa 5 MW<sub>el</sub> ist am Beispiel der Wirbelschichtvergasung das Potenzial für realisierbare Vorteile bei den Stromgestehungskosten gegenüber den Verbrennungstechnologien erkennbar. Grundsätzlich dürften die Vorteile der Vergasungstechnologien eher im Bereich der Stromerzeugung liegen, wohingegen die Verbrennungstechnologien bei der Bereitstellung von Wärme überlegen sind, insbesondere bei den kleinen Heizanlagen und bei den wärmegeführten Heizkraftwerken.

**FT-Kraftstoff:** Beim Vergleich mit den Gestehungskosten von Diesel in einer Raffinerie wurden mit Blick auf die zentrale Vergasung und Synthese drei Anlagengrößen von 500, 1500 und 5000 MW<sub>in</sub> unterschieden; dies würde einer Kraftstoffproduktion von rund 100.000 bis 1 Mio. Jahrestonnen (jato) entsprechen. Zum Vergleich: Bei herkömmlichen Erdöl-Raffinerien kann eher von 10 Mio. jato an Kraftstoffproduktion ausgegangen werden. Wie die Abschätzungen zeigen, liegen die Gestehungskosten für BtL-Kraftstoff, je nach Anlagengröße und -konzept, zwischen 100 und 130 EUR/MWh frei Syntheseanlage. Zum Vergleich: Beim Dieselkraftstoff liegen die Bereitstellungskosten (vor Steuern) frei Raffinerie bei rd. 43 EUR/MWh, ausgehend von einem Rohölpreis von 70 US\$/bbl. Abschätzungen zeigen, dass eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Produktion von FT-Kraftstoffen ohne Subventionen erst ab Rohölpreisen von 130-140 US\$/bbl möglich wäre (Leible et al. 2007). Im Vergleich mit den anderen Technologien zur energetischen Nutzung von Stroh oder Waldrestholz, die ebenfalls fossile Energieträger substituieren könnten, liegt dieser Wert am oberen Ende und ist damit als recht ungünstig einzustufen.



## Anhang

### Literaturquellen

*Crutzen, P.J. et al. (2007):* N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. ACPD7, 11191-11205, 2007.

*Dreier, T. (1999):* Biogene Kraftstoffe. Energetische, ökologische und ökonomische Analyse. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, Technische Universität München. IfE Schriftenreihe Heft 38, 1. Auflage.

*FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2005):* Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, 3. Aufl. 2007. [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_189leitfaden\\_2005.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_189leitfaden_2005.pdf)

*Leible, L. und Kälber, S. (2006):* Energetische Nutzung fester biogener Reststoffe. In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Bioenergie: Zukunft ländlicher Räume. Heft 1/2.2006, S. 43-54.

*Leible, L.; Kälber, S.; Nieke, E.; Fürniß, B. (2006):* Biogene Kraftstoffe – Kraftstoffe der Zukunft? Sonderdruck des Themenschwerpunkts Heft 1/2006 der Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“. Karlsruhe 2006.

*Leible, L.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Proplesch, P.; Wintzer, D.; Fürniß, B. (2007):* Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz: Eine systemanalytische Untersuchung. Karlsruhe 2007 (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7170). <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/leua07a.pdf>

*MLR - Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (2005):* Stellungnahme des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum vom 21.07.2005 zur Anfrage „Energetische Nutzung von Biomasse in Baden-Württemberg“ (Landtags-Drucksache 13/4539).

*MLR - Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (2007):* Stellungnahme des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum vom 16.03.2007 zur Anfrage „Grenzen der Biomassenutzung“ (Landtags-Drucksache 14/1060).

*MLR - Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (Hrsg.) (2006):* Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg. Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor. Stuttgart, März 2006.

*NBBW - Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg (2003):* Nachhaltiger Klimaschutz durch Initiativen und Innovationen aus Baden-Württemberg. Sondergutachten. Stuttgart, Januar 2003. <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de/mainDaten/dokumente/klimagutachten.pdf>

*NBBW - Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg (2004):* Neue Wege zu einem nachhaltigen Flächenmanagement in Baden-Württemberg. Sondergutachten. Stuttgart, Februar 2004. <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de/mainDaten/dokumente/flaechengutachten.pdf>

*NBBW - Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg (2007):* Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Baden-Württemberg. Sondergutachten. Stuttgart, April 2007. <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de/mainDaten/dokumente/energiegutachten.pdf>

*Reinhardt, G.; Scheurlen, K.; Gärtner, S. (2005):* Nachhaltige Biomassepotenziale in Baden-Württemberg. Kurzgutachten gefördert durch den Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Baden-Württemberg (BUND). [http://www.ifeu.org/landwirtschaft/pdf/biomasse\\_ba\\_wue.pdf](http://www.ifeu.org/landwirtschaft/pdf/biomasse_ba_wue.pdf)

Rösch, C. (2001): Nachhaltige Nutzung von Biomasse als Energieträger. In: TA-Datenbank-Nachrichten 10(2001)3, S. 27-34.

Rösch, C.; Raab, K.; Skarka, J.; Stelzer, V. (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Energie? Karlsruhe 2007 (Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333). <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/roua07b.pdf>

Siebert, S.; Döll, P.; Hoogeveen, J.; Faures, J.-M.; Frenken, K.; Feick, S.: Development and validation of the global map of irrigation areas. In: Hydrology and Earth System Sciences, 9, 535-547, 2005.

SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin, Juli 2007.

[http://www.umweltrat.de/02gutach/download02/sonderg/SG\\_Biomasse\\_2007\\_Buch.pdf](http://www.umweltrat.de/02gutach/download02/sonderg/SG_Biomasse_2007_Buch.pdf)

UM - Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2007): Umweltplan Baden-Württemberg. Stuttgart, 2007.

UM/WM - Umweltministerium Baden-Württemberg und Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2007): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2006. Stuttgart, 2007.

WM - Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2007): Energiebericht 2007. Stuttgart, September 2007. <http://www.wm.baden-wuerttemberg.de>

WM - Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2008): Energiekonzept Baden-Württemberg 2020. Version 1.0 (Stand 21.12.07).

## **Tabelle zum Energieertrag**

Die unten aufgeführte Tabelle stellt den Hektar-Energieertrag verschiedener Kulturpflanzen in Baden-Württemberg vergleichend nach der sog. Heizwertmethode dar. Die Angaben entsprechen dem Ergebnis eines Expertenworkshops im November 2007 in Stuttgart und sind spezifisch für Baden-Württemberg. Generell können die Koeffizienten aber auch dem sog. KTBL-Handbuch zum Anbau von Energiepflanzen (KTBL/FNR, 2006) entnommen werden (dort auch als Ertrag unter Verwertungsannahmen). Das „Globale Emissions-Modell Integrierter Systeme“ (GEMIS; <http://www.oeko.de/service/gemis/>) stellt hier ebenfalls eine umfassende Quelle zur Verfügung.

Kulturart	Energieertrag bezogen auf Trockenmasseheizwert [GJ/ha]
Getreide Ganzpflanze	201
Getreide Stroh	101
Gras	100-150
Holz Kurzumtrieb	185
Mais	260
Miscanthus	199-260
Raps-Öl	40
Raps-Korn	80
Raps-Stroh	70
Raps-Ganzpflanze	150
Zuckerrüben	220