



Biomassepotenzialstudie Hessen – Stand und Perspektiven der energetischen Biomassennutzung in Hessen

Materialband



Biomassepotenzialstudie Hessen – Stand und Perspektiven der energetischen Biomassenutzung in Hessen

Materialband

Autoren:

Witzenhausen-Institut GmbH

Thomas Raussen, Dr.-Ing. Michael Kern, Ulla Koj, Jana Wagner,
Dr. Hubertus Hofmann

Pöyry Environment GmbH, Abt. IGW

Tom Turk, Ursula Einzmann

Studie im Auftrag des:

HESSISCHEN MINISTERIUMS

FÜR UMWELT, ENERGIE, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (HMUELV)

MAINZER STRASSE 80

65189 WIESBADEN

Auftragnehmer: Arbeitsgemeinschaft

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt
und Energie GmbH
Werner-Eisenberg-Weg 1
37213 Witzenhausen
Tel.: 05542 / 9380-0
Fax: 05542 / 9380-77
E-Mail: info@witzenhausen-institut.de
Domain: www.witzenhausen-institut.de

Pöyry Environment GmbH
Abt. IGW
Bisshäuser Aue 12
37213 Witzenhausen
Tel.: 05542 9308-0
Fax: 05542 9308-20
E-Mail: environment.witzenhausen.de@poyry.com
Domain: www.poyry.de; www.igw-witzenhausen.de

INHALT

1	EINFÜHRUNG.....	1
2	BEGRIFFSDEFINITIONEN	2
2.1	Endenergie	2
2.2	Potenziale	2
2.3	Energieeinheiten.....	3
3	BIOGENE FESTBRENNSTOFFE.....	4
3.1	Holzige Biomasse	5
3.1.1	Waldholz.....	6
3.1.2	Sägerestholz und Sägenebenprodukte	14
3.1.3	Kurzumtriebsplantagen.....	18
3.1.4	Landschaftspflegeholz aus der Offenlandschaft.....	21
3.1.5	Landschaftspflegeholz entlang von Verkehrswegen und Versorgungstrassen	24
3.2	Halmartige Biomasse	29
3.2.1	Stroh	30
3.2.2	Miscanthus	35
3.3	Feste Brennstoffe aus Abfall	38
3.3.1	Altholz.....	38
3.3.2	Biogene Anteile im Hausmüll.....	41
3.3.3	Holzige Anteile des Grünabfalls.....	45
3.4	Anlagenbestand zur Nutzung biogener Festbrennstoffe.....	49
3.4.1	Holzheizwerke und Holzheizkraftwerke	49
3.4.2	Holznutzung in privaten Haushalten	50
3.5	Perspektiven für die Nutzung biogener Festbrennstoffe.....	55

4	BIOGENE GASE	62
4.1	Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen	63
4.1.1	Wirtschaftsdünger.....	63
4.1.2	Energiepflanzen auf Ackerland.....	67
4.1.3	Grünland.....	72
4.1.4	Landschaftspflegematerial.....	77
4.1.5	Landschaftspflegematerial entlang von Verkehrswegen und Versorgungstrassen	77
4.2	Biogas aus Abfällen	78
4.2.1	Bioabfall.....	78
4.2.2	Biogas aus krautigen Anteilen des Grünabfalls.....	81
4.2.3	Biogas aus gewerblichen Abfällen.....	83
4.2.4	Klärgas	86
4.2.5	Deponiegas	91
4.3	Anlagenbestand zur Nutzung biogener Gase	94
4.4	Perspektiven für die Nutzung biogener Gase	96
5	BIOGENE FLÜSSIGE ENERGIETRÄGER	98
5.1	Biogene flüssige Energieträger auf Basis pflanzlicher Öle	99
5.1.1	Pflanzenölkraftstoff	99
5.1.2	Biodiesel	102
5.2	Biogene flüssige Energieträger auf Zucker- und Stärkebasis	104
5.2.1	Stand der Nutzung.....	104
5.2.2	Potenziale	105
5.2.3	Entwicklungsperspektiven	105
5.3	Biogene flüssige Energieträger aus Ganzpflanzen	105
5.3.1	Stand der Nutzung.....	105
5.3.2	Potenziale	106

5.3.3	Entwicklungsperspektiven	106
5.4	Anlagenbestand zur Erzeugung und Nutzung biogener Kraftstoffe	107
5.5	Perspektiven für die Erzeugung und Nutzung biogener flüssiger Energieträger	108
5.5.1	Biogene Reinkraftstoffe	109
5.5.2	Biogene Kraftstoffe in der Beimischung zu fossilen Kraftstoffen	110
5.5.3	Biogene Brennstoffe zum Einsatz in BHKW	110
5.5.4	Entwicklung der Nutzung biogener flüssiger Energieträger in Hessen	111
6	ZWISCHENFAZIT ENERGETISCHE NUTZUNG UND POTENZIALE VON BIOMASSE.....	112
7	STAND DER SONSTIGEN ERNEUERBAREN ENERGIEN	114
7.1	Windkraft	114
7.2	Wasserkraft	115
7.3	Photovoltaik	117
7.4	Solarthermie.....	118
7.5	Geothermie.....	120
7.6	Zwischenfazit Energieerzeugung sonstiger regenerativer Energien	122
8	STAND UND POTENZIALE ERNEUERBARER ENERGIEN	124
8.1	Stand der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien	124
8.2	Technische Bioenergiepotenziale.....	126
8.2.1	Beitrag der Bioenergie zur regenerativen Energieerzeugung.....	127
9	SZENARIEN ZUR WEITERENTWICKLUNG DER BIOENERGIE	131
9.1	Allgemeine Rahmenbedingungen.....	132
9.2	Szenarien.....	133
9.2.1	Business as usual Szenario.....	133
9.2.2	Mid-Case Szenario	135

9.2.3	Best-Case Szenario.....	136
9.2.4	Zwischenfazit.....	137
9.3	Sozioökonomische Effekte der Szenarien	138
9.3.1	Investitionen und Umsatz	140
9.3.2	Arbeitsplätze	140
10	FAZIT UND EMPFEHLUNGEN	142
11	ANHANG.....	144
11.1	Glossar	144
11.2	Literatur	145

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Heizwerte von Nadel- und Laubholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt [93]	6
Abb. 2:	Waldbesitzartenanteile an der Gesamtwaldfläche in Hessen (nach Daten der 2. Bundeswaldinventur berechnet) [29][119]	7
Abb. 3:	Entwicklung von Durchschnittsvorrat, Zuwachs und Einschlag im Landes- und Körperschaftswald in Hessen (1980–2008) [75]	8
Abb. 4:	Anteil am Gesamt-Holzeinschlag (2008) bei den Waldbesitzarten in Hessen [75]	9
Abb. 5:	Vorhandene Gesamtflächen an Kurzumtriebsplantagen im Einzugsbereich der drei hessischen Regierungsbezirke (geschätzt)	19
Abb. 6:	Gesamt-Flächenpotenziale für Kurzumtriebsplantagen in den drei hessischen Regierungsbezirken	19
Abb. 7:	Entwicklung der Strohpreise (frei Anlage) in Hessen von 2003 bis 2009 (eigene Zusammenstellung nach [92])	35
Abb. 8:	Auf Basis des einwohnerspezifischen Aufkommens hochgerechnetes Altholzaufkommen in Hessen und dessen Verwertung (vor und nach Umsetzung der TAsi 2005)	40
Abb. 9:	Aufkommen, Verwertung bzw. Behandlung von Haus-, Sperrmüll und Gewerbeabfall in Hessen [55]	42
Abb. 10:	Erfassungssysteme von Grünabfällen in Hessen – Befragung von 28 öRE (Gartenabfälle, Strauchschnitt) [142]	45
Abb. 11:	Aufbereitungsschritte für die Ausschleusung von thermisch nutzbaren Teilströmen aus Baum- und Strauchschnitt	46
Abb. 12:	Technisches Potenzial biogener Festbrennstoffe und bereits genutzte Anteile in Hessen	55
Abb. 13:	Vergleich der Nutzung von Festbrennstoffen in Hessen im Jahr 2004 und 2008	61
Abb. 14:	Modellhafte Flächenverteilung der verfügbaren Anbaufläche für NawaRo in Hessen	71
Abb. 15:	Entwicklung Tierbestände ausgewählter Raufutterfresser 2001 bis 2009 in Hessen [68][73]	76
Abb. 16:	Kartografischer Überblick über die Bioabfallgetrenntsammlung in Hessen [142]	79

Abb. 17:	Künftige gefasste Deponiegasmengen (durch Berechnung abgeschätzt) in Hessen (2010–2020)	93
Abb. 18:	Vergleich der Energieerzeugung aus biogenen Gasen in Hessen im Jahr 2005 und 2008	96
Abb. 19:	Übersicht über genutzte und verfügbare Anteile biogener Gase	97
Abb. 20:	Standard-Treibhausgas-Emissionen bei Anbau, Transport und Verarbeitung von Biokraftstoffen [132].....	99
Abb. 21:	Produktion von Pflanzenölen zur energetischen Nutzung in den drei Regierungsbezirken	100
Abb. 22:	Rapsölproduktion für die Biodieselproduktion in den drei Regierungsbezirken	103
Abb. 23:	Vergleich der Energieerzeugung aus biogenen Kraftstoffen in Hessen im Jahr 2004 und 2008	111
Abb. 24:	Vergleich der Energieerzeugung aus Biomasse in Hessen im Jahr 2004 und 2008	112
Abb. 25:	Derzeitige Nutzung und verbleibende technische Biomassepotenziale in Hessen.....	113
Abb. 26:	Vergleich der Erzeugung sonstiger erneuerbarer Energien in Hessen im Jahr 2004 und 2008	123
Abb. 27:	Vergleich der Erzeugung erneuerbarer Energien in Hessen im Jahr 2004 und 2008	124
Abb. 28:	Anteile der unterschiedlichen Energiequellen an der Bereitstellung von regenerativer Energie im Jahr 2008 in Hessen.....	125
Abb. 29:	Technische Potenziale zur Erzeugung von Biomasseenergie in Hessen sowie in 2008 bereits genutzter Anteil differenziert nach Stoffströmen.....	127
Abb. 30:	Stand und Entwicklungsperspektiven für den Anteil regenerativer Energien am Endenergieverbrauch Hessens	128
Abb. 31:	Abschätzung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehrssektor) in Anlehnung an die bundesweiten Erwartungen (zum Vergleich nicht maßstabsgerecht mit ¹ / ₁₀ dargestellt) der Leitstudie 2008 [10] sowie den Abschätzungen des Energie-Forums Hessen [35]	133

Abb. 32:	„Business as usual“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr).....	134
Abb. 33:	„Mid-case“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr).....	135
Abb. 34:	Zusammenfassung des „Mid-case“ Szenarios für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen hinsichtlich der Biomasseherkunft.....	136
Abb. 35:	„Best-case“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr).....	137
Abb. 36:	Zusammenfassung des „Best-case“ Szenarios für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen	137
Abb. 37:	Zusammenfassender Vergleich der Szenarien für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen	138
Abb. 38:	Mid-case Szenario: Energieerzeugung aus den verbleibenden Biomassepotenzialen durch unterschiedliche Konversionstechniken.....	139
Abb. 39:	Mid-case Szenario: Erforderliche Anteile an Investitionen in unterschiedliche Konversionstechniken	140
Abb. 40:	Verteilung der direkten und indirekten Arbeitsplatzeffekte im mid-case Szenario in Bezug auf die verschiedenen Konversionstechniken	141

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Umrechnungstabelle Energieeinheiten [42]	3
Tab. 2:	Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei biogenen Festbrennstoffen	4
Tab. 3:	Anlagenwirkungsgrade der verschiedenen Anlagentypen	5
Tab. 4:	Energieholzbereitstellung aus hessischen Wäldern innerhalb der Landkreise [75][143]	10
Tab. 5:	Gesamt-Energieholzpotenziale bzw. noch zusätzlich nutzbare Energieholzpotenziale in den Landkreisen (bei 50 % Wassergehalt)	12
Tab. 6:	Sägewerke in hessischen Landkreisen ([71]; eigene Recherchen)	15
Tab. 7:	Abschätzung der Flächenpotenziale für Kurzumtriebsplantagen in den hessischen Landkreisen	20
Tab. 8:	Abschätzung des technischen Potenzials an Landschaftspflegeholz (Offenlandschaft) in den hessischen Landkreisen (Wassergehalt 50 %).....	23
Tab. 9:	Abschätzung des technischen Potenzials an Verkehrswegebegleitholz (Straßen-, Bahnbegleitgrün, Trassenpflege) in Hessen (WG 50 %)	28
Tab. 10:	Brennstoffeigenschaften von Stroh, Miscanthus und Heu im Vergleich zu Holz [40][83]	29
Tab. 11:	Korn : Stroh-Verhältnis [91].....	31
Tab. 12:	Getreideanbauflächen, Strohaufkommen und verfügbare Menge (FM mit 15 % WG) für eine energetische Nutzung	32
Tab. 13:	Rapsanbauflächen, Strohaufkommen und verfügbare Menge (FM mit 15 % WG) für eine energetische Nutzung.....	33
Tab. 14:	Abschätzung verfügbarer Flächenanteile für den Miscanthusanbau sowie dessen potenzielle Erträge (in TM) in Hessen	37
Tab. 15:	Jährliche EBS- und MHKW-Kapazitäten in Hessen 2008 sowie die aus dem biogenen Anteil im Abfall erzeugten und genutzten Mengen an Strom (Einspeisung) und Wärme (Fernwärmenutzung).....	43
Tab. 16:	Nutzbare Energiepotenziale aus Festbrennstoffen der in den Landkreisen anfallenden Haus- und Sperrmüllmengen bezüglich des biogenen Anteils	44
Tab. 17:	Aufkommen und Verwertung von Grünabfällen in hessischen Landkreisen und kreisfreien Städten	47

Tab. 18:	Technisches Potenzial des energetisch nutzbaren holzigen Anteils im Grünabfall im Vergleich zum aktuellen Aufkommen (verbesserte Grünabfallerfassung)	48
Tab. 19:	Bestand an Holzheizwerken und Holzheizkraftwerken in Hessen (Stand 2008)	50
Tab. 20:	Scheitholznutzung in den privaten Haushalten in den hessischen Landkreisen und kreisfreien Städten im Winter 2008/09	52
Tab. 21:	Zentrale Holzheizungsanlagen in Hessen [16].....	54
Tab. 22:	Übersicht über Nutzung und verbleibende technische Potenziale biogener Festbrennstoffe in Hessen	59
Tab. 23:	Biogaserträge und Methangehalte (u. a. [89][46]).....	62
Tab. 24:	Erfasster landwirtschaftlicher Tierbestand Hessens	64
Tab. 25:	Kalkulationsgrundlage Wirtschaftsdüngeranfall in Hessen [89]	65
Tab. 26:	Abschätzung der Auswirkungen von Bestandsgrößen auf die durchschnittliche Verfügbarkeit der Wirtschaftsdünger	65
Tab. 27:	Bestandsgrößenstruktur viehhaltender Betriebe und energetisch nutzbarer Wirtschaftsdüngeranfall in Hessen	66
Tab. 28:	Abschätzung der Ackerflächen mit der Möglichkeit des Energiepflanzenanbaus	69
Tab. 29:	Abschätzung der verfügbaren Anbaufläche für Energiepflanzen sowie deren Aufteilung.....	70
Tab. 30:	Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen vom Acker.....	71
Tab. 31:	Benötigte Grünlandfläche in Hessen [6][68]	73
Tab. 32:	Bewirtschaftungsintensitäten, Durchschnittserträge und Verfügbarkeit für eine energetische Nutzung von Grünland	74
Tab. 33:	Dauergrünlandflächen und zum Erntezeitpunkt energetisch verfügbare Grünlandbiomasse.....	75
Tab. 34:	In hessischen Landkreisen erfasste Bioabfallmengen und deren Verwertung.....	80
Tab. 35:	Haupterzeuger von organischen Abfällen aus Industrie und Gewerbe.....	84
Tab. 36:	Aufkommen organischer Gewerbeabfälle in Hessen [81][142].....	85
Tab. 37:	Häufigkeitsverteilung verschiedener Größenklassen hessischer Kläranlagen.....	86

Tab. 38:	Ausbaugröße und Anzahl der kommunalen Kläranlagen in Hessen und auf Landkreisebene sowie die Verteilung der Abfallprodukte und deren energetische Nutzung	87
Tab. 39:	Abschätzung der energetischen Nutzung des Klärgases in kommunalen hessischen Kläranlagen	88
Tab. 40:	Potenzial der energetischen Klärgasverwertung in hessischen Kläranlagen ohne Faultürme bzw. Klärgasproduktion	90
Tab. 41:	Aus gefasstem Deponiegas produzierte und genutzte Energie	92
Tab. 42:	Anlagenbestand Biogas-, Klärgas- und Deponiegasanlagen in Hessen Ende 2008 sowie verbleibende Potenziale	95
Tab. 43:	Vergleich zwischen der aktuellen Situation und der modellhaften Berechnung für 2020	101
Tab. 44:	Anlagenbestand zur Erzeugung biogener flüssiger Energieträger in Hessen [130].....	107
Tab. 45:	Tankstellen für biogene Kraftstoffe in Hessen	108
Tab. 46:	Bestand an Windkraftanlagen, Anlagen im Genehmigungsverfahren und in Planung nach Regionalplan 2000 bzw. 2001, Bestand und Planung Stand Sommer 2009 [108].....	115
Tab. 47:	Installierte Leistung und Stromertrag der Wasserkraftanlagen in Hessen (Stand Ende 2008).....	116
Tab. 48:	Übersicht Stromeinspeisung durch Photovoltaikanlagen in Hessen 2008	118
Tab. 49:	Bestand an Solaranlagen in den hessischen Städten und Landkreisen und deren durchschnittliche Energieerzeugung 2008	120
Tab. 50:	Gesamtanzahl beantragter Sondenanlagen	122
Tab. 51:	Beitrag der erneuerbaren Energien zum Endenergieverbrauch in Hessen in 2008	126
Tab. 52:	Gegenüberstellung des technischen Potenzials zur regenerativen Energieerzeugung mit dem erwarteten Endenergieverbrauch im Jahr 2020	129
Tab. 53:	Vergleich hessischer Rahmenbedingungen mit einem weiteren Flächenbundesland und Deutschland insgesamt (Stand 2006).....	131
Tab. 54:	Zusammenfassende Abschätzung sozioökonomischer Effekte der beschriebenen Szenarien	139

1 Einführung

Der vorliegende Materialband „Biomassepotenzialstudie Hessen: Stand und Perspektiven der energetischen Biomassenutzung in Hessen“ wendet sich an fachlich Interessierte, die Details, Methodik und Hintergrunddiskussion zu den ermittelten Daten und Ergebnissen genauer betrachten möchten. Eine übersichtliche Ergebnisdarstellung ist in der **Broschüre** gleichen Titels zu finden. Auf der Internet Domain www.biomasse-hessen.de stehen die Unterlagen sowie weitere Detailinformation zum Download bereit.

Nachfolgend werden zunächst einige grundsätzliche Definitionen und Begriffe (Kapitel 2) erläutert, ehe dann für die zentralen Bereiche

- biogene Festbrennstoffe (Kapitel 3)
- biogene Gase (Kapitel 4)
- biogene flüssige Energieträger (Kapitel 5)

jeweils inhaltlich-technische Erläuterungen, Methodik, derzeitiger Nutzungsstand und die Höhe der technischen Potenziale für eine Nutzung bis 2020 aufgezeigt werden. Die Daten wurden, wo immer möglich und sinnvoll, auf Ebene der hessischen Landkreise dargestellt. Im Anschluss daran wird in Kapitel 6 der Status-quo der Nutzung sonstiger regenerativer Energien in Hessen dargestellt. Auch diese Daten wurden, soweit möglich und sinnvoll, auf Landkreisebene ermittelt. Abschließend werden auf Basis der ermittelten Daten im Bereich biogener Energieträger für Hessen Umsetzungsszenarien vorgestellt (Kapitel 9).

Die ermittelten Daten beziehen sich, soweit nicht anders ausgewiesen, auf das Jahresende 2008. Im Wesentlichen wurden die Daten aus unterschiedlichsten Quellen, die in den jeweiligen Kapiteln benannt werden, erhoben und standardisiert. Auf drei Akteurskonferenzen mit einem breiten Spektrum an Fachleuten der betroffenen Disziplinen wurden der Ergebnisstand für Hessen und die Erhebungsmethodik vorgestellt, intensiv diskutiert und wo erforderlich angepasst. Um die regionalen Bezüge und Besonderheiten zu integrieren, wurden die regionalspezifischen Ergebnisse in nahezu allen Flächenlandkreisen und einigen kreisfreien Städten vorgestellt und intensiv diskutiert, insbesondere auch hinsichtlich der jeweiligen Einschätzungen bzw. Planungen zur Nutzung der Potenziale. Die Plausibilitätsprüfung der Daten und Ergebnisse erfolgte zudem im Vergleich zu anderen Studien im Bereich erneuerbarer Energien und Klimaschutz sowie auch zu der ersten hessischen Potenzialstudie von 2005. Sofern trotz aller Bemühungen Daten fehlerhaft oder nicht vollständig sein sollten, bitten die Autoren um Nachricht an: info@biomasse-hessen.de.

Die Studie wurde durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) beauftragt und an die Arbeitsgemeinschaft der Ingenieurbüros Witzenhausen-Institut GmbH und Pöyry Environment GmbH, Abt. IGW vergeben. Die Arbeitsgemeinschaft bedankt sich für die vielfältige Zuarbeit und Unterstützung insbesondere beim Landesbetrieb Hessen-Forst und dem Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, dem Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Kassel, den Fachstellen der Landkreise und Energieversorger sowie den vielen anderen, die bei den Recherchen und der Erarbeitung der Studie Unterstützung und kritisches Feedback gegeben haben. Dem HMUELV danken wir für das Vertrauen und die stets konstruktive Unterstützung und Begleitung der Arbeiten.

2 Begriffsdefinitionen

Die nachfolgenden Definitionen sind für die Bewertung der Studie wesentlich. Sie wurden bei der Vorgängerstudie (2005) in gleicher Weise verwendet.

2.1 Endenergie

Unter Endenergie werden die Energieformen verstanden, die vom Endverbraucher bezogen werden. Dies sind beispielsweise das Rapsöl im Öltank vor dem Ölbrenner, die Holzhackschnitzel oder die Holzscheite an der Feuerungsanlage, die elektrische Energie vor dem Stromzähler oder die Fernwärme an der Hausübergabestation. Die Endenergie resultiert aus den Primär- und/oder Sekundärenergieträgern, vermindert um Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenverbrauch sowie die nicht-energetische Nutzung. Die Endenergie kann durch den Verbraucher in Nutzenergie (Energie, die vom Verbraucher real genutzt wird) umgewandelt werden. [83]

Alle Energiebetrachtungen und -bewertungen dieser Studie basieren auf der Endenergie ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs im Verkehrssektor. Die verbrauchte Energie im Verkehrsbereich ist in Hessen relativ hoch, da hierbei zum einen der Flughafen in Frankfurt mit einfließt und zum anderen Hessen als Transitland (Lage in der Mitte Deutschlands) gilt, durch welches relativ viel Verkehr anderer Länder und Bundesländer fließt. Zudem sind in der Endenergiebetrachtung die bei der Bereitstellung von Fern- bzw. Nahwärme auftretenden Leitungsverluste nach der Konversion nicht mehr berücksichtigt.

2.2 Potenziale

Die Optionen zur Nutzung regenerativer Energien werden neben wirtschaftlichen und strukturellen Fragen im Wesentlichen durch ihre verfügbaren Potenziale bestimmt. Grundsätzlich werden meist drei verschiedene Potenzialbegriffe unterschieden [83]:

- **das theoretische Potenzial**
Das in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraums theoretisch physikalisch nutzbare regenerative Energiepotenzial. Das theoretische Potenzial wird allein durch die gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt und markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrages zur Energiebereitstellung.
- **das technische Potenzial**
Der Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden die gegebenen strukturellen und ökologischen Begrenzungen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt, da sie letztlich auch – ähnlich den technisch bedingten Einschränkungen – „unüberwindbar“ sind.
- **das wirtschaftliche Potenzial**
Der Teil des technischen Potenzial, der unter den jeweils betrachteten Rahmenbedingungen wirtschaftlich erschlossen werden kann. Durch unterschiedliche Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsbestimmung existieren immer eine Vielzahl unterschiedlicher wirtschaftlicher Potenziale.

Für Potenzialbetrachtungen wird in der Regel das technisch-ökologische Potenzial verwendet, da es zum einen durch die technischen Randbedingungen bestimmt wird und zum anderen relativ geringen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist [83]. Diese Vorgehensweise wurde für die vorliegende Studie übernommen.

Für die Potenzialermittlung wird lediglich das in Hessen anfallende Potenzial berücksichtigt. Für den Bereich der aktuellen Nutzung sind importierte genutzte Mengen, besonders im Bereich der Biomassen, nicht klar von in Hessen produzierten Mengen zu trennen. Aus diesem Grund werden in diesem Bereich auch importierte regenerative Energien mit berücksichtigt. Ebenso werden aus Hessen exportierte, also aus Hessen stammende, aber außerhalb von Hessen genutzte regenerative Energieträger nicht in der Nutzungsermittlung berücksichtigt.

2.3 Energieeinheiten

In der vorliegenden Studie wird in der Regel die Einheit „Wattstunde“ (Wh) verwendet. Eine Wattstunde entspricht dabei der Energie, welche eine Maschine mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt.

Tab. 1: Umrechnungstabelle Energieeinheiten [42]

	kJ	kcal	kWh	m³ Erdgas
1 Kilojoule (kJ)	1	0,2	0,0003	0,00003
1 Kilokalorien (kcal)	4,2	1	0,0012	0,0001
Kilowattstunde (kWh)	3.600	860	1	0,1
1 m ³ Erdgas	31.736	7.580	8,8	1
1 kg Steinkohleeinheit	29.308	7.000	8,1	0,9
1 kg Rohöleinheit	41.868	10.000	11,6	1,3

3 Biogene Festbrennstoffe

Die biogenen Festbrennstoffe werden vier Hauptgruppen zugeordnet:

- ⇒ 1. holzartige Brennstoffe
- ⇒ 2. Halmgut und krautige Brennstoffe
- ⇒ 3. Biomasse von Früchten
- ⇒ 4. definierte und undefinierte Mischungen

Alle Kategorien werden jeweils in weitere Untergruppen aufgegliedert [83]. In der vorliegenden Studie wurden die Kategorien eins, zwei und vier betrachtet, wobei der vierten Kategorie (definierte und undefinierte Mischungen) insbesondere biogene Anteile des Restmülls zuzuordnen sind. Die dritte Kategorie (Biomasse von Früchten) wird in Hessen mengenmäßig nicht separat erfasst, eventuell mitverwertete Anteile dieser Kategorie werden definierten und undefinierten Mischungen zugeordnet.

Die Angabe der verfügbaren Gewichtsmengen der biogenen Festbrennstoffe erfolgt überwiegend mit den bei der Ernte üblichen Wassergehalten. So wird zum Beispiel bei Waldholz davon ausgegangen, dass mit einem Wassergehalt von 50 % geerntet wird. Zur Berechnung der erzeugbaren Energiemenge wird davon ausgegangen, dass die Biomasse einem weitgehend natürlichen Trocknungsprozess unterzogen wird, sodass sie möglichst effizient für eine Verfeuerung eingesetzt werden kann. Die erzeugbaren Energiemengen werden aus der dann verfügbaren Menge errechnet. Insbesondere bei den noch nicht verfügbaren Biomassen wie KUP und Miscanthus werden jedoch die zukünftig zu erwartenden Biomassemengen als Trockenmasse angegeben. Die verwendeten Heizwerte bei den angegebenen Wassergehalten sind in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2: Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei biogenen Festbrennstoffen

Material	Wassergehalt	Heizwert
Waldholz nach Trocknung (Durchschnitt aller Holzarten)	20%	4,0 MWh/t
Sägeresthölzer	25%	3,7 MWh/t
Pappeln aus Kurzumtriebsplantagen	20%	4,0 MWh/t
Landschaftspflegehölzer (z. B. aus der Offenlandschaft und Straßenbegleithölzer)	30%	3,4 MWh/t
Stroh	15%	4,0 MWh/t
Miscanthus	15%	4,0 MWh/t
holziger Grünabfall	30%	3,4 MWh/t

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass ein Teil der Biomasse in zentralen Anlagen verbrannt und die entstehende Energie in ein Wärmenetz eingespeist bzw. darüber verteilt wird. Für diese Anlagen wird in Anlehnung an [83] ein Anlagenwirkungsgrad unterstellt. Dieser liegt im Regelfall bei einem Durchschnittswert von 85 %. Bei den halmartigen Biomassen wurde der Anlagenwirkungsgrad etwas geringer angesetzt, da die Energieerzeugung aus diesen Rohstoffen technisch aufwendiger ist und aufgrund zusätzlich erforderlicher Behandlungsschritte geringfügig höhere Energieverluste erwartet

werden. Einen Überblick über die angesetzten Anlagenwirkungsgrade gibt die folgende Tabelle.

Tab. 3: Anlagenwirkungsgrade der verschiedenen Anlagentypen

Anlagentyp	Wirkungsgrad
Feuerungsanlagen für Holz	85%
Feuerungsanlagen für halmartige Festbrennstoffe	80%
EBS-Kraftwerke	75%
MHKW	73%

3.1 Holzige Biomasse

Seit Jahrtausenden wird Holz neben der stofflichen Verwertung (z. B. Verbau im Siedlungsbereich) energetisch genutzt, um die darin gespeicherte Energie zu mobilisieren. Die Rodungsperioden vergangener Jahrhunderte haben gezeigt, welche Ausmaße die energetische Nutzung von Holz annehmen kann: Waldreiche Gebiete wurde z. T. mehrmals abgeholzt, um den Energiehunger verschiedener Industrialisierungszweige zu stillen. Durch Nutzung alternativer Brennstoffe (z. B. Kohle) ließ die Holznachfrage nach, Wälder konnten sich aufgrund erlassener Forstordnungen und geregelter Forstwirtschaft wieder regenerieren.

Die während der letzten beiden Jahrhunderte in Deutschland praktizierte nachhaltige Forstwirtschaft hat zum Aufbau vorratsreicher Wälder mit entsprechend guten Holzqualitäten geführt, die heutzutage überwiegend stofflich genutzt werden.

Durchschnittlich werden mit dem Aufbau von einem Kubikmeter Holz rund 0,25 Tonnen Kohlenstoff aufgenommen, somit 0,925 t CO₂ gebunden. Im Jahresmittel werden im Bundesland Hessen 12,6 t CO₂ pro Minute festgelegt, was einer Menge von 13,6 Kubikmeter Holz entspricht. Jährlich werden durch Hessens Waldflächen somit rund 6,6 Mio. t CO₂ gebunden bzw. 7,2 Mio. Kubikmeter Holz produziert.

Der nachwachsende Rohstoff Holz zeichnet sich durch besondere Qualitätsmerkmale aus, die ihn zu einem begehrten Produkt für die stoffliche Weiterverarbeitung sowohl in der Holzbe- und -verarbeitungsbranche als auch im Holzbau und der Möbelindustrie haben werden lassen. Ebenso spielt der Rohstoff Holz eine besondere Rolle bei der Herstellung von Verpackungen, nicht zuletzt auch bei der Produktion von Papier. Die jeweiligen Baumarten weisen unterschiedliche Qualitätskriterien auf, die sich beispielsweise auf die Bearbeitung von Holz, dessen Biege- und Bruchfestigkeit oder Widerstandsfähigkeit gegenüber Feuchtigkeit bzw. Pilzbefall auswirken. Somit müssen die Hölzer der einzelnen Baumarten entsprechend ihres Verwendungszwecks bewertet und eingesetzt werden.

Soll Holz jedoch energetisch verwertet werden, ist neben der Holzart vor allem der Energiegehalt zu berücksichtigen. Dieser wiederum ist in erster Linie abhängig vom Wassergehalt; der artbedingte Holzaufbau (Rohdichte, eingelagerte Stoffe) ist ebenso ein Qualitätsmerkmal für die energetische Verwertung.

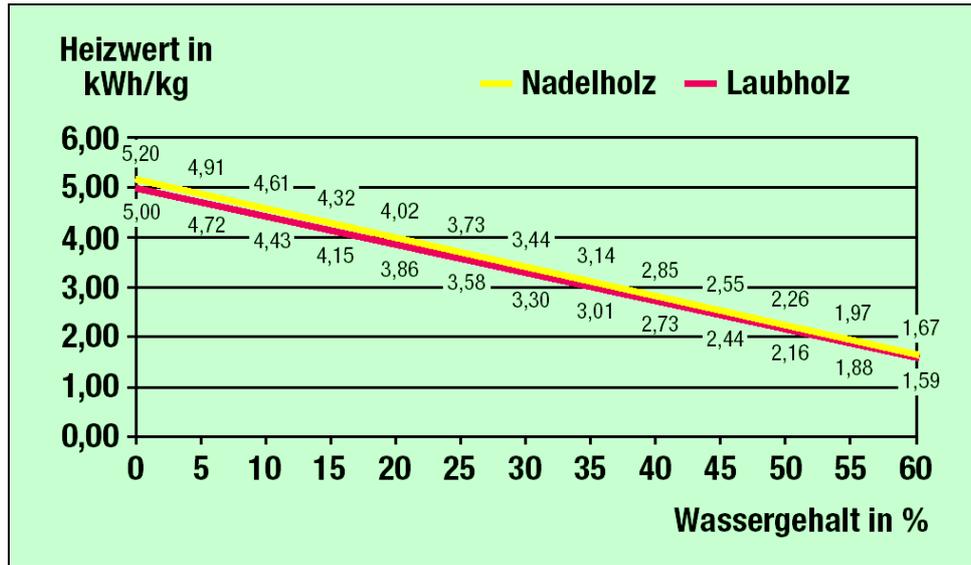
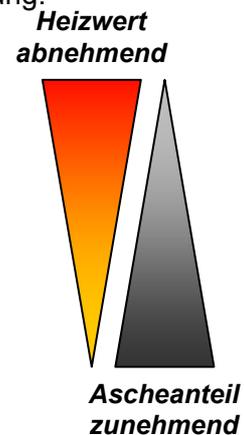


Abb. 1: Heizwerte von Nadel- und Laubholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt [93]

Je höher der Wassergehalt in Holzigen Materialien ist, desto geringer ist die Nettoenergieausbeute im Rahmen der Verbrennung, da der anteilige Wassergehalt verdampft werden muss. Zudem gilt auch, je höher der Rindenanteil bei Holzigen Biomassen ist, desto größer ist auch die zurückbleibende Menge an Asche. Daraus ergeben sich folgende Kennzeichen Holzigen Materialien für die energetische Verwertung:

- naturbelassenes Altholz (nur Holz, kaum Rindenanteil)
- stämmiges Holz (hoher Holz-, geringer Rindenanteil)
- Astholz (mittlerer Holz-, mittlerer Rindenanteil)
- Strauchschnitt (geringer Holz-, hoher Rindenanteil)
- Nadel-/Blattanhang (Laub), Rinde



Energetisch verwertbares Holz kann aus Wäldern, aus der Holzverarbeitenden Industrie (z. B. Sägewerke), von Kurzumtriebsplantagen oder aus Bereichen der quasi-offenen Landschaft (z. B. Materialanfall durch Pflegemaßnahmen auch im Privatbereich) stammen. Behandelte Hölzer dürfen je nach Altholzklasse nur in emissionsrechtlich genehmigten Anlagen eingesetzt werden.

3.1.1 Waldholz

Das Bundesland Hessen zählt mit 42 % Waldanteil (rund 880.000 ha) zu den walddreieichsten Bundesländern in Deutschland. Dabei entfallen auf den Staatswald (Bundes- und Landeswald) 40 %, auf den Körperschaftswald (Stadt- und Gemeindewald) 36 % und 24 % auf den Privatwald (Abb. 2). Vom Landesbetrieb Hessen-Forst werden allein 83 % (rd. 730.000 ha) der hessischen Wälder betreut.

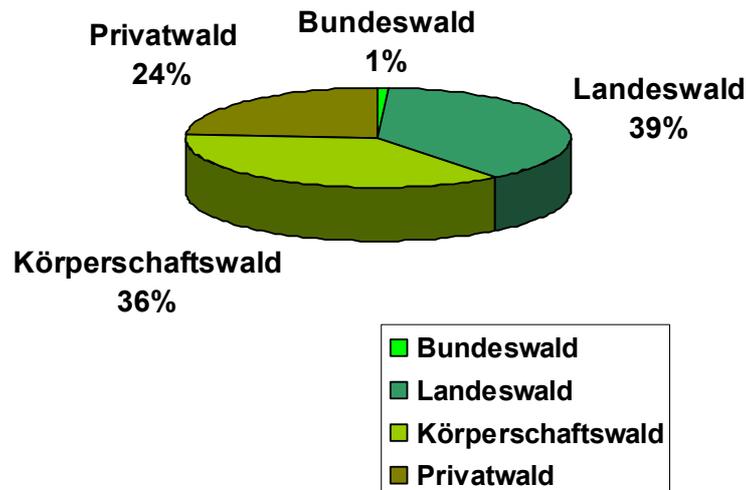


Abb. 2: Waldbesitzartenanteile an der Gesamtwaldfläche in Hessen (nach Daten der 2. Bundeswaldinventur berechnet) [29][119]

Die als Wald ausgewiesenen Flächen sind in der Regel mit unterschiedlichen Baumarten bestockt. Dem Wald zugehörig sind auch Flächen, die keine Baumbestände aufweisen (z. B. Waldwiesen, Holzlagerstätten). Sie werden als Nichtholzboden bezeichnet. Aus den Daten der 2. Bundeswaldinventur lässt sich für Hessen ein durchschnittlicher Nichtholzbodenanteil bei Waldflächen zwischen 5 und 6 % (entspricht einer Fläche von ca. 46.000 ha) ermitteln [29]. Dagegen gehören die mit Bäumen bestockten Flächen zum Holzboden.

In einem Turnus von ca. zehn Jahren erfolgt eine Taxation – Forsteinrichtung genannt – der bewirtschafteten Waldflächen des Staats-, Kommunal- und Gemeinschaftswaldes sowie Privatwaldes über 100 ha, wobei die Strukturen der Waldbestände (z. B. Baumartenzusammensetzung, Alter des Bestandes, Bestockungsdichte etc.) nebst vielen anderen Kriterien und Besonderheiten erfasst werden. Im Gegensatz zu größeren Privatwäldern werden in Kleinprivatwäldern in der Regel keine Erhebungen durchgeführt.

Ein Ziel der regelmäßig stattfindenden Forsteinrichtung ist die Planung der forstwirtschaftlichen Maßnahmen innerhalb der nächsten Dekade. Die Höhe des Zuwachses und die auf einer Fläche vorhandene Holzmenge (Bestandsvorrat) werden auf diese Weise ermittelt. Der gegenwärtige Holzvorrat je Hektar Holzbodenfläche, die von Hessen-Forst betreut wird (619.020 ha), liegt bei 286 m³ Holz [75]. Neben der Art einer forstwirtschaftlichen Maßnahme ist besonders auch deren Intensität von Wichtigkeit, was sich letztendlich in der zu erntenden Holzmasse widerspiegelt, wenn Pflegemaßnahmen und Durchforstungen durchgeführt werden.

Bei Sturmereignissen, die in den vergangenen 20 Jahren gehäuft auftraten, können innerhalb weniger Stunden oder Tage viele Bäume geworfen, nicht selten auf größeren Flächen ganze Waldbestände in Mitleidenschaft gezogen werden.

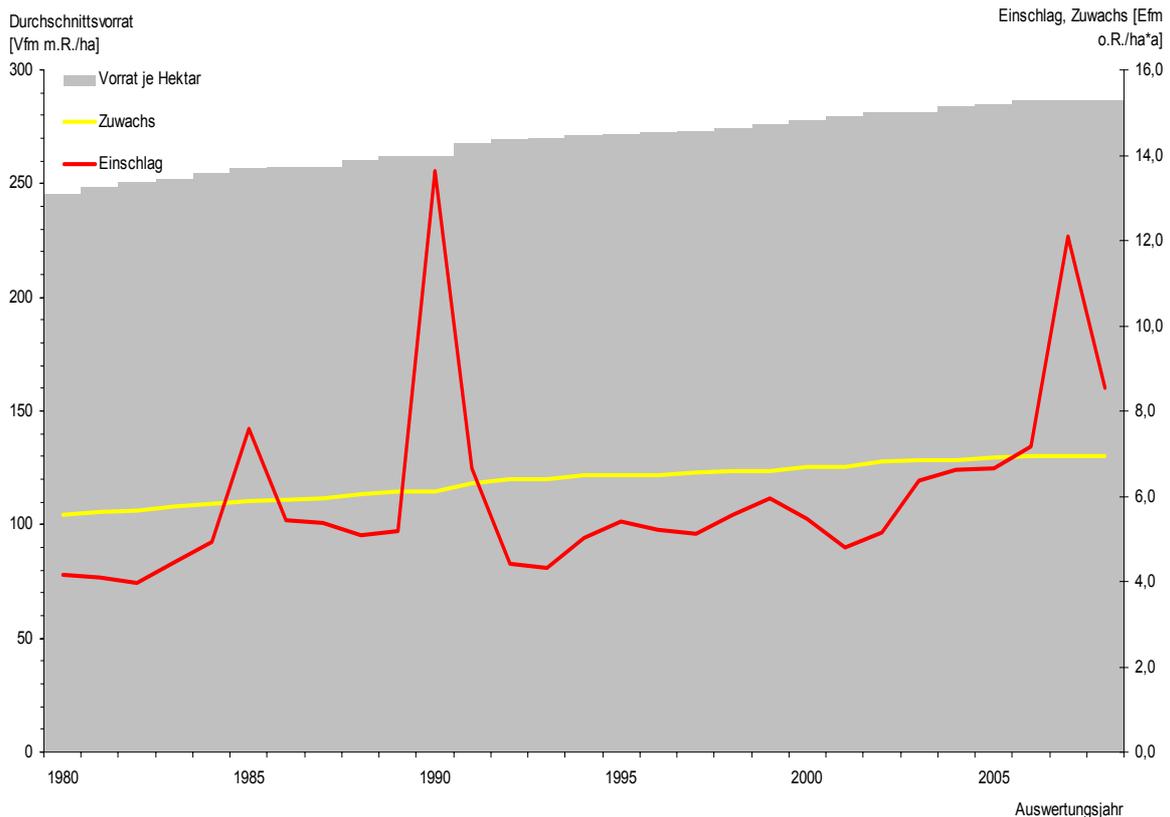


Abb. 3: Entwicklung von Durchschnittsvorrat, Zuwachs und Einschlag im Landes- und Körperschaftswald in Hessen (1980–2008) [75]

Besonders bedeutsam für das hohe Aufkommen an Windwurfholz sind die Sturmereignisse in den Jahren 1990 („Vivian“, „Wiebke“ – über 70 Mio. m³ Sturmholz in Mitteleuropa) und 2007 („Kyrill“ – 4,5 Mio. m³ in Hessen), die einen hohen Anteil des Bestandsvorrats unwiederbringlich schädigten. Durch die Aufarbeitung des Sturmholzes erhöhte sich die jährliche Einschlagssumme ganz drastisch, wie auch Abb. 3 zeigt. Nach Sturmereignissen mit hohem Aufkommen an Windwurfholz wird der jährlich regulär stattfindende Holzeinschlag entsprechend nach unten korrigiert, um nicht durch weitere Holzmengen das Preisniveau am Markt zusätzlich zu senken. Was die forstwirtschaftliche Planung angeht, wird auch die künftige Einschlagsmenge pro Flächeneinheit und Jahr abgesenkt, um dem plötzlichen Holzvorratsverlust Rechnung zu tragen. Der jährliche Holzeinschlag sollte unterhalb des Holzzuwachses liegen, um dem Prinzip der Nachhaltigkeit folgen zu können. In der Regel wird durch den jährlichen Holzeinschlag nicht das Zuwachspotenzial ausgeschöpft.

Bei der Durchführung regulärer forstwirtschaftlicher Maßnahmen in jüngeren Waldbeständen fällt schwächer dimensioniertes Holz an, in älteren Beständen dagegen eher stärkeres Stammholz. Während Stammholzdimensionen fast ausschließlich der stofflichen Holznutzung zugeführt werden, findet ein Teil des schwächeren Holzes Verwendung in der energetischen Nutzung. Zu diesem Segment zählt insbesondere Brennholz, wobei vorwiegend im Laubholzbereich (Buche, Eiche etc.) meist stärker dimensioniertes Kronenholz oder Schwachholz durch private Selbstwerber im Wald zu Kurzholz (1 m Länge) aufgearbeitet wird. Zum Teil wird von einigen Nachfragern auch schwächeres Langholz (sogenanntes Industrieholz lang) zu Brennholz verarbeitet; besonders in diesem Marktsegment kann je nach Preisgefüge die stoffliche mit der energetischen Verwertung in Konkurrenz treten.

Die Bereitstellung von Hölzern zur Herstellung von Holzhackschnitzeln erfolgt in Hessen überwiegend im Nadelholzbereich, im Laubholzbereich hingegen dominiert die Brennholzverwertung. Besonders nach Sturmereignissen wird auch vermehrt Holz für die Herstellung von Holzhackschnitzeln vermarktet, um Flächenräumungen möglichst zeitnah umsetzen zu können. Zielführend für die Holzbereitstellung zur Holzhackschnitzelproduktion ist nicht die Nutzung von kompletten Bäumen (Vollbaummethode), da ansonsten mit den Feinästen und dem Laubanhang (Blätter, Nadeln) wertvolle Nährstoffpotenziale dem jeweiligen Standort entzogen werden. Die Nutzung von ganzen Baumkronen ist somit als Ausnahme zu bewerten.

Bei den in den nächsten Unterkapiteln aufgeführten Holz mengen handelt es sich um Kubikmeter-Angaben, was einem Erntefestmeter Holz ohne Rindenanteil entspricht.

3.1.1.1 Stand der Nutzung

Holz wird entweder stofflich oder energetisch verwertet. Hölzer guter Qualität werden vor allem für die stoffliche Nutzung eingesetzt. Auf den Energiesektor entfallen 15,5 % des in Deutschland eingeschlagenen Holzes [7].

Der aktuelle Holzmarktbericht des BMELV (2009) [7] weist für das Jahr 2008 in Hessen einen Gesamteinschlag von 6.372.000 m³ Holz aus. Damit lag der Holzeinschlag um 32 % niedriger im Vergleich zu 2007, als allein durch den Sturm Kyrill 4,5 Mio. m³ Holz anfielen. Ein Teil des Windwurfholzes wurde jedoch erst im Jahr 2008 aufgearbeitet.

Wie Abb. 4 zeigt, lag der Anteil am Holzeinschlag in Hessen im Staatswald (Bundes- und Landeswald) am höchsten (43 %), gefolgt vom Körperschaftswald mit 39 % und mit deutlichem Abstand zum Privatwald (18 %). Im Vergleich zu Abb. 2 wird dabei auch die durchschnittlich geringere Nutzungsintensität im hessischen Privatwald deutlich.

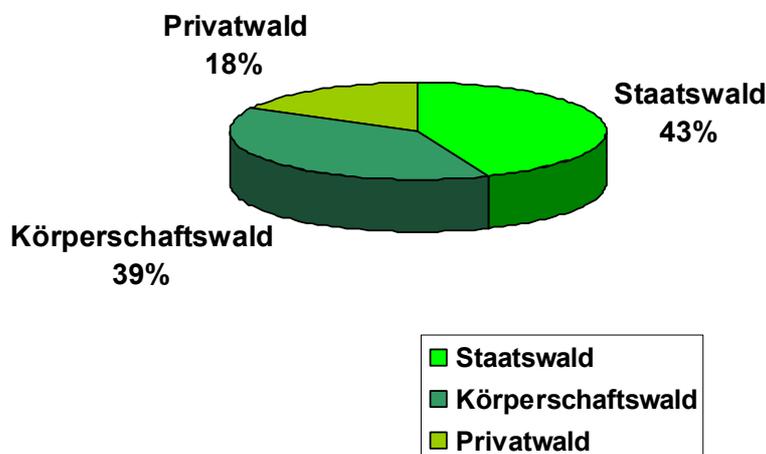


Abb. 4: Anteil am Gesamt-Holzeinschlag (2008) bei den Waldbesitzarten in Hessen [75]

Für die Darstellung der gegenwärtigen Holznutzung im energetischen Bereich wurden durch Hessen-Forst die Daten für den Anteil der durch sie betreuten Waldflächen zur Verfügung gestellt. Die ursprünglich auf Forstamtsebene verfügbaren Daten konnten auf die jeweilige Landkreisebene neu formiert werden, um diese Thematik auch auf der unteren Auswertungsebene dieser Studie darzustellen. Ein Teil der vermarkteten Energiemengen musste jedoch aus dem Datenpool der hessischen Forstämter manuell den Landkreisen zugeordnet werden. Als Grundlage für die Zuordnung und Berechnung vermarkteter Energiemengen wurden Mittelwerte der Daten von 2007 und 2008

gebildet, da für diese Jahre die Datenerhebung im Sektor Energieholz als vollständig angesehen werden kann [75]. Trotzdem ist davon auszugehen, dass in Privatwäldern (auch Gemeinschaftswälder) insbesondere die Vermarktung von Brennholz von den Waldbesitzern selbst vorgenommen wird, wie Umfragen ergeben haben, und somit die vermarkteten Mengen nicht vollständig über Hessen-Forst dokumentiert sind.

Zusätzlich wurden die von einigen Waldbesitzern zur Verfügung gestellten forstwirtschaftlichen Daten mit einbezogen. Für diejenigen Waldanteile, über die keine forstwirtschaftlichen Daten verfügbar waren (vornehmlich Privatwälder), wurde der mittlere Nichtholzbodenanteil Hessens von 5,2 % [119] als Berechnungsgrundlage für die Flächenberechnung herangezogen. Für die Berechnung der Einschlagsmengen für diese Bewirtschaftungsflächen sind die regional üblichen Einschlagsmengen (je Hektar und Jahr) betreuter Waldflächen unterstellt worden. Es ist davon auszugehen, dass das Einschlagsvolumen auf einigen Privatwaldflächen geringer als unterstellt ausfallen dürfte, was auch die höhere Vorratshaltung, besonders im Kleinst- und mittleren Privatwald (2. Bundeswaldinventur) belegt. Auf der anderen Seite nehmen die Eigentümer betreuter Waldflächen teilweise ihre Energieholzvermarktung im Gegensatz zum höherwertigen Stammholz selbst vor, sodass gewisse Unschärfen unabdingbar sind.

Tab. 4: Energieholzbereitstellung aus hessischen Wäldern innerhalb der Landkreise [75][143]

	Holzbodenflächen von Hessen Forst betreut [ha]	dort genutzte Mengen an Brennholz bzw. Energieholz (Mittelwert 2007/2008) [m³/a]	sonstige Holzbodenflächen (berechnet) [ha]	dort genutzte Mengen an Brennholz bzw. Energieholz (berechnet) [m³/a]	Gesamtnutzung Brennholz/ Energieholz (Mittelwert 2007/2008) [m³/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	5.559	3.700	0	3.700
	Frankfurt/Main	207	0	5.577	2.700
	Stadt Offenbach	1.450	1.300	48	1.300
	Wiesbaden	2.044	1.200	3.378	2.000
	Bergstraße	22.969	18.500	5.480	4.400
	Darmstadt-Dieburg	20.222	18.300	2.730	2.500
	Groß-Gerau	10.251	6.600	852	500
	Hochtaunuskreis	21.416	10.400	2.643	1.300
	Main-Kinzig-Kreis	43.089	34.800	16.285	13.100
	Main-Taunus-Kreis	4.041	3.400	1.276	1.100
	Odenwaldkreis	11.039	9.100	22.476	18.600
	Landkreis Offenbach	13.159	6.500	2.532	1.300
	Rheingau-Taunus-Kreis	39.930	29.200	4.977	3.600
	Wetteraukreis	21.501	32.100	9.997	14.900
Regierungsbezirk Darmstadt	216.878	175.100	78.252	66.000	241.100
RB Gießen	Gießen	20.747	18.000	8.600	7.500
	Lahn-Dill-Kreis	45.514	39.500	4.610	4.000
	Limburg-Weilburg	21.460	19.500	3.700	3.400
	Marburg-Biedenkopf	38.176	32.400	12.574	10.700
	Vogelsbergkreis	34.607	21.800	20.752	13.000
	Regierungsbezirk Gießen	160.504	131.200	50.236	38.600
RB Kassel	Stadt Kassel	2.343	2.800	0	0
	Fulda	29.124	24.300	17.920	15.000
	Hersfeld-Rötenburg	35.857	20.900	13.411	7.800
	Landkreis Kassel	42.943	43.000	7.366	7.400
	Schwalm-Eder-Kreis	42.679	40.900	10.694	10.200
	Waldeck-Frankenberg	61.911	29.900	20.905	10.100
	Werra-Meißner-Kreis	26.782	16.400	16.477	10.100
Regierungsbezirk Kassel	241.639	178.200	86.773	60.600	238.800
Hessen GESAMT	619.020	484.500	215.261	165.200	649.700

In Tab. 4 sind die vermarkteten Energieholzmengen, die im Bereich der von Hessen-Forst betreuten Waldflächen und im nicht betreuten Wald eingeschlagen wurden, aufge-

führt. Von den rund 650.000 m³ Energieholz, die jährlich aus hessischen Wäldern stammen, entfallen drei Viertel auf den von Hessen-Forst betreuten Waldflächenanteil. Bei einem Wassergehalt von 50 % entspricht die verfügbare Menge rund 611.000 t. Nach einer Trocknung auf einen Wassergehalt von 20 % verbleiben rund 382.000 t zur Nutzung.

In Hessen sind rund 90 % des anfallenden Energieholzes dem Brennholzsektor zuzuordnen, der Rest wird für die Holzhackschnitzelherstellung verwertet.

3.1.1.2 Potenziale

Für die Darstellung der neben der gegenwärtigen Nutzung noch verfügbaren Potenziale wurden zunächst die Gesamtpotenziale zusammengestellt.

Dabei müssen folgende Parameter mit in Betracht gezogen werden:

- Holzvorrat
- Zuwachs
- geplante bzw. tatsächliche Holzeinschlagsmenge je Hektar (Hiebssatz)
- bereits realisierte Energieholzbereitstellung
- bisherige Schädigungen durch Sturmereignisse

Von den aufgeführten Parametern wirken sich auf die möglichen aktuellen Energieholzpoteziale einer Region eventuelle Sturmschäden, verursacht durch „Kyrill“, besonders aus. In den stark geschädigten Regionen wurde der tatsächliche Hiebssatz um ein Mehrfaches überschritten, sodass die künftigen jährlichen Gesamteinschlagsmengen reduziert werden, um dem entgangenen Holzvorrat entgegenwirken zu können. Hier sind zumindest mittelfristig nur wenig gesteigerte Gesamtpotenziale an Energieholz darstellbar.

In einigen Forstämtern, die vergleichsweise kaum oder gar keine Windwurfschäden zu verzeichnen hatten, kann das mögliche Energieholzpotenzial deutlich höher angesetzt werden. Eine weitere Steigerung dieses Potenzials ist möglich, wenn der bisherige Zuwachs der Bestände deutlich über den geplanten Hiebssätzen bzw. tatsächlichen Einschlagsmengen gelegen hat. Hier kann je nach Altersstruktur der Bestände unter Umständen der über viele Jahre erfolgte Vorratsaufbau zusätzlich genutzt werden.

Anhand der von Hessen-Forst [75] aufgezeigten Empfehlungen, die für die Bewirtschaftung des betreuten Waldes gelten, liegen die Gesamtpotenziale für die Bereitstellung von Energieholz meist in einer Größenordnung zwischen 1,3 und 1,5 m³ Holz pro Hektar und Jahr. Je nach vorhandenen betrieblichen Besonderheiten, die bereits oben genannt worden sind, können die nutzbaren Energieholzpotenziale höher oder niedriger angesetzt werden.

Für den nicht betreuten Wald sind die Gesamtenergieholzpotenziale im Durchschnitt etwas höher angesetzt worden, da in den Privatwäldern z. T. aufgrund unregelmäßiger Durchforstungsmaßnahmen häufig eine etwas höhere Holzvorratshaltung als im Staatswald gegeben ist.

Die daraus resultierenden Gesamtpotenziale an Brennholz bzw. Energieholz sind in der nachfolgenden Übersicht (summarisch die von Hessen-Forst betreuten bzw. unbetreuten Flächen) dargestellt (Tab. 5). Zur Darstellung der zusätzlichen, noch nutzbaren Potenziale sind die gegenwärtig als Energieholz verwendeten Holzmengen von den Gesamtpotenzialen subtrahiert worden.

Tab. 5: Gesamt-Energieholzpotenziale bzw. noch zusätzlich nutzbare Energieholzpotenziale in den Landkreisen (bei 50 % Wassergehalt) [75][143]

		Gesamtpotenzial an Brennholz bzw. Energieholz aller Holzbodenflächen [m³/a]	vom Gesamtpotenzial bereits genutzt [m³/a]	verbleibendes, noch verfügbares Potenzial [m³/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	8.300	3.700	4.600
	Frankfurt/Main	8.600	2.700	5.900
	Stadt Offenbach	2.200	1.300	900
	Wiesbaden	7.700	3.200	4.600
	Bergstraße	45.500	22.900	22.600
	Darmstadt-Dieburg	39.000	20.800	18.300
	Groß-Gerau	18.900	7.100	11.700
	Hochtaunuskreis	38.500	11.700	26.800
	Main-Kinzig-Kreis	100.900	47.900	53.000
	Main-Taunus-Kreis	8.000	4.500	3.600
	Odenwaldkreis	50.300	27.700	22.600
	Landkreis Offenbach	23.500	7.800	15.800
	Rheingau-Taunus-Kreis	67.400	32.800	34.500
	Wetteraukreis	47.200	47.000	200
Regierungsbezirk Darmstadt	466.000	241.100	225.100	
RB Gießen	Gießen	44.000	25.500	18.600
	Lahn-Dill-Kreis	66.100	43.500	22.600
	Limburg-Weilburg	37.700	22.900	14.800
	Marburg-Biedenkopf	86.300	43.100	43.200
	Vogelsbergkreis	69.200	34.800	34.400
	Regierungsbezirk Gießen	303.300	169.800	133.600
RB Kassel	Stadt Kassel	3.000	2.800	200
	Fulda	64.700	39.300	25.500
	Hersfeld-Rotenburg	56.000	28.700	27.300
	Landkreis Kassel	80.500	50.400	30.100
	Schwalm-Eder-Kreis	71.500	51.100	20.400
	Waldeck-Frankenberg	99.500	40.000	59.400
	Werra-Meißner-Kreis	62.200	26.500	35.700
	Regierungsbezirk Kassel	437.400	238.800	198.600
Hessen GESAMT	1.206.700	649.700	557.300	

Hessenweit stand 2008 ein zusätzliches jährliches Potenzial von etwa 557.300 m³ Waldholz für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Bei einem Wassergehalt von 50 % entspricht dies rund 505.000 t, nach einer Trocknung auf 20 % sind rund 316.000 t verfügbar. Der Heizwert liegt dann mit dem Wassergehalt von 20 % bei 4 MWh je Tonne Holz. Bei einem Verbrauch in privaten Haushalten entspricht dieser Wert der Endenergie (vgl. Kapitel 2.1). Wird das Energieholz dagegen in einer anderen Anlage wie zum Beispiel einem Holzheizwerk mit gewerblicher Wärmeabgabe eingesetzt, muss zusätzlich der Anlagenwirkungsgrad berücksichtigt werden. Dieser wird mit 85 % angesetzt. Für die Berechnung des Energiepotenzials wird davon ausgegangen, dass 50 % des zusätzlichen Holzpotenzials von privaten Haushalten genutzt wird, die restliche Menge von gewerblichen Nutzern. Somit wäre hessenweit ein zusätzliches Potenzial von knapp 1,2 Mio. GWh/a nutzbar. Damit erreicht die erzielbare Energie aus Waldholz einen Anteil von gut einem Drittel bei den zusätzlichen Potenzialen für biogene Festbrennstoffe.

Aufgrund gegenwärtig steigender Nachfragen nach Waldhackgut, bedingt durch Anfragen an die regional zuständigen Forstämter bzw. anstehende Vertragsabschlüsse über die Bereitstellung von Waldresthölzern für eine energetische Verwendung, sind die Mengen noch nutzbaren Waldholzes vorsichtiger eingeschätzt worden. Somit könnte bei Realisierung der Nachfrageabsichten bereits in naher Zukunft ein erheblicher Anteil dieser Hölzer nicht mehr verfügbar sein.

Diskutiert wird gegenwärtig, unter Gewährleistung der Standortgüte bzw. -nachhaltigkeit, auch die Nutzung von Hölzern unterhalb der Derbholzgrenze (< 7 cm) bzw. über eine effizientere Mobilisierbarkeit bisher ungenutzten Waldholzes, womit sich wiederum ein eher höheres Energieholzpotenzial darstellen ließe.

Grundsätzlich müssen folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt werden:

- Die Waldholznutzung und die Holzverwertung sind stark vom Marktgeschehen, also Angebot und Nachfrage, der Preisentwicklung anderer Rohstoffe wie bspw. der fossilen Energieträger sowie der Eigentümerentscheidung abhängig.
- Für die Waldeigentümer besteht ein Marktrisiko, wenn sich eine stärkere Sortimentierung mit einer geringeren Wertschöpfung (bspw. zugunsten einer energetischen gegenüber einer stofflichen Verwertung) ergeben würde.
- Nutzungsmöglichkeiten und mögliche Erwartungen an eine Energieholznutzung haben ihre absoluten Grenzen in der Nachhaltigkeit und Erhaltung der Standortgüten.

3.1.1.3 Entwicklungsperspektiven

Die Strukturen der Energieholznachfrage sind zwei Segmenten zuzuordnen:

1. Versorgung von zentralen Holzheizanlagen

Der kontinuierliche Betrieb von zentralen Holzheizanlagen mit Stückholz (vornehmlich Privathaushalte) oder Holzhackschnitzeln (kommunaler bzw. gewerblicher Sektor) erfordert auch eine regelmäßige Bevorratung und damit Nachfrage nach Brennstoffen.

2. Versorgung von dezentralen Zusatzheizanlagen

Zusatzheizanlagen wie Kaminöfen, Kachelöfen oder Heizkamine werden meist im Winterhalbjahr entweder regelmäßig oder bei Bedarf betrieben. Die nachgefragte Menge an Brennholz (Stückholz) orientiert sich häufig an der Betriebsintensität der Anlagen, aber auch am Kostenniveau des Brennholzes.

Während die Betreiber zentraler Holzheizanlagen in regelmäßigen Zeitabständen Energieholz nachfragen werden, neigen die Nutzer dezentraler Holzheizanlagen dazu, bei steigenden Preisen für fossile Energieträger vermehrt stückiges Brennholz nachzufragen, bei fallenden Preisen jedoch weniger Holz zu ordern, wenn sich gleichzeitig das Brennholz auf einem höheren Preisniveau bewegt. Dementsprechend wird die künftige Entwicklung der Brennstoffkosten die Nachfragemenge im Energieholzsegment bestimmen. Andererseits kann sich auch die Preisgestaltung beim Industrieholz auf die Brennholznachfrage auswirken: Bei preislich hohem Niveau wird dieses Rohholzsegment bevorzugt stofflich verwertet; niedrige Preise begünstigen den Absatz bei Brennholzaufbereitern.

Wie das Sturmereignis „Kyrill“ gezeigt hat, können aufgrund hohen Holzanfalls die Preise für Energieholz zwar kurzfristig nachgeben, jedoch auch der Umfang künftiger Holzeinschläge (einschließlich Brennholz) zurückgefahren werden.

Das Rohholzaufkommen in Hessen wird sich bei der Baumartengruppe Buche erhöhen [104]: mittelfristig (2013–2017) im Industrie- und Starkholzbereich, langfristig (2017–

2022) im Starkholzbereich. Damit würde, sofern diese prognostizierten Entwicklungen auch durch den Landesbetrieb Hessen-Forst umgesetzt werden könnten, eine erhöhte Brennholznutzung möglich sein. Als Hauptnachfrager kämen unter den genannten Umständen Selbstwerber in Betracht, die vermehrt Kronenholz aufarbeiten würden.

3.1.2 Sägerestholz und Sägenebenprodukte

Das im Wald eingeschlagene Holz wird nach den reinen Erntemaßnahmen (Fällen, Entasten, Vorliefern etc.) an einem LKW-fähigen Waldweg bereitgestellt. Die Bereitstellung erfolgt entweder in Form von Lang- oder Kurzholz, was sich nach dem Verwendungszweck richtet.

Während Laubholz in Mitteleuropa schon seit langer Zeit nahezu durchweg in unentrindeter Form für den Verkauf vorgehalten wird, wurde vor allem das Nadelholz in langer Form früher überwiegend, später dann in deutlich geringerem Umfang entrindet zum Verkauf am Waldweg gelagert. Die Entrindung erfolgte in erster Linie aus Forstschutzgründen (Borkenkäferbefall), aber auch um mit Hilfe der natürlichen Trocknung den Abtransport und die Verwendungseigenschaften des Holzes zu verbessern. Heutzutage werden die meisten Nadelholzsortimente im unentrindeten Zustand am Waldweg bereitgelegt. Die Entrindung erfolgt somit in der Regel im Holzverarbeitenden Betrieb.

In den Sägewerken wird das gelieferte Rohholz mit verschiedenen Techniken für die weitere Verwendung aufbereitet. Überwiegend werden Gattersägen, aber auch Bandsägen und in geringem Umfang Kreissägen eingesetzt. An Restholz verbleiben Schwarten (Außenbereiche eines Stammes) oder leistenförmige Resthölzer in Form von Vollholz.

Neben der reinen Sägetechnik kommt vermehrt die Profilerspanertechnik zum Einsatz, bei der die für den Hauptzweck nicht verwendungsfähigen Rohholzanteile abgefräst werden. Somit fallen keine vollholzigen Reste an, sondern nur zerkleinerte Holzspäne, die mit regulären Holzhackschnitzeln vergleichbar sind.

Die Zahl der Sägewerke in Hessen lässt sich nicht auf einfachem Wege mit statistischen Grunddaten herausfiltern; eine genaue landkreisscharfe Darstellung über deren Anzahl ist somit nicht verfügbar. Für die Erfassung von Betrieben werden häufig der jährliche Umsatz, der Gewerbestatus oder die Beschäftigtenzahl herangezogen, was kein genaues Abbild ergibt. Unter Beachtung verschiedener Erfassungskriterien [71] und mittels separater Standorterhebungen bzw. vielfältiger Recherchen lässt sich für Hessen eine Grundgesamtheit von 112 Sägewerken darstellen (Tab. 6). Mit in dieser Zahl enthalten sind auch Hobel- und Holzimprägnierwerke [74], die hessenweit jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Bei einigen Betrieben dieser Kategorie handelt es sich um Gemischtbetriebe, die beispielsweise neben einem Zimmereibetrieb auch Rohholz – meist in kleinerem Umfang – im Sägewerk einschneiden.

2005 wurden in Hessen im Rahmen einer Erhebung zu Standorten der Holzwirtschaft 91 Sägewerke ausgewiesen [125]. Damit weicht die Summe der Betriebe nicht wesentlich voneinander ab, zumal im Rahmen der Studie nur die reine Sägeindustrie betrachtet wurde. In der 2005 veröffentlichten Biomassepotenzialstudie Hessen wurden 95 Betriebe der Sägeindustrie erfasst, die dem Hessischen Statistischen Landesamt bekannt waren. Über eine Adressrecherche konnten insgesamt 220 Betriebe ermittelt werden, bei denen jedoch auch die Gemischtbetriebe erfasst sind, die neben ihrer Tätigkeit als Zimmereibetrieb auch noch ein (kleines) Sägewerk betreiben [64].

Grundsätzlich zu unterscheiden sind Betriebe, die entweder Nadelholz (Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Lärche etc.) oder Laubholz (Buche, Eiche, Edellaubhölzer, Pappel etc.) verarbeiten. Daneben gibt es auch einige Mischbetriebe, die Rohholz aus beiden Kategorien einschneiden.

Die drei Betriebstypen teilen sich nach [125] wie folgt auf:

- Nadelholz-Betriebe: 58 %
- Laubholz-Betriebe: 17 %
- Mischbetriebe: 25 %

Der jährliche Rohholzeinschnitt der hessischen Sägewerksbetriebe dürfte durchschnittlich bei 2.347.000 m³ Holz (ohne Rinde) liegen. Der Schwerpunkt des verarbeiteten Holzes liegt eindeutig im Nadelholzbereich: gut 88 % des eingeschnittenen Rohholzes sind dieser Kategorie zuzuordnen, nur knapp 12 % der Gesamtmenge werden von Betrieben nachgefragt, die Laubholz verarbeiten. Diese Größenordnung spiegelt sich auch in den Untersuchungen von [102] wider, wenn der Grunddatenbestand ebenfalls um die betrieblichen „Neuzugänge“ aktualisiert wird.

Tab. 6: Sägewerke in hessischen Landkreisen ([71]; eigene Recherchen)

		Anzahl
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	0
	Frankfurt/Main	1
	Stadt Offenbach	0
	Wiesbaden	1
	Bergstraße	1
	Darmstadt-Dieburg	2
	Groß-Gerau	1
	Hochtaunuskreis	1
	Main-Kinzig-Kreis	6
	Main-Taunus-Kreis	1
	Odenwaldkreis	8
	Landkreis Offenbach	0
	Rheingau-Taunus-Kreis	1
	Wetteraukreis	2
Regierungsbezirk Darmstadt	25	
RB Gießen	Gießen	1
	Lahn-Dill-Kreis	10
	Limburg-Weilburg	4
	Marburg-Biedenkopf	6
	Vogelsbergkreis	8
Regierungsbezirk Gießen	29	
RB Kassel	Stadt Kassel	3
	Fulda	14
	Hersfeld-Rotenburg	5
	Landkreis Kassel	9
	Schwalm-Eder-Kreis	10
	Waldeck-Frankenberg	11
	Werra-Meißner-Kreis	6
Regierungsbezirk Kassel	58	
Hessen GESAMT	112	

Die Nachfrage nach Holzprodukten bestimmt u. a. auch das Nachfrageverhalten der Sägewerksbetriebe nach Rohholz. In Zeiten, in denen durch Windwürfe oder sonstigen Ereignissen größere Mengen an Rohholz auf den Markt gelangen, findet aufgrund nachlassender Holzpreise häufig eine Bevorratung bei den Betrieben statt.

3.1.2.1 Stand der Nutzung

Mit der Verarbeitung des Rohholzes fallen je nach Art des verwendeten Holzes verschiedene Sägenebenprodukte bzw. Reststoffe an:

- Sägespäne
- Sägemehl
- Schwarten
- Spreißel
- Hackschnitzel
- Rinde

Abhängig von der Verarbeitungstechnik und den verwendeten Holzarten bzw. -qualitäten kann der Anteil an Sägenebenprodukten in Bezug zum eingesetzten Rohholz bis 50 % betragen. Durchschnittlich kann von einer Spanne zwischen 30 % und 40 % ausgegangen werden [126].

Sägespäne bzw. Sägemehle umfassen etwa ein Drittel der Nebenprodukte, fast 60 % entfallen auf Hackschnitzel und nahezu 5 % auf Schwarten und Spreißel. Der Rindenanteil, der zusätzlich anfällt und bei der Rohholzvermarktung meist nicht mit berücksichtigt wird, beläuft sich auf ca. 15 % des zu verarbeitenden Holzes.

Es erfolgt deutschlandweit eine nahezu vollständige Nutzung der Sägenebenprodukte (ohne Rinde), die sich nach [33] auf folgende Bereiche verteilt:

- Holzwerkstoffindustrie: 95 %
 - Spanplattenproduktion
 - Faserplattenproduktion
- Holzschliff- und Zellstoffindustrie: 4 %
- Energieerzeugung intern: 1 %

Nach Umfragen in hessischen Sägewerksbetrieben hat sich die fast vollständige Nutzung der Sägenebenprodukte bestätigt. Mittlerweile kann jedoch davon ausgegangen werden, dass rund ein Drittel der Sägenebenprodukte bereits energetisch verwertet werden [94].

Die Aufarbeitung von Schwarten und Kappstücken zu Brennholz erfolgt bei einigen Sägewerken in Hessen fast ausschließlich im Laubholzbereich. Da der Anteil des bei den Sägern nachgefragten Laubholzes ohnehin gering ist, kommt dem Brennholzabsatz aus diesem Segment nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Der überwiegende Anteil der Sägewerke beschränkt sich bei der Rohholzverarbeitung nicht nur auf den reinen Einschnitt, sondern ist auch im Bereich der Holzveredlung tätig. An erster Stelle ist hier die künstliche Trocknung des eingeschnittenen Holzes zu nennen, die mit verschiedenen Techniken umgesetzt werden kann. Die dafür benötigte Heizenergie einschließlich der für Gebäude bzw. Gebäudeteile wird häufig durch die energetische Verwertung im Betrieb anfallender Reststoffe, insbesondere der Rinde, bereitgestellt. Einige Großbetriebe, die auch in der Weiterveredelung der Sägeprodukte tätig sind, nutzen gegenwärtig große Restholzmengen aus diesem Geschäftsfeld für die Energieversorgung. So entstehen zum Beispiel beim Einsatz von Hobelmaschinen weitere Mengen an Spänen, die nicht in die Kategorie der Sägeresthölzer fallen und energetisch verwertet werden. Für die Herstellung von Brettschichthölzern oder Oberflächenveredelungen wird ebenfalls Energie in Form von Wärme benötigt.

Laub- und Nadelholzspäne sowie Frässpäne werden z. T. auch stofflich als Einstreumaterialien in der Landwirtschaft oder für Zwecke im Reitsport verwendet. Sägespäne aus der Nadelholzverarbeitung werden zunehmend für die Pelletproduktion verwertet.

Rindenmaterialien werden häufig energetisch verwertet, daneben auch im Bereich des Garten- und Landschaftsbaus eingesetzt.

Die jährlich anfallenden Mengen der Sägenebenprodukte in Hessen sind abhängig vom Einschnittvolumen der Sägewerksbetriebe, deren Produktlinien und Verarbeitungstechniken. Die Verwertung der Nebenprodukte ist in der Regel abhängig von den Marktpreisen, wobei die Absatzsicherheit ständig anfallender Reststoffe ein nicht zu unterschätzendes Kriterium darstellt. Einige Nebenprodukte zählen zu den Koppelprodukten, wobei je nach Preisniveau diese entweder stofflich oder energetisch verwendet werden.

3.1.2.2 Potenziale

Grundsätzlich könnten die gesamten in einem Sägebetrieb anfallenden Nebenprodukte auch energetisch verwertet werden. Bei einem jährlichen Einschnittvolumen von fast 2,35 Mio. m³ entfallen auf die Sägenebenprodukte über 820.000 m³, wenn der Anteil an Nebenprodukten mit 35 % angesetzt wird. Bei einem angenommenen Wassergehalt von 30 % bei der Verwertung und einem für hessische Verhältnisse errechneten Heizwert von rund 2.100 kWh/m³ (Sägeholzverwendung: 88 % Nadelholz, 12 % Laubholz) ergäbe sich ein Gesamtenergiepotenzial von rund 1.700 GWh. Eine vollständige energetische Nutzung aller anfallenden Sägeresthölzer ist jedoch höchst unwahrscheinlich, da ein gewisser Anteil dieses Materials, wie bereits erläutert, in die stoffliche Nutzung geht. Daher wird von einer energetischen Verwertung von rund 30 % ausgegangen, was einer Energiemenge von knapp 500 GWh/a entspricht. Es ist anzunehmen, dass diese verfügbare Menge für die energetische Nutzung bereits vollständig entweder durch die Sägebetriebe selbst oder andere Abnehmer genutzt wird, sodass hier keine zusätzlichen Potenziale auftreten.

Nach Aussagen einiger Sägewerksbetreiber werden die derzeitigen Absatzmöglichkeiten für Nebenprodukte als durchaus befriedigend eingeschätzt, auch was die Erlössituation betrifft. Nur für einen relativ geringen Anteil an Nebenprodukten wären seitens der Werksbetreiber bessere Absatzmöglichkeiten wünschenswert.

3.1.2.3 Entwicklungsperspektiven

Auch künftig dürfte die stoffliche Nutzung (Spanplatten, Faserplatten, OSB-Platten) der Sägenebenprodukte die Hauptverwertungsschiene darstellen. Zudem ermöglicht diese Art der Verwertung, die Nutzung des Rohstoffes Holz zeitlich möglichst weit zu strecken.

Mit steigenden Preisen für fossile Energieträger könnte allerdings die Nachfrage für Hackschnitzel als Brennstoff zunehmen, obwohl diese aufgrund des meist frischen Holzzustands noch relativ hohe Wassergehalte besitzen.

Während die Laubholzsäger die Möglichkeit haben, einen Teil ihrer Reststoffe (Schwarten, Kappstücke etc.) als Brennholz absetzen zu können, ist die Nachfrage nach dieser Verwertungsoption im Nadelholzsektor eher gering einzuschätzen. Dafür dürften sich die Absatzmöglichkeiten für Sägespäne bzw. -mehle der nadelholzverarbeitenden Sägeindustrie im Bereich der Pelletproduktion künftig verbessern.

Insbesondere für Sägewerke, die bereits über eine Energieversorgung aus internen Reststoffen verfügen, bietet sich die Ausweitung dieses Tätigkeitsfeldes an. Zum einen könnten über Nahwärmeleitungen umliegende Ortschaften oder benachbarte Gewerbebetriebe mit Wärme versorgt werden, zum anderen besteht die Möglichkeit, zusätzlich Strom zu produzieren, der nach den Vorgaben des EEG vergütet wird.

3.1.3 Kurzumtriebsplantagen

Auf landwirtschaftlichen Flächen bietet sich aufgrund der bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen die Möglichkeit, Dauerkulturen zur Holzproduktion in Form von Kurzumtriebsplantagen (KUP) anzulegen. Möglich ist diese Art der Umwandlung der Nutzungsform auf genutzten Acker- und Grünlandflächen. Obwohl die Kurzumtriebsplantagen der Holzproduktion, insbesondere der Energieholzproduktion, dienen, fallen sie rein rechtlich betrachtet nicht in den Geltungsbereich des Hessischen Forstgesetzes und zählen somit nicht zum Wald. Allerdings wird dieser Bewirtschaftungstyp nach den Ausführungen im Bundeswaldgesetz als Wald eingeordnet, da es sich um eine mit Forstpflanzen bestockte Fläche handelt. Die rechtliche Konsensfähigkeit wird derzeit noch geprüft.

Durch die Einführung eines Zahlungsanspruchs auch für Dauerkulturen im Rahmen der EU-Agrarpolitik ab 2009 gelten KUP künftig generell als beihilfefähige Flächen. Auf der Grundlage der sogenannten ELER-Verordnung Nr. 1698/2005 zur Förderung der ländlichen Entwicklung bzw. über die entsprechenden Programme des Bundes und der Länder ist die Anlage von KUP grundsätzlich förderfähig.

Bei dieser Form von Dauerkulturen werden relativ schnellwüchsige Weiden (ca. 15.000–20.000 St./ha) oder Hybridpappeln (ca. 10.000–13.000 St./ha) meist in Form von Steckhölzern, Steckruten und Setzstangen verwendet [80]. In bestimmten Zeitabständen kann die aufwachsende Biomasse geerntet werden. Man unterscheidet dabei kurze (3–4 Jahre), mittelfristige (5–10 Jahre) und längerfristige Kurzumtriebszeiten (> 10 Jahre). Je länger der Ernteturnus gewählt wird, desto geringer ist der Bedarf an Pflanzmaterial. Für die Produktion von Industrieholz (Ernteturnus 10–20 Jahre) ist eine Ausgangspflanzenzahl von max. 1.000 St./ha ausreichend.

Das Wachstumsverhalten der verwendeten Weiden und Hybridpappeln ist, neben den klimatischen Voraussetzungen, besonders abhängig von den Bodenbeschaffenheiten und der Wasserverfügbarkeit. Auf besseren Standorten werden 10–15 t Trockensubstanz pro Hektar und Jahr erzielt, auf Flächen mit schlechteren Standortvoraussetzungen können sich allerdings die Ernteerträge auch halbieren. Wie Anbauversuche gezeigt haben, steigert sich bei einigen Pappelhybriden der Ernteertrag in den Folgerotationen.

Die Wahl des Ernteverfahrens erfolgt in Abhängigkeit der gewählten Erntezyklen bzw. der erreichten Durchmesser der Bestände. Während bei kurzen Erntezyklen der Einsatz von Feldhäckslern möglich ist, können ab einem Durchmesserbereich von 15–20 cm das motormanuelle Arbeitsverfahren oder eine voll mechanisierte Beerntung angewendet werden.

Obwohl die Anlage von Kurzumtriebsplantagen in erster Linie mit dem Ziel der Energieholzproduktion erfolgt, können durch die Wahl eines längerfristigen Erntezyklus stärkere Holzdimensionen für die stoffliche Nutzung Verwendung finden.

3.1.3.1 Stand der Nutzung

Für die Erhebung der derzeit in Hessen existenten Flächen, die mit Kurzumtriebsplantagen belegt sind, können häufig die Ämter, die für die Entwicklung des ländlichen Raums zuständig sind, Auskunft geben. Allerdings beschränken sich die gesicherten Informationen auf die geförderten und damit erfassten Objekte. Die nicht im Rahmen von Fördermaßnahmen erfassten Kurzumtriebsplantagen wurden aufgrund entsprechender Objektkennnisse von Fachleuten hinsichtlich ihrer Größe abgeschätzt.

In Hessen sind Kurzumtriebsplantagen auf einer Gesamtfläche von ca. 360 ha angelegt. Es handelt sich dabei um Plantagen mit z. T. sehr unterschiedlichen Wuchsstadien: Einige Flächen weisen bereits ältere Gehölzbestände auf, in anderen Regionen überwie-

gen jüngere Wuchsstadien. Besonders auffällig ist das Nord-Süd-Gefälle in Hessen, was die absolute Verbreitung der Kurzumtriebsplantagen betrifft (siehe Abb. 5). Während im Regierungsbezirk Kassel fast 300 ha Kurzumtriebsplantagen nachgewiesen werden können, sind im Regierungsbezirk Gießen und Darmstadt nur 40 bzw. 30 ha Gesamtfläche vorhanden.

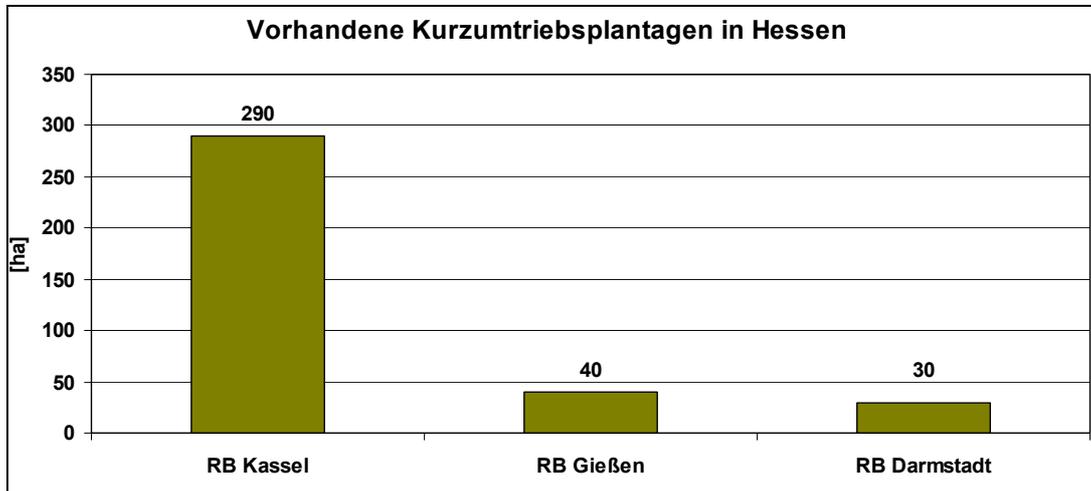


Abb. 5: Vorhandene Gesamtflächen an Kurzumtriebsplantagen im Einzugsbereich der drei hessischen Regierungsbezirke (geschätzt)

3.1.3.2 Potenziale

Um die möglichen Flächenpotenziale für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen ermitteln zu können, wurden die in Kapitel 4.1.2 dargelegten Rahmenbedingungen unterstellt. Hessenweit stehen rund 109.300 ha landwirtschaftliche Fläche für eine Bebauung mit Energiepflanzen zur Verfügung. Es wird angenommen, dass auf 10 % dieser Flächen Kurzumtriebsplantagen angelegt werden, sodass hessenweit hierfür ca. 10.930 ha zur Verfügung stehen.

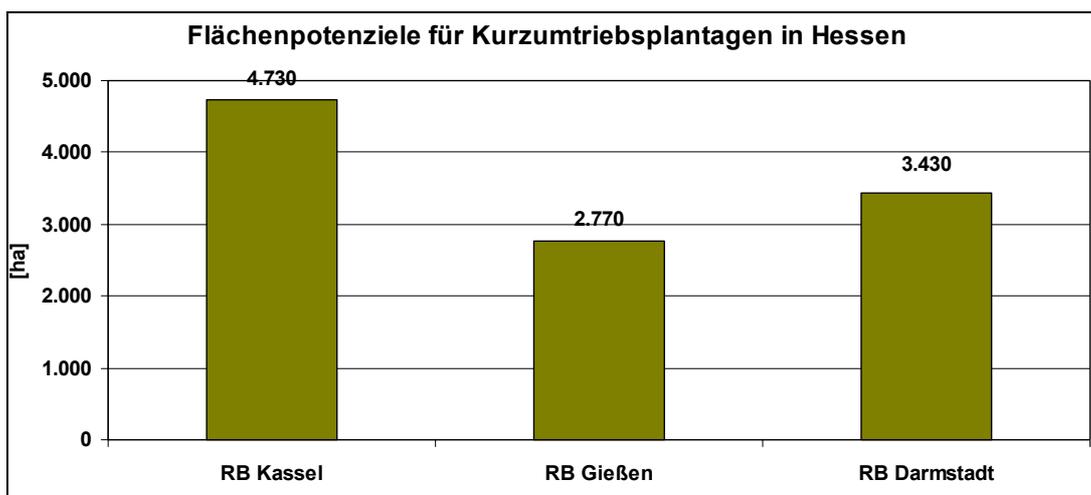


Abb. 6: Gesamt-Flächenpotenziale für Kurzumtriebsplantagen in den drei hessischen Regierungsbezirken

Im Bereich des Kasseler Regierungsbezirkes könnte somit eine Gesamtfläche von ca. 4.730 ha für die Nutzungsform „Kurzumtriebsplantage“ bereitgestellt werden. Fast 2.000 ha weniger würden unter den gegebenen Rahmenbedingungen im Regierungsbezirk Gießen nutzbar sein und etwas über 3.400 ha im Regierungsbezirk Darmstadt.

Tab. 7: Abschätzung der Flächenpotenziale für Kurzumtriebsplantagen in den hessischen Landkreisen

		verfügbare Ackerfläche f. Energiepflanzen [ha]	Flächen- potenzial KUP [ha]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	300	30
	Frankfurt/Main	800	80
	Stadt Offenbach	100	10
	Wiesbaden	900	90
	Bergstraße	2.300	230
	Darmstadt-Dieburg	4.300	430
	Groß-Gerau	3.100	310
	Hochtaunuskreis	1.900	190
	Main-Kinzig-Kreis	3.800	380
	Main-Taunus-Kreis	1.400	140
	Odenwaldkreis	900	90
	Landkreis Offenbach	1.100	110
	Rheingau-Taunus-Kreis	3.300	330
	Wetteraukreis	10.100	1.010
Regierungsbezirk Darmstadt		34.300	3.430
RB Gießen	Gießen	6.000	600
	Lahn-Dill-Kreis	2.300	230
	Limburg-Weilburg	5.700	570
	Marburg-Biedenkopf	8.300	830
	Vogelsbergkreis	5.400	540
	Regierungsbezirk Gießen		27.700
RB Kassel	Stadt Kassel	100	10
	Fulda	4.700	470
	Hersfeld-Rotenburg	4.000	400
	Landkreis Kassel	10.600	1.060
	Schwalm-Eder-Kreis	14.500	1.450
	Waldeck-Frankenberg	6.800	680
	Werra-Meißner-Kreis	6.600	660
	Regierungsbezirk Kassel		47.300
Hessen GESAMT		109.300	10.930

Tab. 7 zeigt die in den einzelnen Landkreisen errechneten Flächenanteile, die als Kurzumtriebsplantagen bewirtschaftet werden könnten. Dabei würden die drei Landkreise mit den höchsten Flächenpotenzialen (Schwalm-Eder-Kreis, Landkreis Kassel, Wetteraukreis) fast ein Drittel des gesamten landesweiten Potenzials auf sich vereinen. Das mittlere Ertragspotenzial von Kurzumtriebsplantagen liegt bei 12,5 t TM/ha im Jahr. Durch züchterische Bearbeitung, Selektion vorhandener Klone und verbesserte Anbaustrategien sowie Ausnutzung unterschiedlicher Standortansprüche der Sorten wird bis 2020 mit einer jährlichen Ertragssteigerung von 1,5 % gerechnet. Da das Ausgangsmaterial noch

relativ unbearbeitet und inhomogen ist, sind auch noch höhere Raten vorstellbar. Bei einem Wassergehalt von 20 % besitzen Hölzer aus Kurzumtriebsplantagen einen Heizwert von 4 MWh je Tonne. Somit könnten bei der Verbrennung in einer Anlage mit einem Wirkungsgrad von 85 % rund 670 GWh Energie erzeugt werden. Die bisher existierenden Flächen, die als Kurzumtriebsplantagen genutzt werden, haben an dem aufgezeigten Potenzial einen Anteil von lediglich 3 %. Dieser Anteil ist auf die energetische Nutzung übertragbar, sodass etwa 20 GWh/a hessenweit schon für eine Nutzung zur Verfügung stehen.

3.1.3.3 Entwicklungsperspektiven

Mit der Anlage von Kurzumtriebsplantagen bindet sich der Bewirtschaftende über viele Jahre an die Nutzungsform. Dies bedeutet in den meisten Fällen ein drastisches Umdenken im Vergleich zu den bisherigen Ein-Jahres-Kulturen. Diese notwendige Neuorientierung kann sich hemmend auf die vermehrte Anlage von solchen Dauerkulturen auswirken, zumal mit dem Auslaufen dieser Bewirtschaftungsform auch eine Rückumwandlung der Flächen (Wurzelstockrodung) notwendig wird.

Gleichzeitig erfolgt auch eine langfristige Bindung des Investitionskapitals, das bei der Anlage der Kultur aufgewendet werden muss. Wesentliche Kostenblöcke sind dabei die Kosten für Steckhölzer, für die erforderliche Erstdüngung und das Setzen der Stecklinge. Die für die Bereitstellung des Kapitals erforderlichen Finanzierungskosten müssen in der Gesamtkalkulation ebenfalls berücksichtigt werden.

Ein weiteres mögliches Hemmnis liegt im Bereich der Förderung: Da gegenwärtig bei der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen als Kurzumtriebsplantagen eine deutlich geringere finanzielle Förderung als bei sonstigen ackerbaulich genutzten Kulturen in Anspruch genommen werden kann, wird die bisherige Nutzungsart in Form von einjährigen Kulturen bevorzugt. Mit dem Ziel der Angleichung der beiden Förderinstrumente dürfte sich, je nach zu erzielendem Hackschnitzelpreis, die Attraktivität, Kurzumtriebsplantagen anzulegen, erhöhen.

3.1.4 Landschaftspflegeholz aus der Offenlandschaft

Außerhalb von Waldflächen und Siedlungsbereichen ist die hessische Kulturlandschaft mit Gehölzstrukturen durchzogen, wozu Gehölzgruppen, Gehölzstreifen, Feldholzinseln oder Einzelbäume gehören.

Unter Beachtung verschiedener rechtlicher Rahmenbedingungen können Pflegemaßnahmen in der sogenannten Offenlandschaft eingeschränkt (z. B. Gebiete mit naturschutzrechtlichen Auflagen) oder gar erforderlich (z. B. Durchsetzung bestimmter Pflegeziele) sein. Andererseits werden Pflegemaßnahmen durchgeführt, um beispielsweise der Ausbreitung von Gehölzen in Grünlandbereichen Einhalt zu gebieten, überalterte Bestände zu verjüngen oder um negative Wirkungen (z. B. Schattenwurf) auf Nachbarflächen zu mildern. Mit eingeschlossen sind die gewässerbegleitenden Gehölze außerhalb des Waldes.

Nicht betrachtet werden in diesem Unterkapitel holzige Materialien aus der Pflege am Verkehrsbegleitgrün bzw. der Versorgungstrassenpflege. Das Folgekapitel gibt näheren Aufschluss über diese Art holziger Biomassen.

Werden von der Gesamtfläche Hessens die Flächennutzungsarten Wald, Verkehr, Siedlung und Wasser ausgeblendet, verbleibt eine Flächengröße von rund 930.000 ha, auf denen kleinflächig Gehölzbestände mosaikartig gepflegt werden.

Beispielhaft wird das Gewässerbegleitgrün näher betrachtet. Die Fließgewässer Hessens umfassen eine Gesamtstreckenlänge von über 23.000 km, die von unterschiedlichen

Arten der Flächennutzung umgeben werden. Rund 37 % (8.259 km) der Fließgewässerstrecken (Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet > 10 km²) wurden im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie hinsichtlich ihrer Strukturen und Qualitäten begutachtet [60]. Dabei wurden u. a. auch die Flächennutzungen der Umgebung festgehalten. Es hat sich gezeigt, dass ca. 43 % der untersuchten Gewässerstrecken von Wald oder waldähnlichen Strukturen umgeben sind.

Nach dem Hessischen Wassergesetz sind die Ufer oberirdischer Gewässer gemäß § 8 (1) Satz 3 „vorwiegend durch heimischen und standortgerechten Bewuchs und in naturnaher Bauweise zu sichern und für den Wasserabfluss freizuhalten; die Uferbereiche zu diesem Zweck natürlich zu gestalten und zu pflegen“. Für die Pflege des Gewässerbegleitgrüns bzw. der Randgehölze an Gewässern erster Ordnung sind die Wasserwirtschaftsämter zuständig. Gehölzschnitt an Gewässern zweiter und dritter Ordnung erfolgt meist durch die Kommunen, Wasser- und Naturschutzverbände oder Privatpersonen.

3.1.4.1 Stand der Nutzung

Mit Ausnahme der wirklich notwendigen Pflegemaßnahmen an Gehölzbeständen entlang der Verkehrswege und Versorgungsstrassen sind die in den sonstigen Bereichen der Offenlandschaft ausgeführten Maßnahmen als sehr extensiv zu beurteilen, da häufig nur geringe finanzielle Mittel bereitgestellt werden können.

Selbst Maßnahmen am Begleitgrün der Binnenschiffahrtswege werden nur bei Bedarf durchgeführt [21]. In erster Linie handelt es sich dabei um Pflegemaßnahmen, die aus Gründen der Verkehrssicherheit vollzogen werden müssen. Dabei wird der Umfang der Maßnahmen auf ein Minimum reduziert – Planungen zum regelmäßigen Rückschnitt von Gehölzen an Binnenschiffahrtswegen sind somit nicht existent. Weiterhin werden keine Erhebungen durchgeführt, welche Mengen an Pflegematerialien tatsächlich anfallen. Damit existiert keine Grundlage für eine statistische Auswertung.

In der Praxis erfolgt an einigen Fließgewässerabschnitten die Entnahme von Einzelbäumen aus Erlen-Weiden-Beständen oder eine deutliche Reduzierung der Stammzahl häufig durch Grundstücksnutzer entlang der Fließgewässer (z. B. Landwirte). Die Maßnahmen werden z. T. in unregelmäßigen Zeitabständen und mit unterschiedlichen Intensitäten durchgeführt. Häufig wird das anfallende Holz als Brennholz genutzt.

Nach einer vorsichtigen Abschätzung dürften derzeit bei den extensiven Pflegemaßnahmen an Gehölzbeständen im Offenlandbereich hessenweit um 10.000 t pro Jahr (je Landkreis zwischen 400 und 600 t) anfallen. Die tatsächliche energetische Verwertung dürfte gegenwärtig bereits einen Großteil der Aufkommensmenge umfassen.

3.1.4.2 Potenziale

Wie praxisorientierte Untersuchungen der Universität Freiburg gezeigt haben [26], können unterschiedlichen Gehölztypen der Offenlandschaft entsprechende Biomasseaufkommensmengen zugeordnet werden. Als theoretisches Potenzial fallen durchschnittlich 300 Srm je Hektar an, wobei Gehölztypen mit hohen Baumanteilen einen deutlich höheren Biomasseaufwuchs im Vergleich zum Durchschnittswert liefern könnten. Unter Berücksichtigung rechtlicher Rahmenbedingungen, die das mögliche Pflegepotenzial einschränken, und eines 20-jährigen Umtriebzeitraums kann von einem jährlichen Biomassenanfall von 0,3 Srm pro ha ausgegangen werden [26], was hessenweit zu einem Gesamtaufkommen von fast 280.000 Srm führen würde. Dies entspricht einer Frischmasse zwischen 70.000 und 90.000 t je Jahr. Es wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung von geeigneten Logistikkonzepten und Bergungstechniken die Bereitstellung von

50 % dieser Menge zur energetischen Nutzung ermöglicht. Damit stünde eine Menge an Landschaftspflegematerialien von gut 40.000 t FM je Jahr zur Verfügung (Tab. 8).

Tab. 8: Abschätzung des technischen Potenzials an Landschaftspflegeholz (Offenlandschaft) in den hessischen Landkreisen (Wassergehalt 50 %)

		Landschaftspflegeholz Potenzial	
		[t]	[MWh/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	210	400
	Frankfurt/Main	670	1.400
	Stadt Offenbach	90	200
	Wiesbaden	470	1.000
	Bergstraße	1.360	2.800
	Darmstadt-Dieburg	1.350	2.800
	Groß-Gerau	1.080	2.200
	Hochtaunuskreis	760	1.600
	Main-Kinzig-Kreis	2.510	5.200
	Main-Taunus-Kreis	530	1.100
	Odenwaldkreis	860	1.800
	Landkreis Offenbach	630	1.300
	Rheingau-Taunus-Kreis	1.140	2.400
	Wetteraukreis	2.460	5.100
	Regierungsbezirk Darmstadt	14.120	29.300
RB Gießen	Gießen	1.760	3.600
	Lahn-Dill-Kreis	1.780	3.700
	Limburg-Weilburg	1.530	3.200
	Marburg-Biedenkopf	2.360	4.900
	Vogelsbergkreis	2.820	5.800
	Regierungsbezirk Gießen	10.250	21.200
RB Kassel	Stadt Kassel	260	500
	Fulda	2.840	5.900
	Hersfeld-Rotenburg	1.880	3.900
	Landkreis Kassel	2.480	5.100
	Schwalm-Eder-Kreis	3.150	6.500
	Waldeck-Frankenberg	3.180	6.600
	Werra-Meißner-Kreis	1.840	3.800
	Regierungsbezirk Kassel	15.630	32.300
Hessen GESAMT		40.000	82.800

Bei der Ernte weisen diese 40.000 t holzige Materialien einen Wassergehalt von rund 50 % auf. Nach einer Trocknung auf einen Wassergehalt von 30 % kann damit eine Energiemenge von 3,4 MWh je Tonne erzeugt werden. Bei der Verbrennung in einer Anlage mit einem Wirkungsgrad von 85 % lassen sich mit diesen Materialien etwa 82.800 MWh jährlich erzeugen. Es wird davon ausgegangen, dass ein gewisser Anteil der holzigen Materialien aus Landschaftspflegemaßnahmen bereits einer energetischen Nutzung zugeführt wird. Dieser Anteil wird auf 20 % geschätzt, sodass ein zusätzliches Potenzial von 66.200 MWh vorhanden ist.

3.1.4.3 Entwicklungsperspektiven

In Bereichen der Offenlandschaft existieren viele Gehölzstrukturen, die in den vergangenen Jahren keinerlei Pflege erfahren haben und die ein nicht zu unterschätzendes Biomassepotenzial bieten. Besonders Siedlungsbereiche, die von z. T. älteren Gehölzbeständen der unmittelbaren Umgebung beschattet werden, können nachhaltig Nutzen aus entsprechenden Pflegemaßnahmen ziehen. Trotzdem wird auch zukünftig die Pflege von Gehölzbeständen in der offenen Landschaft meist extensiver Art sein, vor allem, wenn stärker dimensionierte Hölzer nur einen geringen Anteil am aufkommenden Pflegematerial haben.

Auch die Pflegemaßnahmen an Gehölzbeständen von Fließgewässern werden künftig in nur begrenztem Umfang durchgeführt werden. Weitere Maßnahmen zur Renaturierung von Fließgewässerabschnitten durch Pflanzungen standortgerechter Gehölze könnten jedoch langfristig das zu nutzende Potenzial etwas erhöhen.

Insgesamt dürfte bei steigenden Preisen für Brennholz aus Wäldern die Bereitschaft angrenzender Grundstückseigentümer bzw. -bewirtschafter zunehmen, kostengünstig Hölzer aus Gehölzbeständen der Offenlandschaft zu werben.

3.1.5 Landschaftspflegeholz entlang von Verkehrswegen und Versorgungstrassen

Das Bundesland Hessen zeichnet sich insbesondere durch seinen Waldreichtum (ca. 42 %) aus. Daneben gibt es auch in den weniger bewaldeten Regionen zahlreiche Kleinstrukturen (Feldholzinseln, Feldgehölzgruppen, Einzelbäume etc.), die das waldfreie Landschaftsbild prägen.

Viele Verkehrswege (Straßen, Bahnlinien) werden von den genannten Gehölzstrukturen umsäumt. Einige Abschnitte von Versorgungstrassen (z. B. Stromtrassen) befinden sich in Waldgebieten.

Straßenbegleitgrün

Das Straßennetz im Bundesland Hessen umfasste 2008 eine Gesamtlänge von 16.759 km, darunter 972 km Bundesautobahnen, 3.498 km Bundesstraßen, 7.284 km Landstraßen und 5.004 km Kreisstraßen [54]. Von der Gesamtstraßenlänge sind die Ortsdurchfahrten zu subtrahieren, sodass außerörtlich eine Straßennetzlänge von 13.400 km angesetzt werden kann.

Zur Wahrung der Verkehrssicherheit finden Pflegemaßnahmen am krautigen bzw. halmartigen Straßenbegleitgrün statt sowie an Gehölzbeständen. Im Folgenden wird das holzige Straßenbegleitgrün näher betrachtet.

Der Umfang der durchzuführenden Maßnahmen ist zum einen abhängig von der Gesamtstraßenlänge, die von Gehölzbeständen bzw. Wäldern umsäumt werden (in Hessen gut 40 %), zum anderen von der Artenzusammensetzung und deren Altersstrukturen.

Hinsichtlich der Pflegeintensität an den Gehölzbeständen sind folgende Maßnahmen zu unterscheiden:

- Rückschnitte an Gehölzen (z. B. Kronenpflege)
- Pflegemaßnahmen an Gehölzen in Kurzzeitintervallen von 1–3 Jahren (Mulchen des Aufwuchses)
- Pflegemaßnahmen an Gehölzen in längeren Zeitintervallen von mindestens fünf Jahren (meist durchforstungsähnliche Eingriffe bei definiertem Pflegeumfang)

- Flächige Entnahme von Gehölzen in relativ langen Zeitintervallen (häufig über zehn Jahre)

Die aufgeführten Pflegeintensitäten unterscheiden sich hinsichtlich der Biomassemengen z. T. erheblich. Im Rahmen dieser Studie wird nur das Mengenaufkommen von jenen intensiveren Pflegemaßnahmen betrachtet, die in längeren Zeitabständen regelmäßig stattfinden, da diese Mengen zum einen relativ kontinuierlich anfallen, zum anderen einige Erfahrungswerte (Aufkommen, Verwertung etc.) vorliegen. Genaue Angaben zu der Art des Straßenbegleitholzes und der bei Pflegemaßnahmen anfallenden Mengen liegen nicht vor, da das Amt für Straßen- und Verkehrswesen in Hessen (ASV) trotz mehrfacher Anfrage hierzu keine Daten bereitstellen konnte.

Bei Kronenpflege-Maßnahmen werden die meist geringen Mengen abtransportiert. Werden holzige Schösslinge entlang von Straßen durch Mulchen auf den Stock gesetzt, verbleiben diese Materialien in der Regel am Anfallsort, zumal kaum nennenswerte Mengen anfallen. Da eine Quantifizierung des Aufkommens aus diesen beiden Pflegebereichen nicht möglich ist, erfolgt keine weitere Betrachtung dieser Materialien.

Anders hingegen sind die Maßnahmen (Durchforstung mit dem Ziel der Stammzahlreduktion, kleinflächige Entnahme sämtlicher Gehölze) zu beurteilen, bei denen deutlich höhere Mengen an Biomassen anfallen. Nach Abschätzungen werden in Hessen zwischen 800 und 1.000 km des Straßennetzes intensiver gepflegt. Wie messtechnische Untersuchungen von [53] gezeigt haben, fallen bei Maßnahmen, die in einem mehrjährigen Rhythmus (5–6 Jahre) stattfinden, mindestens 25 t Begleitholz pro Kilometer an. Wird die Eingriffstärke jedoch erhöht oder vermehrt stärker dimensionierte Bäume dem Bestand entnommen, können Mengen von über 30 t pro Straßenkilometer realisiert werden.

Unter Berücksichtigung anteiliger Pflegeflächen pro Kilometer sind potenzielle Aufkommensmengen zwischen 1 und 4 t FM/km ermittelt worden [114]. In darauffolgenden Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass je Straßenkilometer im Durchschnitt 2 t TM/a holzige Biomasse im Rahmen von Pflegemaßnahmen anfallen [31], was der vorgenannten Größenordnung recht nahe kommt.

Der Anteil an Feinästen und Rinde ist in diesem Material relativ hoch: Im Erntezustand werden hierbei Wassergehalte von 60 % erreicht, bei überwiegend stammartigem Holz (vergleichbar mit frischem Waldholz) um 50 %.

Bahnbegleitgrün

In Hessen entfallen auf das Schienenwegenetz fast 2.700 km. Ebenfalls aus Gründen der Verkehrssicherheit werden Pflegemaßnahmen am holzigen Bahnbegleitgrün ausgeführt.

Entlang der Bahnstrecken werden die Randstreifen in einer Tiefe von 4 bis 8 m – je nach Geschwindigkeitskategorie einer Strecke – gepflegt; i. d. R. handelt es sich um 6 m breite Streifen (jeweils beidseitig). Gewisse Zwangsabstände von Bäumen zum unmittelbaren Gleiskörper müssen entsprechend eingehalten werden. Der Bereich der Oberleitungen ist beidseitig in einer Breite von 2,5–8 m freizuhalten. In der Nähe von Signalanlagen und Bahnübergängen ist der Gehölzaufwuchs entweder zurückzudrängen oder niedrig zu halten, um erforderliche Sichtweiten zu gewährleisten. Maßnahmen auf separaten Flächen mit Gehölzbeständen (z. B. in Bahnhofsbereichen, an Streckenkreuzungen) spielen eine eher untergeordnete Rolle.

Die Intensität der Pflegemaßnahmen entlang von Bahnstrecken ist in bewaldeten Gebieten am höchsten, in offenen Landschaften dagegen eher gering.

Trassenpflege (Stromversorgung)

Die Flächen unterhalb der Stromversorgungsleitungen werden häufig landwirtschaftlich genutzt, in bergigem Gelände z. T. als Grünland extensiv bewirtschaftet. Durch natürliche Sukzessionsentwicklungen wachsen in einigen Trassenabschnitten Gehölzbestände, die, je nach Wuchsbedingungen des Standorts, von Zeit zu Zeit auf den Stock gesetzt werden müssen, um die Stromversorgungsleitungen nicht zu behindern. Dies trifft auch für Trassenabschnitte zu, die durch Waldgebiete führen. In wenigen Fällen sind auch niedrig bleibende Kulturen (z. B. Weihnachtsbaumkulturen) angelegt. Extensiv gepflegte Trassenabschnitte können zudem ausgleichende Funktionen für bauliche Eingriffe erfüllen oder werden als Trittsteine in ökologische Verbundsysteme integriert.

3.1.5.1 Stand der Nutzung

Die bei den Pflegemaßnahmen anfallenden holzigen Materialien werden sehr unterschiedlich genutzt, was hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängt:

- Mengenanfall
- Dimensionierung der Materialien
- Reliefbeschaffenheit
- Logistik
- Erlössituation

Straßenbegleitgrün

Bei den Pflegemaßnahmen am Straßenbegleitgrün fallen z. T. auch stärkere Stammdimensionen an, die im Ausnahmefall als Stammholz vermarktet werden. Ansonsten wird dieses Holz in Form von Kurzholz im Einzugsgebiet der Straßenmeistereien an Brennholznachfrager abgegeben.

Schwächer dimensioniertes Holz sowie Äste und Sträucher werden in der Regel zerkleinert. Bei geringem Mengenaufkommen verbleibt das zerkleinerte Material auf der Fläche. Bei höherem Massenanfall werden die Materialien z. T. für energetische Zwecke weiter veräußert. Dieser Anteil dürfte gegenwärtig in einer Größenordnung zwischen 10 und 20 % des Gesamtaufkommens bei regelmäßig stattfindenden intensiveren Pflegemaßnahmen liegen, was einer Menge zwischen 2.500 und 6.000 t FM entspricht.

Bahnbegleitgrün

Von der Deutschen Bahn Services – Fahrwegdienste – werden nur geringe Arbeitsvolumina selbst ausgeführt [14]. Entweder handelt es sich um leichte Pflegemaßnahmen oder um die Beseitigung akuter Schäden oder Entschärfung von Gefahren.

Intensivere Pflegemaßnahmen werden häufig von Subunternehmern durchgeführt. Die anfallenden holzigen Materialien werden aufgrund vertraglicher Regelungen oft von den Unternehmern beseitigt bzw. verwertet und – bei entsprechender Dimensionierung der holzigen Materialien – auch an Dritte veräußert. Sind sehr schwierige Reliefbedingungen gegeben, verbleiben die Materialien meist auf der Fläche, wenn keine störenden Auswirkungen des belassenen Holzes zu erwarten sind.

Tendenziell fallen entlang der Bahnstrecken in waldreichen Gebieten größere Mengen an Pflegematerialien an als im Bereich der offenen Landschaft. Wie Untersuchungen gezeigt haben [14], liegt der Anteil stärkerer Dimensionen (> 10 cm Durchmesser) nur selten über 20 % der Gesamtmasse, häufig unter 5 %, sodass eine höherwertige Vermarktbarkeit des Holzes oftmals nicht gegeben ist.

Eine genaue Mengenquantifizierung jährlich genutzter holziger Pflegematerialien ist unter den gegebenen Bedingungen nicht darstellbar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in Hessen jährlich weniger als 500 t FM an holzigen Materialien genutzt werden.

Die Qualität der anfallenden Materialien des Bahnbegleitgrüns entspricht weitgehend der des Straßenbegleitgrüns, stärker dimensioniertes Holz der des Waldholzes.

Trassenpflege (Stromversorgung)

Die Durchführung von Pflegemaßnahmen bei gehölzartigem Aufwuchs erfolgt meist durch beauftragte Dienstleister. Besonders auf schwer zugänglichen Trassenabschnitten oder bei geringem Biomasseaufkommen verbleibt das Pflegematerial vor Ort. Bei relativ hohem Mengenaufkommen (z. B. Pflgeturnus 10–20 Jahre) und besseren Materialqualitäten (z. B. höherer Holzanteil durch stärker dimensionierte Bäume) findet heutzutage in Teilbereichen bereits eine Energieholznutzung statt, sofern die Trassenabschnitte mit Maschinenteknik erreichbar sind.

3.1.5.2 Potenziale

In Hessen kann durch Pflegemaßnahmen am holzigen Verkehrsbegleitgrün ein jährliches Mengenaufkommen zwischen 25.000 und 30.000 t FM pro Jahr unterstellt werden, die im Rahmen regelmäßiger, intensiverer Pflegemaßnahmen anfallen. Nicht darin berücksichtigt sind zum einen Mulch-Pflegemaßnahmen an holzigen Schösslingen und Hecken, zum anderen Einzelpflegemaßnahmen an Bäumen bzw. Baumgruppen, bei denen das Material meist auf der Fläche verbleibt oder in Bedarfsfällen abtransportiert werden muss.

Bedingt durch Straßenum- und -neubauten können allerdings auch flächige Räumungen von Waldbereichen und Gehölzbeständen notwendig werden. Je nach Struktur und Alter des Gehölzbestandes können pro Hektar Mengen zwischen 100 und 400 t Frischmasse anfallen. Da Flächenräumungen unterschiedliche Ausmaße haben und nur in unregelmäßigen Zeitabständen erfolgen, lässt sich ein jährliches durchschnittliches Mengenaufkommen kaum abschätzen.

Um die kaum abschätzbaren Mengen, die bei besonderen Maßnahmen am Straßen- und Bahnbegleitgrün anfallen, mit zu berücksichtigen, wird in der folgenden Darstellung (Tab. 9) das maximale Aufkommenspotenzial des technisch nutzbaren Verkehrsbegleitholzes (30.000 t FM) in Ansatz gebracht.

Genaue Angaben über jährlich zu pflegende Trassenflächen unter Stromleitungen in Hessen sind ebenfalls nicht verfügbar, somit kann auch lediglich eine Abschätzung von Aufkommensmengen bzw. technischen Potenzialen vorgenommen werden. Auch diese Mengen begründen die Annahme, dass das maximale Aufkommenspotenzial für die weiteren Berechnungen angesetzt wird.

Bei der Pflege des Verkehrswegebegleitgrüns fallen in Hessen jährlich ca. 30.000 t holzige Materialien mit einem Wassergehalt von 50 % an. Dieses Material hat nach der Trocknung auf einen Wassergehalt von 30 % einen Heizwert von 3,4 MWh je Tonne. Bei der Verwertung in Heizanlagen (Wirkungsgrad 85 %) lassen sich damit rund 62.000 MWh erzeugen. Wie beim Landschaftspflegeholz wird ein gewisser Anteil bereits genutzt. Für die Potenzialbetrachtung wird davon ausgegangen, dass dieser Anteil rund 20 % ausmacht. Es steht somit ein zusätzliches Potenzial von rund 50.000 MWh/a in Hessen zur Verfügung.

Tab. 9: Abschätzung des technischen Potenzials an Verkehrswegebegleitholz (Straßen-, Bahnbegleitgrün, Trassenpflege) in Hessen (WG 50 %)

		Verkehrswegebegleitholz Potenzial	
		[t]	[MWh/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	170	400
	Frankfurt/Main	390	800
	Stadt Offenbach	60	100
	Wiesbaden	290	600
	Bergstraße	870	1.800
	Darmstadt-Dieburg	900	1.900
	Groß-Gerau	360	700
	Hochtaunuskreis	680	1.400
	Main-Kinzig-Kreis	2.190	4.500
	Main-Taunus-Kreis	320	700
	Odenwaldkreis	890	1.800
	Landkreis Offenbach	600	1.200
	Rheingau-Taunus-Kreis	1.150	2.400
	Wetteraukreis	1.140	2.400
Regierungsbezirk Darmstadt	10.010	20.700	
RB Gießen	Gießen	1.210	2.500
	Lahn-Dill-Kreis	2.040	4.200
	Limburg-Weilburg	1.050	2.200
	Marburg-Biedenkopf	1.770	3.700
	Vogelsbergkreis	1.950	4.000
	Regierungsbezirk Gießen	8.020	16.600
RB Kassel	Stadt Kassel	120	200
	Fulda	1.860	3.800
	Hersfeld-Rotenburg	1.710	3.500
	Landkreis Kassel	1.800	3.700
	Schwalm-Eder-Kreis	2.160	4.500
	Waldeck-Frankenberg	2.700	5.600
	Werra-Meißner-Kreis	1.620	3.300
Regierungsbezirk Kassel	11.970	24.600	
Hessen GESAMT		30.000	61.900

3.1.5.3 Entwicklungsperspektiven

Die entlang der Verkehrswege und Versorgungstrassen künftig durchzuführenden Maßnahmen unterliegen, wie in vielen anderen Bereichen, einer gewissen Dynamik, die sich aufgrund geänderter Pflegepläne ergibt.

Sowohl bei der Pflege des Straßenbegleitgrüns als auch des Schienenbegleitgrüns werden im Gegensatz zu früheren Jahren intensivere Pflegemaßnahmen durchgeführt. Da über viele Jahre hinweg relativ wenige Pflegeeingriffe praktiziert wurden, hat sich nach und nach ein Pflegestau aufgebaut, der gegenwärtig und in den nächsten Jahren abgearbeitet wird [14][54]. Daher werden die Aufkommensmengen an Pflegematerialien in den folgenden Jahren auf einem relativ hohen Niveau liegen, dann allmählich zurückgehen und sich auf einem niedrigeren Niveau einpendeln. Beim Schienenbegleitgrün werden allerdings die besonders intensiven Pflegemaßnahmen schon in naher Zukunft abgeschlossen sein.

Bedingt durch höhere Aufkommensmengen im Zuge der Pflegemaßnahmen am Straßenbegleitgrün werden vermehrt holzige Biomassen energetisch genutzt. Einige Dienstleister befassen sich bereits mit der Aufbereitung (Trocknung, Absiebung etc.) der zerkleinerten Materialien, um den Qualitätsstandard zu erhöhen.

3.2 Halmartige Biomasse

Unter dem Begriff halmartige Biomasse wird das aus ein- oder mehrjährigen Nicht-Holz-Pflanzen resultierende organische Aufkommen verstanden [83]. Halmgutbrennstoffe werden demzufolge aus saisonalem Aufwuchs oder aus Rückständen und Nebenprodukten von Feld- und Wiesenkulturen gewonnen [83].

Hier wird unter dem Begriff halmartige Biomasse sowohl der landwirtschaftliche Reststoff Stroh als auch der angebaute nachwachsende Rohstoff Miscanthus behandelt. Die Entwicklung der thermischen Nutzung von Grünlandaufwüchsen ist momentan schwer abschätzbar. Die Universität Kassel führt derzeit das sogenannte ProGrass-Projekt durch, bei dem der Grünlandbiomasse zunächst durch mechanische Entwässerung Presssaft entzogen wird, welcher einer Vergärung zugeführt wird [138]. Der entwässerte Rest soll, nach einer Trocknung mit der BHKW-Abwärme, der Verbrennung zugeführt werden [138]. Die weitere Entwicklung dieses Projekts sowie die gesamte thermische Nutzung von Grünlandaufwüchsen sind mit jetzigem Kenntnisstand nicht einschätzbar, sodass auf eine Ermittlung der Grünlandpotenziale für die thermische Nutzung verzichtet wurde.

Die thermische Nutzung der halmartigen Biomasse in Hessen unterliegt verschiedenen gesetzlichen Regelungen. Die Emissionsgrenzwerte in Heizanlagen mit einer Leistung < 100 kW sind in der 1. BImSchV, bei Anlagen mit Leistungen zwischen 100 kW und 1 MW in der TA Luft festgehalten [111]. Des Weiteren dürfen halmartige Brennstoffe, wie Miscanthus und Stroh, nur in automatisch beschickten Anlagen eingesetzt werden [111].

Im Vergleich zu dem biogenen Brennstoff Holz besitzen halmartige Biomassen ungünstigere Brennstoffeigenschaften, wie Tab. 10 zeigt.

Tab. 10: Brennstoffeigenschaften von Stroh, Miscanthus und Heu im Vergleich zu Holz [40][83]

	Holz (Fichte/Buche)	Getreide- stroh	Rapsstroh	Miscanthus	Heu
Heizwert [MJ/kg]	18,6	17,3	17,1	17,6	16,0
Aschegehalt [%]	0,6	5,3	6,2	3,9	12,5
Ascheerweichungspunkt [°C]	1.426	973	1.273	973	1.061
O-Gehalt [% d. TM]	44,2	42,4	40,0	41,7	39,8
N-Gehalt [% d. TM]	0,2	0,5	0,8	0,7	1,2
K-Gehalt [% d. TM]	0,1	1,3	0,8	0,7	1,5
S-Gehalt [% d. TM]	0,02	0,08	0,27	0,15	0,15
Cl-Gehalt [% d. TM]	0,01	0,32	0,47	0,22	0,85

Durch die relativ hohen Stickstoff- und Schwefelgehalte entstehen erhöhte NO_x- und SO_x-Emissionen im Vergleich zu Holz. Durch den hohen Kaliumgehalt wird die Ascheerweichungstemperatur gesenkt, sodass es zu einer stärkeren Verschlackung kommt. Auch das allgemeine Ascheaufkommen ist höher als bei Holz, sodass die Entaschung der Heizanlage angepasst werden muss. Zudem ist mit höheren Staubemissionen zu rech-

nen. Der hohe Chlorgehalt erhöht zum einen die Korrosionsgefahr, zum anderen kommt es verstärkt zu HCl-Emissionen [87].

3.2.1 Stroh

Der Begriff Stroh ist eine Sammelbezeichnung für ausgedroschene und getrocknete Halme von Feldfrüchten. Strohlieferende Kulturen sind alle Getreidearten, Ölsaaten und Körnerleguminosen. Grundsätzlich kann das gesamte als Kuppelprodukt anfallende Stroh zur Energiegewinnung eingesetzt werden [83]. In Hessen fallen in größeren Mengen vor allem Getreide- und Rapsstroh an, deren Nutzung und Potenziale ermittelt werden.

3.2.1.1 Stand der Nutzung

Teile des anfallenden Strohs werden derzeit in Hessen stofflich verwertet. Hauptsächlich wird Stroh als Einstreu in der Tierhaltung verwendet. Ein weiterer wichtiger Nutzungsschwerpunkt ist der Verbleib auf den landwirtschaftlichen Flächen zum Ausgleich der Humusbilanz. Daneben existieren noch weitere Einsatzgebiete für Stroh wie zum Beispiel die gartenbauliche Nutzung oder die Verarbeitung zu Bau- und Dämmstoffen. Diese haben mengenmäßig jedoch nur eine geringe Bedeutung.

Eine genaue Abschätzung des derzeitigen Stands der energetischen Nutzung von Stroh in Hessen ist aufgrund einer fehlenden Datenbasis für die thermische Nutzung von halmartiger Biomasse nicht möglich. In Deutschland werden mindestens eine Fernwärmeheizanlage in Thüringen (Jena) und schätzungsweise 20 bis 30 kleine Einzelanlagen im Leistungsbereich von 15 bis 100 kW mit Stroh oder getrocknetem Ganzpflanzengetreide beschickt [85][15]. In Hessen findet eine energetische Nutzung derzeit sehr vereinzelt in Form einer Mitverfeuerung in landwirtschaftlichen Kleinfeuerungsanlagen statt [122]. Die eingesetzten Strohmenge sind somit sehr gering und somit zu vernachlässigen [85]. Bis zum jetzigen Zeitpunkt konnten sich Strohfeuerungen in Deutschland aufgrund technischer Probleme (ungünstiges Emissionsverhalten und niedriger Ascheschmelzpunkt) und im Vergleich zu Holz relativ hohen Energieträgerkosten sowie den gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht durchsetzen [38][39][85]. In letzter Zeit ist allerdings, auch bedingt durch die gestiegenen Holz-, Öl- und Gaspreise und stärker ausgeschöpfte Holzpotenziale, das Interesse an der Entwicklung von Verbrennungsanlagen für Stroh und Getreide gestiegen [122]. Dafür spricht auch, dass in einigen hessischen Landkreisen (Pilot)-Projekte laufen, in denen Strohpellets, teilweise mit dem Zusatz anderer Energieträger, für die energetische Nutzung hergestellt werden (z. B. [147]).

3.2.1.2 Potenziale

Um einen Überblick über die potenzielle energetische Nutzung von Stroh in Hessen zu erhalten, muss zunächst das durchschnittliche jährliche Strohaufkommen ermittelt werden.

Im landwirtschaftlichen Wirtschaftsjahr 2006/07 wurden in Hessen rund 305.500 Hektar mit Getreide sowie 65.840 Hektar mit Winterraps bestellt [68]. Für die Erhebung der Daten zur Strohproduktion in Hessen wurde die Hessische Agrarstrukturerhebung 2007 bezüglich der Anbauflächen für Getreide und Raps ausgewertet. In die Auswertung gehen die Getreidearten Winterweizen, Winter- und Sommergerste, Roggen, Triticale und Hafer mit ein. Diese sechs Getreidearten wachsen auf über 98 % der hessischen Getreideanbaufläche [68]. Weitere Getreidearten wie Hartweizen, Emmer oder Menggetreide werden aufgrund des geringen Anbauumfangs nicht berücksichtigt.

Die Erträge der ausgewählten Kulturen wurden den Erntestatistiken des Hessischen Statistischen Landesamtes entnommen. Dafür wurde für jede der aufgeführten Kulturen ein Mittelwert aus den landkreisspezifischen Durchschnittserträgen der Jahre 2005 bis 2007 sowie aus den hessischen Durchschnittserträgen des Jahres 2008 gebildet [66][70]. Anhand dieser Durchschnittserträge der einzelnen Kulturen und deren Korn : Stroh-Verhältnis (vgl. Tab. 11) wurden die durchschnittlichen Stroherträge je Hektar und Jahr landkreisspezifisch ermittelt.

Tab. 11: Korn : Stroh-Verhältnis [91]

	Weizen	Winter- gerste	Sommer- gerste	Roggen	Triticale	Hafer	Raps
Korn : Stroh- Verhältnis	1:0,8	1:0,7	1:0,75	1:0,9	1:0,9	1:1,1	1:1,7

Bei der Ernte und Bergung des Strohens treten Verluste wie Stoppeln oder Bruchverluste auf. Von der auf dem Feld erzeugten Strohmenge wurden demnach 15 % Ernte- und Bergungsverluste bei Getreidestroh und 35 % bei Rapsstroh berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine jährlich bergbare Strohmenge.

Von dieser bergbaren Getreidestrohmenge steht jedoch nur ein gewisser Anteil für die energetische Nutzung zur Verfügung. Rund ein Drittel des Getreidestrohs ist für eine energetische Nutzung unter ökologischen Gesichtspunkten langfristig verfügbar [98]. Somit wurde angenommen, dass hessenweit 30 % des geborgenen Getreidestrohs energetisch genutzt werden könnte [98][85]. Diese Annahme wurde in allen kreisfreien Städten und Landkreisen, die an dem vorab durchgeführten Abstimmungsgespräch teilnahmen, zur Diskussion gestellt. Gegebenfalls erfolgte eine Anpassung auf die regionalen Gegebenheiten: So wurde in den kreisfreien Städten die Strohverfügbarkeit gleich null gesetzt. Das geborgene Stroh wird in diesem Gebiet in der Regel für die Einhaltung der Humusbilanz benötigt, geht in die Freizeittierhaltung (Pferde) oder an Betriebe mit Sonderkulturanbau. Für die anderen Landkreise wurden in Abhängigkeit des Diskussionsergebnisses eine Strohverfügbarkeit von 15 %, 30 % oder 45 % für Getreidestroh angesetzt.

Anbauflächen, Strohaufkommen sowie die durchschnittlichen Verfügbarkeiten sind in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 12: Getreideanbauflächen, Strohaufkommen und verfügbare Menge (FM mit 15 % WG) für eine energetische Nutzung

		Getreide		energ. Nutzung	
		Anbaufläche	Stroh-aufkommen	Ø-Verfüg-barkeit	verfügbare Menge
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	740 ha	2.000 t	0%	0 t
	Frankfurt/Main	2.120 ha	11.000 t	0%	0 t
	Stadt Offenbach	130 ha	400 t	0%	0 t
	Wiesbaden	2.360 ha	11.000 t	0%	0 t
	Bergstraße	6.670 ha	26.000 t	15%	3.900 t
	Darmstadt-Dieburg	10.930 ha	47.000 t	30%	14.100 t
	Groß-Gerau	8.170 ha	31.000 t	15%	4.700 t
	Hochtaunuskreis	5.050 ha	23.000 t	30%	6.900 t
	Main-Kinzig-Kreis	14.790 ha	61.000 t	15%	9.200 t
	Main-Taunus-Kreis	3.760 ha	17.000 t	30%	5.100 t
	Odenwaldkreis	3.600 ha	15.000 t	30%	4.500 t
	Landkreis Offenbach	2.950 ha	12.000 t	15%	1.800 t
	Rheingau-Taunus-Kreis	7.600 ha	32.000 t	45%	14.400 t
	Wetteraukreis	25.800 ha	128.000 t	30%	38.400 t
Regierungsbezirk Darmstadt	94.670 ha	416.400 t	25%	103.000 t	
RB Gießen	Gießen	14.310 ha	62.000 t	30%	18.600 t
	Lahn-Dill-Kreis	5.680 ha	21.000 t	30%	6.300 t
	Limburg-Weilburg	14.110 ha	62.000 t	30%	18.600 t
	Marburg-Biedenkopf	21.100 ha	98.000 t	30%	29.400 t
	Vogelsbergkreis	20.300 ha	91.000 t	30%	27.300 t
Regierungsbezirk Gießen	75.500 ha	334.000 t	30%	100.200 t	
RB Kassel	Stadt Kassel	250 ha	1.000 t	0%	0 t
	Fulda	18.250 ha	75.000 t	15%	11.300 t
	Hersfeld-Rotenburg	14.290 ha	60.000 t	30%	18.000 t
	Landkreis Kassel	25.700 ha	124.000 t	30%	37.200 t
	Schwalm-Eder-Kreis	36.300 ha	179.000 t	30%	53.700 t
	Waldeck-Frankenberg	25.650 ha	114.000 t	30%	34.200 t
	Werra-Meißner-Kreis	14.890 ha	66.000 t	30%	19.800 t
Regierungsbezirk Kassel	135.330 ha	619.000 t	28%	174.200 t	
Hessen GESAMT	305.500 ha	1.369.000 t	28%	377.400 t	
Verfügbare Potenziale bei Berücksichtigung des ausgeweiteten Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen (- 10 %)				339.700 t	

Insgesamt fielen im Jahr 2007 in Hessen knapp 1,4 Mio. t Getreidestroh an. Die durchschnittliche Verfügbarkeit des Getreidestrohs zur energetischen Nutzung im gesamten Bundesland liegt bei 28 % des anfallenden bergbaren Strohs. Dabei liegt die durchschnittliche Verfügbarkeit erwartungsgemäß im relativ dicht besiedelten Regierungsbezirk Darmstadt mit 25 % am niedrigsten; der Regierungsbezirk Gießen weist eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 30 % auf, der Regierungsbezirk Kassel von 28 %.

Für Rapsstroh wurde eine energetische Verfügbarkeit von 10 % der erzeugten bergbaren Gesamtmenge angesetzt. Im Regelfall wird Rapsstroh während der Ernte kurz gehäckselt und verbleibt auf der Fläche. Diese Vorgehensweise bringt Vorteile mit sich, da das Rapsstroh zur Humusreproduktion beiträgt und relativ hohe Nährstoffgehalte (der N-Gehalt ist ungefähr doppelt so hoch wie im Getreidestroh) aufweist. Zudem ist die Bergung technisch aufwendiger als bei Stroh. Bei entsprechenden Preisen ist eine höhere

Bereitschaft der Landwirte, Rapsstroh bereitzustellen, anzunehmen. Aus ökologischen Gründen wird jedoch zunächst keine Erhöhung der energetischen Verfügbarkeit angesetzt. Da Rapsstroh keiner direkten Nutzungskonkurrenz (z. B. durch Pferde oder bei Sonderkulturen) unterliegt, wird für alle Gebiete von einer 10-%igen Verfügbarkeit ausgegangen. Das verfügbare Rapsstrohpotenzial ist Tab. 13 aufgeführt.

Tab. 13: Rapsanbauflächen, Strohaufkommen und verfügbare Menge (FM mit 15 % WG) für eine energetische Nutzung

		Raps		energ. Nutzung
		Anbaufläche	Strohaufkommen	verfügbare Menge
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	k. A.	k. A.	
	Frankfurt/Main	300 ha	1.000 t	100 t
	Stadt Offenbach	k. A.	k. A.	
	Wiesbaden	370 ha	2.000 t	200 t
	Bergstraße	340 ha	1.000 t	100 t
	Darmstadt-Dieburg	1.610 ha	6.000 t	600 t
	Groß-Gerau	880 ha	4.000 t	400 t
	Hochtaunuskreis	1.080 ha	5.000 t	500 t
	Main-Kinzig-Kreis	2.500 ha	11.000 t	1.100 t
	Main-Taunus-Kreis	560 ha	2.000 t	200 t
	Odenwaldkreis	430 ha	2.000 t	200 t
	Landkreis Offenbach	440 ha	2.000 t	200 t
	Rheingau-Taunus-Kreis	2.650 ha	11.000 t	1.100 t
	Wetteraukreis	5.850 ha	25.000 t	2.500 t
Regierungsbezirk Darmstadt		17.010 ha	72.000 t	7.200 t
RB Gießen	Gießen	3.780 ha	15.000 t	1.500 t
	Lahn-Dill-Kreis	1.030 ha	4.000 t	400 t
	Limburg-Weilburg	3.730 ha	15.000 t	1.500 t
	Marburg-Biedenkopf	4.040 ha	17.000 t	1.700 t
	Vogelsbergkreis	4.220 ha	17.000 t	1.700 t
	Regierungsbezirk Gießen	16.800 ha	68.000 t	6.800 t
RB Kassel	Stadt Kassel	50 ha	200 t	0 t
	Fulda	3.530 ha	14.000 t	1.400 t
	Hersfeld-Rötenburg	3.250 ha	13.000 t	1.300 t
	Landkreis Kassel	6.710 ha	27.000 t	2.700 t
	Schwalm-Eder-Kreis	8.430 ha	35.000 t	3.500 t
	Waldeck-Frankenberg	5.820 ha	22.000 t	2.200 t
	Werra-Meißner-Kreis	4.240 ha	17.000 t	1.700 t
Regierungsbezirk Kassel	32.030 ha	128.200 t	12.800 t	
Hessen GESAMT		65.840 ha	268.000 t	27.000 t
Verfügbare Potenziale bei Berücksichtigung des ausgeweiteten Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen (- 10 %)				24.300 t

Die Entwicklung des verfügbaren Strohaufkommens zur energetischen Nutzung wird durch den verstärkten Energiepflanzenanbau (vgl. Kapitel 4.1.2) beeinflusst. Es ist anzunehmen, dass der erhöhte Flächenbedarf für den Energiepflanzenanbau zum größten Teil durch einen verringerten Getreideanbau kompensiert wird. Des Weiteren wird der Anteil des angebauten Energierapses zu Gunsten von einjährigen Energiepflanzen zurückgehen. Somit fällt auch insgesamt weniger Stroh an, selbst wenn der Stroher-

trag und die -bergungsrate (je Hektar) gesteigert werden könnte. Da im Sinne der Humusbilanz nicht beliebig viel Stroh von den Flächen abgeführt werden kann, wird sich die Strohverfügbarkeit für eine energetische Nutzung verringern. Für die weitere Potenzialberechnung wird davon ausgegangen, dass bis 2020 insgesamt 10 % weniger Stroh für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht. Das Strohpotenzial für das Jahr 2020 wird demzufolge rund 365.000 t betragen.

Der Heizwert für Getreide- und Rapsstroh liegt bei einem Wassergehalt von 15 % bei 4 MWh/t Material. Bei einem unterstellten Wirkungsgrad dezentraler Feuerungsanlagen von 80 % könnten demzufolge, mit der für die energetische Nutzung verfügbaren Strohmenge, knapp 1.170 GWh im Jahr erzeugt werden.

3.2.1.3 Entwicklungsperspektiven

Die Entwicklung der energetischen Strohnutzung ist von vielen Faktoren abhängig. Einerseits wird von der landwirtschaftlichen Seite voraussichtlich aufgrund rückgängiger Tierbestände sowie einer Tierkonzentration in größeren Beständen und somit einer vermehrten einstreulosen Haltung weniger Stroh benötigt. Zum Ausgleich der Humusbilanz wird andererseits hingegen mehr Stroh benötigt, da zum einen der Maisanbau, auch zur energetischen Nutzung, ausgeweitet werden wird, zum anderen kann es durch wärmere Winter zu einer stärkeren Humuszehrung kommen. Zudem sind die EU-Direktzahlungen an die landwirtschaftlichen Betriebe unter anderem auch an eine ausgeglichene Humusbilanz gekoppelt. Es ist auch nicht auszuschließen, dass bei Getreide zukünftig, ähnlich wie heute schon beim Mais, das Zuchtziel verstärkt auf den Gesamtertrag (Korn und Stroh) ausgerichtet werden wird [13].

Im Bereich der energetischen Strohnutzung ergeben sich zukünftig vermutlich zwei Nutzungsrichtungen. Die eine Nutzungsrichtung ist eine optimierte Nutzung von Stroh als Brennstoff. Bei der zweiten Nutzungsrichtung wird Stroh als Rohstoff zur Erzeugung von Kraftstoffen der zweiten Generation dienen.

Im Bereich der thermischen Verwertung von Stroh verhindern zurzeit, neben den immer noch nicht vollständig gelösten technischen Schwierigkeiten, relativ strenge rechtliche Rahmenbedingungen eine vermehrte energetische Nutzung [87]. Zudem bewegt sich die Preisstruktur für Stroh auf einem ähnlich hohen Niveau wie die für Holzbrennstoffe. Zur Zeit liegen die Strohpreise in Hessen frei Feldrand in der Größenordnung von 50 €/t, bei Lieferung frei Anlage ist mit 80 € bis 100 € zu rechnen. Die Entwicklung der Strohpreise in Hessen in den letzten sechs Jahren ist in Abb. 7 dargestellt.

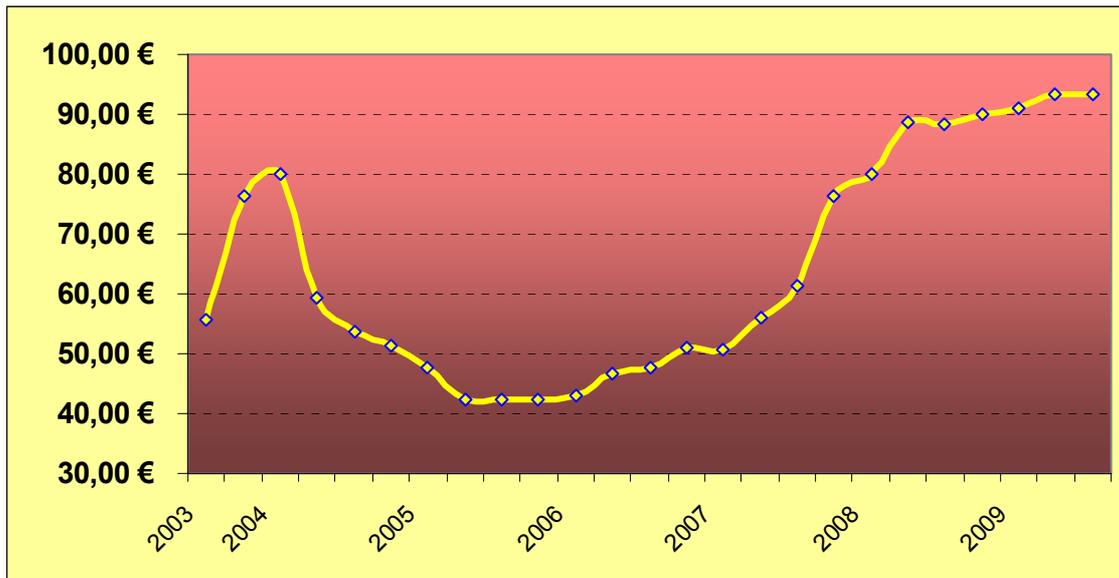


Abb. 7: Entwicklung der Strohpreise (frei Anlage) in Hessen von 2003 bis 2009 (eigene Zusammenstellung nach [92])

Der Nutzung von aufgearbeitetem Stroh, zum Beispiel in der Form von Strohpellets, werden im Vergleich zu unaufbereitetem Stroh bessere Nutzungschancen eingeräumt [87]. Zum einen können damit die Brennstoffeigenschaften verbessert werden, zum anderen weisen Strohpellets bessere Transport-, Lager- und Brennstoffeigenschaften als loses oder gepresstes Stroh auf. Die energetische Nutzung von Stroh zur Beheizung ist in Dänemark besonders weit fortgeschritten; hier wird etwa ein Viertel des Strohaufwuchses energetisch genutzt [13].

Stroh wird, neben Holz und Gras, als Rohstoff zur Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation gehandelt. Die Rohstoffbasis ist Lignozellulose. Einige Verfahren werden bereits in größeren Pilotanlagen realisiert. Es ist mittelfristig mit der Realisierung größerer Projekte zu rechnen [103][1]. Weitere Informationen zu diesem Themenbereich sind in Kapitel 5.3 zu finden.

3.2.2 Miscanthus

Miscanthus, auch als Chinaschilf oder Elefantengras bezeichnet, stammt ursprünglich aus dem asiatischen Raum. Seit einiger Zeit werden in Mitteleuropa Anbauversuche für eine thermische Nutzung der Biomasse unternommen, da Miscanthus aufgrund seiner Eigenschaft als C₄-Pflanze ein hohes Biomassewachstum aufweist, als mehrjährige Kultur jährlich geerntet werden kann und bei der Ernte am Ende des Winters hohe Trockenmassegehalte aufweist.

3.2.2.1 Stand der Nutzung

Im Jahr 2008 wurde in Hessen auf mindestens 80 ha Miscanthus angebaut [96]. Diese Angaben sind den Anträgen für die EU-Betriebsprämien entnommen [96]. Die tatsächliche Anbaufläche kann, ähnlich wie bei den Kurzumtriebsplantagen, jedoch größer sein. Diese Einschätzung teilen auch befragte Miscanthuserzeuger [12].

Die Nutzung von Miscanthus kann stofflich oder energetisch erfolgen. Stofflich wird Miscanthus ein hohes Nutzungspotenzial als Ausgangsstoff für den Innenausbau und die Dämmung im Bauwesen zugeschrieben [49]. Auch als Einstreu für die Pferde- und

Kleintierhaltung ist der Rohstoff Miscanthus im Gespräch [49][146]. Weitere stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind der Einsatz als Mulchmaterial im Gartenbau sowie die Aufbereitung als Kunststoffersatz oder zur Papierherstellung [49].

Des Weiteren kann Miscanthus, ähnlich wie Stroh, thermisch genutzt werden. Eine energetische Nutzung von Miscanthus in Biogasanlagen ist nicht anzuraten. Für einen Einsatz als Biogassubstrat müsste die Pflanze als grüne Biomasse im Sommer geerntet werden, was zu Ertragsdepressionen führt [50]. Auch sind die zu erwartenden Biogaserträge niedriger als bei der Vergleichsfrucht Mais anzusetzen [49].

Selbst unter optimalen Voraussetzungen (Anbau auf 100 ha, alle Bestände schon beerntbar, hohe Erträge mit 20 t/ha), fallen zurzeit in Hessen lediglich 2.000 t Miscanthus an [88][96]. Zum Vergleich: Die anfallende Getreidestrohmengende liegt mit rund 1,2 Mio. t um mehr als das 600-fache höher. Sowohl die stoffliche als auch die energetische Nutzung von Miscanthus dürfte sich somit derzeit noch auf einem sehr niedrigen Niveau befinden.

3.2.2.2 Potenziale

In Hessen werden rund 486.000 ha als Ackerflächen bewirtschaftet. Bei Berücksichtigung von ökonomisch interessanten Kulturen sowie dem Flächenbedarf für die Tierfütterung stehen circa 109.300 ha Fläche für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung. Eine detaillierte Herleitung des Flächenpotenzials ist in Kapitel 4.1.2.2 zu finden. Auf einem Teil dieser Energiepflanzenanbaufläche kann auch Miscanthus angebaut werden. Zur weiteren Potenzialberechnung wird davon ausgegangen, dass 7 % der verfügbaren Energiepflanzenanbaufläche mit Miscanthus bestellt wird, davon werden 5 % einer energetischen und 2 % einer stofflichen Nutzung zugeführt. Dieser Flächenanteil entspricht etwa 7.700 ha in Hessen; für den Anbau von Miscanthus zur energetischen Nutzung stünden demnach rund 5.500 ha zur Verfügung. Bei einem Durchschnittsertrag von 15 t TS/ha*a könnten hessenweit jährlich rund 84.000 t TS Miscanthus für eine energetische Nutzung erzeugt werden. Eine detaillierte Übersicht gibt Tab. 14.

Tab. 14: Abschätzung verfügbarer Flächenanteile für den Miscanthusanbau sowie dessen potenzielle Erträge (in TM) in Hessen

		verfügbare Ackerfläche f. Energiepflanzen			davon für die energetische Nutzung	
		[ha]	Miscanthus [ha]	[t/a]	[ha]	[t/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	300	20	300	20	300
	Frankfurt/Main	800	60	900	40	600
	Stadt Offenbach	100	10	200	10	200
	Wiesbaden	900	60	900	50	800
	Bergstraße	2.300	160	2.400	120	1.800
	Darmstadt-Dieburg	4.300	300	4.500	220	3.300
	Groß-Gerau	3.100	220	3.300	160	2.400
	Hochtaunuskreis	1.900	130	2.000	100	1.500
	Main-Kinzig-Kreis	3.800	270	4.100	190	2.900
	Main-Taunus-Kreis	1.400	100	1.500	70	1.100
	Odenwaldkreis	900	60	900	50	800
	Landkreis Offenbach	1.100	80	1.200	60	900
	Rheingau-Taunus-Kreis	3.300	230	3.500	170	2.600
	Wetteraukreis	10.100	710	10.700	510	7.700
	Regierungsbezirk Darmstadt	34.300	2.410	36.400	1.770	26.900
RB Gießen	Gießen	6.000	420	6.300	300	4.500
	Lahn-Dill-Kreis	2.300	160	2.400	120	1.800
	Limburg-Weilburg	5.700	400	6.000	290	4.400
	Marburg-Biedenkopf	8.300	580	8.700	420	6.300
	Vogelsbergkreis	5.400	380	5.700	270	4.100
	Regierungsbezirk Gießen	27.700	1.940	29.100	1.400	21.100
RB Kassel	Stadt Kassel	100	10	200	10	200
	Fulda	4.700	330	5.000	240	3.600
	Hersfeld-Rotenburg	4.000	280	4.200	200	3.000
	Landkreis Kassel	10.600	740	11.100	530	8.000
	Schwalm-Eder-Kreis	14.500	1.020	15.300	730	11.000
	Waldeck-Frankenberg	6.800	480	7.200	340	5.100
	Werra-Meißner-Kreis	6.600	460	6.900	330	5.000
	Regierungsbezirk Kassel	47.300	3.320	49.900	2.380	35.900
Hessen GESAMT	109.300	7.670	115.400	5.550	83.900	

Der geerntete Miscanthus besitzt, in Abhängigkeit des TS-Gehalts (80 bis 85 %), einen Heizwert von 3,9 bis 4 MWh_{th}/t. Bei der Verbrennung in einem Heizkessel, der sich für die Verfeuerung von halmartiger Biomasse eignet und einen thermischen Wirkungsgrad von 80 % hat, ergibt sich ein erzeugbares Energiepotenzial von rund 309.000 MWh_{th} jährlich. Dieses Potenzial wird zurzeit schätzungsweise nur in sehr geringem Umfang genutzt. Unter den in Kapitel 3.2.2.1 beschriebenen Voraussetzungen fallen hessenweit rund 2.000 Tonnen Miscanthus an. Falls die gesamt anfallende Menge energetisch genutzt wird, ergibt sich, unter den gleichen Voraussetzungen für die Verbrennung wie oben beschrieben, eine erzeugte Energiemenge von etwa 4.600 MWh/a.

Zu bedenken ist, dass die Energiedichte von Miscanthus im Vergleich zu Holz oder Heizöl niedriger ist. So wird beim Einsatz von gehäckseltem Miscanthus ein Kubikmeter Häckselgut benötigt, um 44 Liter Heizöl zu ersetzen [50]. Beim Einsatz von gepressten Miscanthus-Quaderballen verbessert sich die Bilanz: hierbei werden mit einem Kubikmeter rund 65 Liter Heizöl ersetzt [50]. Sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten sind demnach möglichst kurze Transportwege sowie ein ausrei-

chender Lagerraum (Erntezeitpunkt zum Ende der Heizperiode von Februar bis April) wichtige Voraussetzungen für den Anbau.

3.2.2.3 Entwicklungsperspektiven

Befragte Erzeuger berichten derzeit von einer großen Nachfrage nach Miscanthus-Rhizomen aus ganz Europa [12]. Es ist zu erwarten, dass auch in Hessen die Miscanthusanbaufläche in der nächsten Zeit steigen wird. Grundsätzlich wird demnach sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung zunehmen. Ein Nutzungsschwerpunkt ist zurzeit noch nicht klar ersichtlich.

Die Entwicklungsperspektiven für Miscanthus ähneln den Perspektiven für Stroh. Auch hier kann eine thermische Nutzung erfolgen bzw. eine Aufbereitung zu Biokraftstoffen der zweiten Generation. Verbrennungstechnisch besitzt Miscanthus bessere Verbrennungseigenschaften als Stroh (geringere CO-Emissionen, geringerer Kaliumgehalt, weniger Ascheanfall; vgl. Tab. 10) [87]. Dennoch muss auch bei der Verfeuerung von Miscanthus die Anlage an den Brennstoff angepasst sein. Solche Anlagen sind am Markt verfügbar, belastbare Erfahrungen im Dauerbetrieb sind jedoch noch gering.

3.3 Feste Brennstoffe aus Abfall

Im Rahmen der Abfallwirtschaft werden durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger Stoffstrommengen gesammelt, die biogene Reststoffe enthalten. Ein Teil dieser Reststoffe, die sogenannten Festbrennstoffe, eignet sich für die thermische Verwertung (Verbrennung).

Zu diesen Festbrennstoffen gehören naturbelassene Hölzer aus Grünabfällen (Hol- und Bringsystem) und Gebrauchthölzer, die z. B. durch Sperrmüllsammlungen erfasst werden. Daneben fallen in größeren Mengen Althölzer, z. B. aus Abbrucharbeiten, an. Generell gelten nur noch Althölzer, die nicht mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, als Biomasse. Für bestehende Altanlagen gelten Ausnahmen. Mit PCP und PCT behandelte Hölzer mit einem Anteil von über 0,005 % der Chemikalie sind grundsätzlich ausgeschlossen [137].

In dem als Hausmüll erfassten Restabfall sind neben geringen Mengen an Holz auch andere feste biogene Bestandteile enthalten. Dazu gehören frische Materialien und solche biogenen Ursprungs wie Papier und Pappe.

3.3.1 Altholz

Landesstatistiken mit der Dokumentation des Altholzaufkommens sind für Hessen nicht verfügbar. In der jährlich erscheinenden Abfallmengenbilanz wird dieser Stoffstrom nicht näher behandelt. Der Anteil von Holz im Hausmüll ist mit 1,3 % sehr gering [95], im Gewerbemüll liegt er bei etwa 14 %. Werden nur die Holzanteile dieser beiden Stoffströme zusammengeführt, ergibt sich ein Pro-Kopf-Aufkommen an Altholz von unter 10 kg pro Jahr.

Generell werden beim Altholz vier Qualitätsklassen unterschieden [23]:

1. Klasse A1: Unbehandeltes Holz bzw. nur mechanisch behandeltes Holz (gesägt, gehackt etc.) ohne Verunreinigung mit holzfremden Stoffen, z. B. Bretter, unbehandeltes Naturholzmöbel (unverleimt), Brennholzreste etc.
2. Klasse A2: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen oder Holzschutzmittel, z. B. Tischlerplatten, furnierte Möbel, Paneelen, Spanplatten, Parkett etc.

3. Klasse A3: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel, z. B. Küchenarbeitsplatten, Möbel mit Resopalbeschichtung etc.
4. Klasse A4: Altholz, das mit Holzschutzmitteln behandelt wurde, z. B. Bahnschwellen, Leitungsmasten, Rebpfähle, Jägerzäune, Fensterrahmen, Außentüren etc.

Die Sortierung von Althölzern erfolgt auf der Grundlage der Altholzverordnung aus dem Jahr 2003. Die energetische Verwertung von Althölzern ist abhängig vom Behandlungsgrad der Hölzer bzw. von der jeweiligen Altholzklasse. Der Einsatz von Gebrauchthölzern in entsprechenden Heiz(kraft)werken richtet sich somit nach den jeweils zugelassenen Altholzklassen.

3.3.1.1 Stand der Nutzung

Das Altholzaufkommen lag 2007 bundesweit bei rund 8 Mio. t (entspricht einem Pro-Kopf-Aufkommen von 97 kg pro Einwohner und Jahr), wenn Sägeresthölzer nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden [22]. Diese Menge setzt sich zusammen aus:

- Holz aus Bau- und Abbruchabfällen (3,03 Mio. t)
- holzartiges Sperrgut und Altmöbel (2,89 Mio. t)
- Verpackungsrestholz (0,97 Mio. t)
- Holz aus Außenanwendung (0,7 Mio. t)
- sonstige Althölzer (0,4 Mio. t)

Von dieser Menge sind die Exporte zur stofflichen oder energetischen Verwertung (1,4 Mio. t) zu subtrahieren. Von den verbleibenden 6,6 Mio. t sind rund 1,5 Mio. t stofflich genutzt worden. Nach Aussagen des Bundesverbands deutscher Altholzaufbereiter und -verwerter wurden im Jahr 2007 bundesweit knapp 5,2 Mio. t Althölzer energetisch genutzt [37]. Dieser Wert hat sich damit gegenüber dem Zeitraum vor 2005 nahezu verdoppelt.

Da die Deponierung von Altholz seit dem 01.06.2005 aufgrund der Novellierung der TASI nicht mehr erlaubt ist und zudem durch die Novellierung des EEG die Altholzverwertung in Biomassekraftwerken ermöglicht worden ist, dürften auch keine bedeutsamen Mengen mehr im Bereich der Müllverbrennung behandelt werden [139], sofern andere Anlagen die Emissionsschutzaufgaben erfüllen. Dieser Teilstrom umfasste vor den entsprechenden Gesetzesänderungen ein Kontingent von rund 2,8 Mio. t Altholz. Nach [118] decken Biomasse(heiz)kraftwerke zu ca. 65 % ihres Brennstoffbedarf aus Althölzern.

Während vor einigen Jahren die Entsorgung von Althölzern mit z. T. hohen Kosten verbunden waren, ist die gegenwärtige Situation deutlich anders zu beurteilen: Die Preise für Althölzer liegen für A1-Holzhackschnitzel (0–150 mm) zwischen 25 und 35 €/t. Im Bereich A2/A3-Holzhackschnitzel sind zwischen 9 und 30 €/t zu Erlösen, bei vorgebrochenem Holz müssen z. T. geringe Entsorgungskosten getragen werden. Auch die Zuzahlungen für die Entsorgung von A4-Holz sind deutlich geschrumpft.

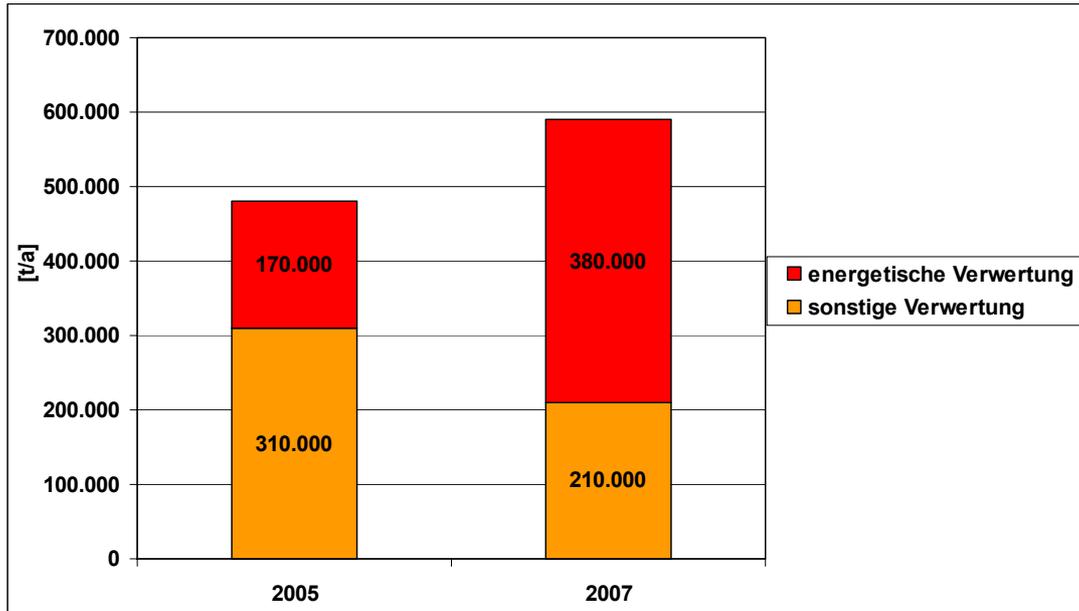


Abb. 8: Auf Basis des einwohnerspezifischen Aufkommens hochgerechnetes Altholzaufkommen in Hessen und dessen Verwertung (vor und nach Umsetzung der TAsi 2005)

Wird das bundesweite Altholzaufkommen je Einwohner (97 kg) für das Bundesland Hessen in Ansatz gebracht [22], ergibt sich eine separat erfasste Altholzmenge von rund 590.000 t pro Jahr. Dem Bereich der Abfallentsorgung, wie z. B. Sperrmüll und getrennt gesammelte Altholz mengen, ist ein Anteil von rund einem Drittel zuzuordnen (30–35 kg pro Einwohner und Jahr).

Wird weiterhin davon ausgegangen, dass ein ähnlich hoher Anteil wie im Bundesschnitt (ca. 63 kg pro Einwohner und Jahr) energetisch genutzt wird, lässt sich für Hessen ein jährliches Kontingent von rund 380.000 t für diese Art der Verwertung herleiten (Abb. 8). Allerdings ist das einwohnerspezifische Altholzaufkommen nur ein vergleichsweise grober Indikator, da das Aufkommen stark mit den Aktivitäten der Bauwirtschaft korreliert (vgl. 3.3.1.3).

3.3.1.2 Potenziale

Vor Umsetzung der TAsi (bis 2005) wurden noch Altholz mengen in einer Größenordnung von 2,6 Mio. t in Deutschland deponiert. Diese Menge umfasste mehr als 70 % des Kontingents, was damals von [95] als zusätzlich verfügbares Potenzial eingestuft wurde. Wie die nachfolgende zeitliche Entwicklung gezeigt hat, ist deutlich mehr Altholz erfasst und energetisch verwertet worden. Damit ist gegenwärtig kein zusätzlich verfügbares Mengenpotenzial vorhanden.

3.3.1.3 Entwicklungsperspektiven

Wie der Fachverband Altholz und Ersatzbrennstoffe jüngst informierte, wirken sich wirtschaftliche Krisen auch auf das Altholzaufkommen aus: Beispielsweise sind im Jahr 2009 die Erfassungsmengen um bis zu 25 % zurückgegangen [36][37]. Damit dürfte sich zumindest mittelfristig im Bereich der energetischen Nutzung von Altholz ein Defizit auftun.

Bei einer deutlichen Verbesserung der wirtschaftlichen Situation könnte wiederum mehr Altholz für die energetische Verwertung zur Verfügung stehen.

3.3.2 Biogene Anteile im Hausmüll

Die in der Restmülltonne verbleibenden biogenen Anteile (nativ-organische Abfälle) werden in Deutschland zu etwa 70 % thermisch behandelt. Daraus resultiert zwar eine Energieerzeugung im Verbrennungsprozess, die aber durch den hohen Wassergehalt der nativ-organischen Abfälle spezifisch niedrig liegt. Darüber hinaus stehen diese Abfälle für eine stoffliche Nutzung nicht mehr zur Verfügung.

Wie in den letzten Jahren durchgeführte Analysen gezeigt haben, ist der Anteil direkter biogener Reste im Hausmüll abhängig vom Vorhandensein der Biotonne [142]:

- örE, die über eine Biotonne verfügen: mittlerer Organikanteil im Hausmüll 30 Gew.-%
- örE ohne Biotonne: mittlerer Organikanteil im Hausmüll 40 Gew.-%

Dieses Organikpotenzial umfasst alle im Hausmüll enthaltenen nativ-organischen Bestandteile. Dazu zählen auch Materialien, die nicht für eine separate Sammlung geeignet oder erfassbar sind, wie z. B. verpackte Lebensmittel oder Organik in der Feinfraktion (Kehricht).

Basierend auf der verfügbaren Abfallbilanz des Landes Hessen [55] wird im Folgenden der im Hausmüll enthaltene biogene Anteil je Landkreis errechnet. Als Grundlage dient der vom BMU [9] aufgezeigte Wert (50 %) für den biogenen Anteil, der sich auf die aus dem Abfall produzierte Energie (Strom, Wärme) bezieht.

Dieser Prozentsatz umfasst alle direkten biogenen Reste (z. B. Küchenabfälle, Grünabfälle, Holz etc.) sowie weitere Materialien biogenen Ursprungs (z. B. Pappe, Papier, Textilienreste, Lederreste etc.) sowohl im Hausmüll als auch im Sperrmüll (z. B. Möbelholz, Textilien) und in haushaltsähnlichen Gewerbeabfällen.

3.3.2.1 Stand der Nutzung

Von den rund 1,1 Mio. t in Hessen erfassten Mengen an Hausmüll werden fast 70 % energetisch verwertet bzw. thermisch behandelt. Im Bereich des Sperrmüllaufkommens wird eine solche Verwertung/Behandlung bei fast 44 % des Aufkommens erreicht, beim Gewerbeabfall liegt der Anteil bei fast 64 %, wie Abb. 9 auch verdeutlicht.

Die Verwertung bzw. Behandlung der genannten Stoffströme erfolgt entweder in Müllheizkraftwerken (MHKW), die in Hessen eine Gesamtkapazität von 1,137 Mio. t/a umfassen, oder in Anlagen, die Ersatzbrennstoffe einsetzen. Die EBS-Kapazitäten liegen mit ca. 653.000 t pro Jahr darunter. Summarisch betrachtet liegen die hessischen EBS- und MHKW-Kapazitäten bereits heute deutlich über dem Niveau anfallender Abfallmengen in den Bereichen Haus-, Sperr- und Gewerbeabfall. Dies bedeutet, dass Abfälle aus anderen Bundesländern in Hessen behandelt bzw. verwertet werden.

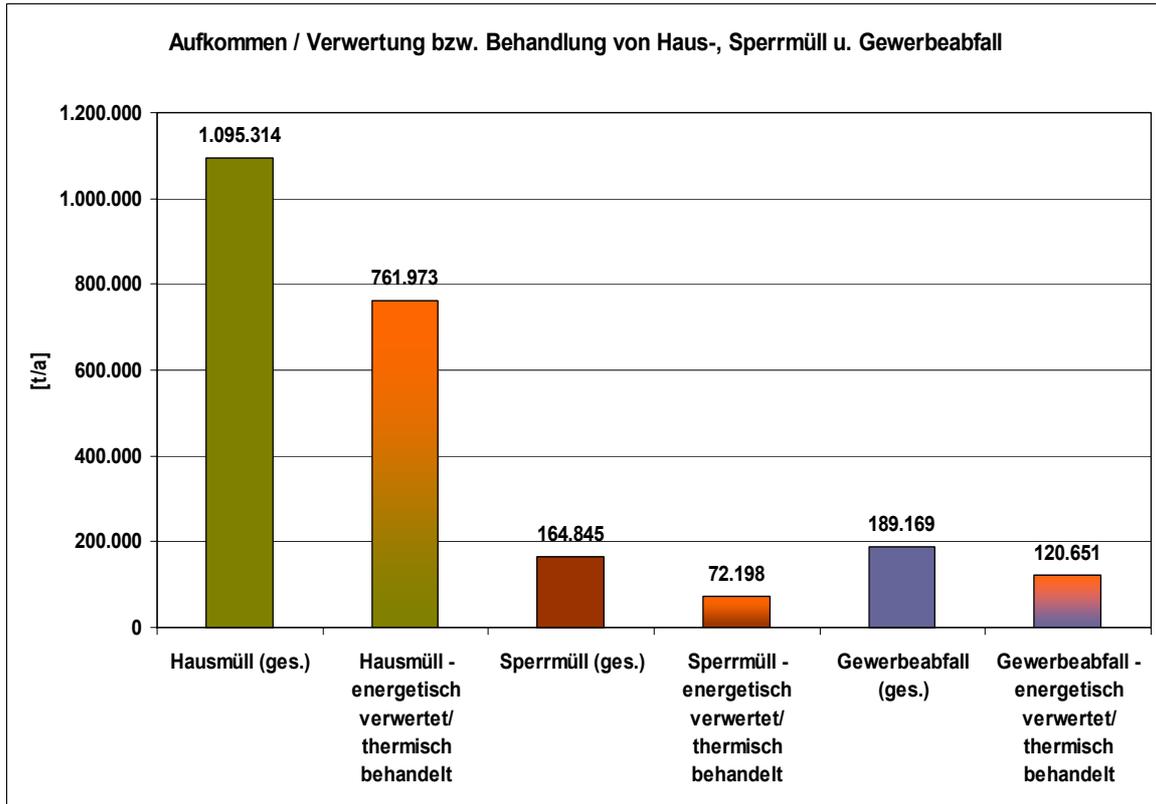


Abb. 9: Aufkommen, Verwertung bzw. Behandlung von Haus-, Sperrmüll und Gewerbeabfall in Hessen [55]

Da die Abfallströme, die im MHKW behandelt werden, meist keine Vorbehandlung erfahren, wird 50 % der produzierten Strom- und Wärmeenergie dem biogenen Anteil zugeschrieben. Die Materialien, die in EBS-Kraftwerken eingesetzt werden, sind bereits vorbehandelt; hier liegt der biogene Anteil bei nur 20 %. Zudem ist das Material deutlich trockener, sodass von einem mittleren Wassergehalt von 20 % auszugehen ist.

In der nachfolgenden Tab. 15 sind neben den vorgenannten Anlagenkapazitäten auch die genutzten Mengen an Strom und Wärme aufgeführt, die aus dem biogenen Anteil des Abfalls stammen.

Tab. 15: Jährliche EBS- und MKHW-Kapazitäten in Hessen 2008 sowie die aus dem biogenen Anteil im Abfall erzeugten und genutzten Mengen an Strom (Einspeisung) und Wärme (Fernwärmenutzung)

		EBS - Kapazitäten	Strom- einspeisung	Dampf-/ Wärme- nutzung	MHKW Kapazitäten	Strom- einspeisung	Fernwärme- nutzung
		[t]	[MWh]	[MWh]	[t]	[MWh]	[MWh]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt				212.000	17.000	25.000
	Frankfurt/Main				525.000	61.000	105.000
	Stadt Offenbach				250.000	26.000	95.000
	Wiesbaden						
	Bergstraße						
	Darmstadt-Dieburg						
	Groß-Gerau						
	Hochtaunuskreis						
	Main-Kinzig-Kreis						
	Main-Taunus-Kreis						
	Odenwaldkreis						
	Landkreis Offenbach						
	Rheingau-Taunus-Kreis						
	Wetteraukreis						
	Regierungsbezirk Darmstadt					987.000	104.000
RB Gießen	Gießen	40.000	5.000	19.000			
	Lahn-Dill-Kreis						
	Limburg-Weilburg						
	Marburg-Biedenkopf						
	Vogelsbergkreis						
	Regierungsbezirk Gießen	40.000	5.000	19.000			
RB Kassel	Stadt Kassel				150.000	28.000	80.000
	Fulda						
	Hersfeld-Rotenburg	273.000	32.000	128.000			
	Landkreis Kassel						
	Schwalm-Eder-Kreis						
	Waldeck-Frankenberg	76.000	9.000	36.000			
	Werra-Meißner-Kreis	265.000	31.000	124.000			
	Regierungsbezirk Kassel	614.000	72.000	288.000	150.000	28.000	80.000
Hessen GESAMT	654.000	77.000	307.000	1.137.000	132.000	305.000	

unterstellte Anlagenwirkungsgrade:

EBS-Kraftwerk: 15 % elektrisch und 60 % thermisch

MHKW: 13 % elektrisch und 60 % thermisch; von der anfallenden Wärme wird 50 % genutzt

Insgesamt werden durch die energetische Nutzung des biogenen Anteils im Abfall fast 209.000 MWh Strom jährlich eingespeist und rund 612.000 MWh an Wärme (einschl. Dampf) genutzt. Dabei wurde für die EBS-Kraftwerke ein reduzierter Energieertrag für den biogenen Anteil eingerechnet, da durch die Aufbereitung von einer Anreicherung der Materialien fossilen Ursprungs (Kunststoffe) auszugehen ist. Würde der aus dem biogenen Anteil im Restmüll erzeugte Energieanteil von 50 % (nach BMU) in Ansatz gebracht, ergäbe sich eine Erhöhung um das 2,5-fache für die in EBS-Kraftwerken produzierten Strom- und Wärmemengen.

3.3.2.2 Potenziale

Die separat erfassten Mengen an Haus- und Sperrmüll mit den darin enthaltenen biogenen Anteilen können grundsätzlich dem jeweiligen Biomassepotenzial eines Landkreises zugeschlagen werden, wie Tab. 16 zeigt. In der Aufstellung sind die Gewerbeabfälle nicht mit berücksichtigt worden, da diese nicht der Andienungspflicht unterliegen und somit keine Daten vorliegen.

Je nach Erfassungsquote können die Energiepotenziale z. T. erheblich schwanken. Hinzuzurechnen sind auch Anteile des Gewerbeabfalls, die nicht nur durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger erfasst werden, sondern durch privatrechtliche Unternehmen (z. B. Marktabfälle, Straßenkehricht, Sortierreste etc.) entsorgt werden.

Tab. 16: Nutzbare Energiepotenziale aus Festbrennstoffen der in den Landkreisen anfallenden Haus- und Sperrmüllmengen bezüglich des biogenen Anteils

		Hausmüll [t]	Sperrmüll [t]	Organik Haus-, Sperrmüll [t]	Energie- gehalt [MWh]	Strom- menge Nutzung [MWh]	Wärme- menge Nutzung [MWh]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	33.768	6.383	20.076	50.200	7.500	25.000
	Frankfurt/Main	166.598	11.401	89.000	222.500	33.400	110.800
	Stadt Offenbach	29.098	1.201	15.150	37.900	5.700	18.900
	Wiesbaden	77.397	9.277	43.337	108.300	16.200	53.900
	Bergstraße	37.368	9.829	23.599	59.000	8.900	29.400
	Darmstadt-Dieburg	23.041	8.032	15.537	38.800	5.800	19.300
	Groß-Gerau	41.271	11.494	26.383	66.000	9.900	32.900
	Hochtaunuskreis	49.496	4.102	26.799	67.000	10.100	33.400
	Main-Kinzig-Kreis	56.015	17.162	36.589	91.500	13.700	45.600
	Main-Taunus-Kreis	52.131	3.359	27.745	69.400	10.400	34.600
	Odenwaldkreis	11.422	2.867	7.145	17.900	2.700	8.900
	Landkreis Offenbach	73.895	5.736	39.816	99.500	14.900	49.600
	Rheingau-Taunus-Kreis	21.066	4.108	12.587	31.500	4.700	15.700
Wetteraukreis	28.767	6.921	17.844	44.600	6.700	22.200	
Regierungsbezirk Darmstadt	701.333	101.872	401.603	1.004.100	150.600	500.200	
RB Gießen	Gießen	38.052	2.381	20.217	50.500	7.600	25.100
	Lahn-Dill-Kreis	68.017	3.338	35.678	89.200	13.400	44.400
	Limburg-Weilburg	34.460	7.027	20.744	51.900	7.800	25.800
	Marburg-Biedenkopf	29.219	7.475	18.347	45.900	6.900	22.900
	Vogelsbergkreis	14.546	1.941	8.244	20.600	3.100	10.300
	Regierungsbezirk Gießen	184.294	22.162	103.228	258.100	38.800	128.500
RB Kassel	Stadt Kassel	40.042	11.668	25.855	64.600	9.700	32.200
	Fulda	35.295	2.318	18.807	47.000	7.100	23.400
	Hersfeld-Rotenburg	15.247	3.859	9.553	23.900	3.600	11.900
	Landkreis Kassel	38.750	8.655	23.703	59.300	8.900	29.500
	Schwalm-Eder-Kreis	37.638	5.904	21.771	54.400	8.200	27.100
	Waldeck-Frankenberg	30.359	4.729	17.544	43.900	6.600	21.900
	Werra-Meißner-Kreis	13.356	3.680	8.518	21.300	3.200	10.600
	Regierungsbezirk Kassel	210.687	40.813	125.750	314.400	47.300	156.600
Hessen GESAMT	1.096.314	164.847	630.581	1.576.600	236.700	785.300	

unterstellte Anlagenwirkungsgrade: 15 % elektrisch und 60 % thermisch; die anfallende Wärme wird zu rund 80 % genutzt.

Die Behandlung bzw. Verwertung der Materialien erfolgt üblicherweise in wenigen zentralen Anlagen, sodass die daraus produzierten Energiemengen zukünftig nicht den einzelnen Landkreisen, in denen die Mengen erfasst wurden, zugeordnet werden können, sondern dem Standort der Verwertungsanlage zuzurechnen sind.

3.3.2.3 Entwicklungsperspektiven

Wie die oben beschriebenen Anlagenkapazitäten der EBS-Kraftwerke und MHKW aufzeigen, werden zumindest rein rechnerisch die gesamten in Hessen anfallenden Potenziale, die sich aus dem biogenen Anteil im Abfall ergeben, auch im hiesigen Bundesland verwertet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass einige Teilströme in den benachbarten Bundesländern behandelt, dagegen Abfälle aus anderen Bundesländern in Hessen verwertet werden. Weitere Potenziale liegen im Wesentlichen in einer Verbesserung der Wirkungsgrade sowie ggf. in der Optimierung der Wärmenutzung der MHKW.

Mit der Inbetriebnahme des EBS-Kraftwerkes in Frankfurt-Höchst (2009) wird eine zusätzliche Anlagenkapazität mit 675.000 t pro Jahr wirksam; die installierte elektrische Leistung wird mit 70 MW beziffert.

Mit einer künftig verbesserten Erfassungsquote von Bioabfällen in Hessen würden sich die biogenen Anteile in den aufgezeigten Abfallarten reduzieren. Ein gewisser Teilstrom würde dann mittels anderer Behandlung (z. B. Vergärung) verwertet werden.

3.3.3 Holzige Anteile des Grünabfalls

Die Datengrundlagen für die Betrachtung dieses Stoffstroms beruht auf den im Jahr 2007 erhobenen Mengen, die 2008 im Rahmen der Abfallmengenbilanz Hessen veröffentlicht wurden. In dieser Abfallmengenbilanz wurden sowohl Grünabfälle als auch Bioabfälle unter dem Oberbegriff „Bioabfälle“ zusammengefasst. Daher sind zusätzliche Daten des Hessischen Landesamtes in die Berechnungen eingeflossen, um die Aufkommensmengen an Grünabfällen von denen der Bioabfällen differenzieren zu können.

Die meisten öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Hessen erfassen die Grünabfälle über Kompostierungsanlagen und Wertstoffhöfe (Abb. 10), relativ häufig auch noch über Grünabfallsammelplätze. Dagegen ist das Angebot saisonaler Abfahren oder solcher auf Bestellung nicht so häufig vertreten. Am meisten innerhalb der Kommunen verbreitet ist die Sammlung von Weihnachtsbäumen, wobei z. T. auch örtliche Vereine in die Aktivitäten mit einbezogen werden.

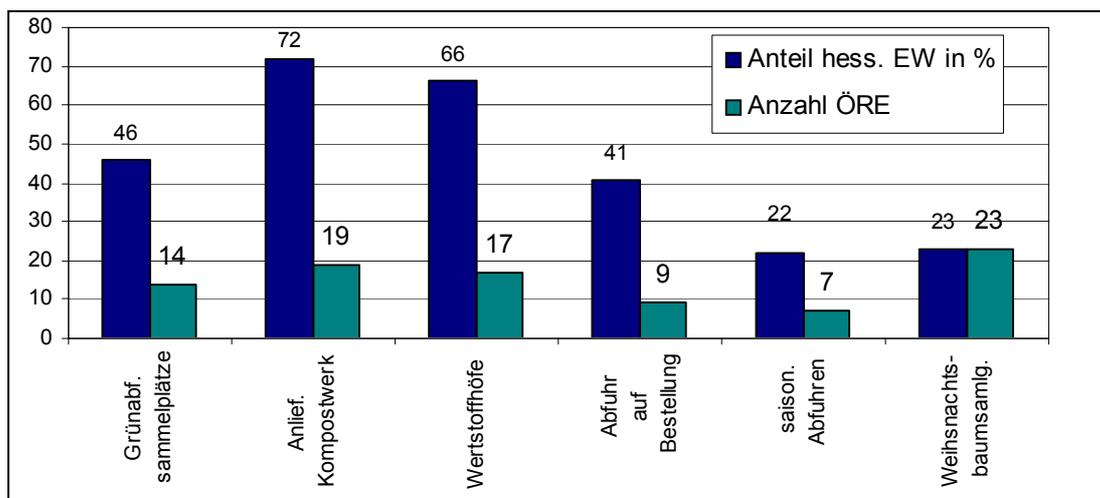


Abb. 10: Erfassungssysteme von Grünabfällen in Hessen – Befragung von 28 örE (Gartenabfälle, Strauchschnitt) [142]

3.3.3.1 Stand der Nutzung

Zu den separat erfassten Mengen an Grünabfällen zählen sowohl krautige als auch holzige Materialien. Basierend auf unterschiedlichen Erhebungen [78][142] wird davon ausgegangen, dass je nach Materialzusammensetzung und Aufbereitungstechnik zwischen 30 und 40 % (holziger Anteil des Grünabfalls) energetisch verwertet werden können (Abb. 11). Bei einzelnen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern wird durch die Erfassung holziger Abfälle im Bringsystem (z. B. Schredderplätze) ein Einschleusungsgrad an energetisch verwertbarem Material von bis zu 70 % erreicht.

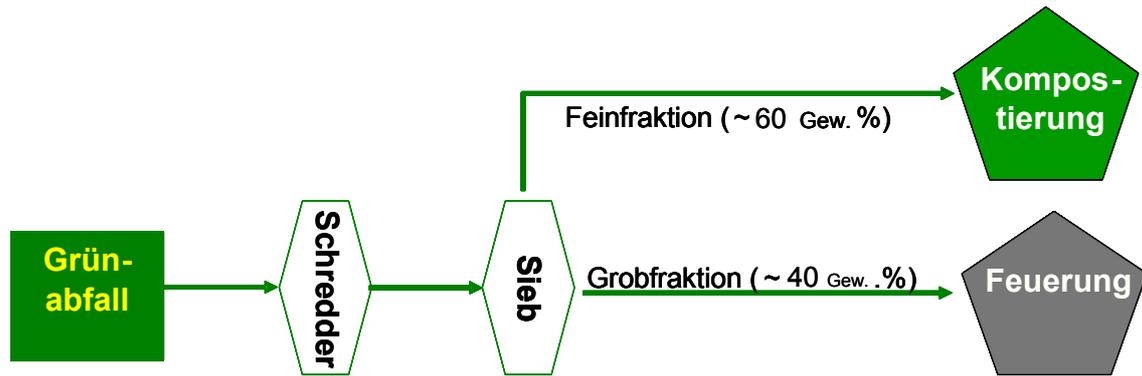


Abb. 11: Aufbereitungsschritte für die Ausschleusung von thermisch nutzbaren Teilströmen aus Baum- und Strauchschnitt

Zur Aufbereitung von Grünabfall ist zunächst eine Materialzerkleinerung erforderlich, wobei anders als bei der Aufbereitung für die Kompostierung grobes Schredder- oder Hackgut erzeugt werden soll. Anschließend wird das Grobmaterial mittels eines Trommel- oder Sternsieves abgetrennt. Auf diese Weise lassen sich mit üblicherweise auf Kompostierungsanlagen vorhandenen Maschinen preislich interessante Brennstoffe gewinnen. Wegen des geringen Verunreinigungsgrads von Grünabfällen kann auf eine Störstoffentfrachtung des Materials in der Regel verzichtet werden. Der Energieaufwand für die Aufbereitung des Grünguts zu einem verwertbaren Brennstoff und für Transporte ist gering.

Die verbleibende Fraktion, üblicherweise < 40 mm, steht als Strukturmaterial für die Kompostierung zur Verfügung oder kann in der Gärrestbehandlung (Nachrotte vergorener Bioabfälle) eingesetzt werden. Bei größerem spezifischem Bedarf an Strukturmaterial kann durch entsprechende Wahl des Siebschnitts eine Anpassung erfolgen. Häufig wird das aufbereitete gröbere Grüngut in einem Brennstoffmix mit anderen trockeneren Materialien verwendet.

Welche Mengen an Grünabfällen in den hessischen Landkreisen anfallen und wo diese behandelt bzw. verwertet werden, zeigt Tab. 17.

Derzeit ist bekannt, dass ca. 12 % der in Hessen erfassten Grünabfälle energetisch verwertet werden. Hierbei dürfte es sich überwiegend um holzige Materialien handeln. Es ist anzunehmen, dass der tatsächlich genutzte Anteil etwas höher liegt.

Tab. 17: Aufkommen und Verwertung von Grünabfällen in hessischen Landkreisen und kreisfreien Städten

Grünabfall	Aufkommen		Verwertung			
	ges. [t]	[kg/EW*a]	im Landkreis [t]	außerhalb LK [t]	außerhalb Hessens [t]	davon energetisch [t]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	3.721	26	2.366	1.355	
	Frankfurt/Main	4.385	7	4.385		
	Stadt Offenbach	5.392	46		5.392	
	Wiesbaden	6.325	23	6.325		
	Bergstraße	13.595	51	8.595	5.000	5.000
	Darmstadt-Dieburg	13.231	46	13.231		
	Groß-Gerau	15.104	60	4.104	3.500	3.500
	Hochtaunuskreis	22.251	98	22.251		
	Main-Kinzig-Kreis	12.874	32	12.874		
	Main-Taunus-Kreis	12.870	57	12.870		
	Odenwaldkreis	11.478	116	11.478		
	Landkreis Offenbach	33.410	99	33.410		
	Rheingau-Taunus-Kreis	24.744	134	24.744		
	Wetteraukreis	10.823	36	8.788		2.035
Regierungsbezirk Darmstadt	190.203	50	165.421	15.247	5.535	12.500
RB Gießen	Gießen	2.248	9	2.248		
	Lahn-Dill-Kreis	3.692	14	3.692		
	Limburg-Weilburg	3.360	19	3.360		
	Marburg-Biedenkopf	5.390	21	5.390		2.000
	Vogelsbergkreis	8.106	71	8.106		
Regierungsbezirk Gießen	22.796	22	22.796	0	0	2.000
RB Kassel	Stadt Kassel	10.114	52		1.004	9.110
	Fulda	2.605	12	2.020		585
	Hersfeld-Rotenburg	4.537	36			4.537
	Landkreis Kassel	5.485	23	5.485		
	Schwalm-Eder-Kreis	31.384	167	31.384	0	
	Waldeck-Frankenberg	16.200	97	16.200		11.500
	Werra-Meißner-Kreis	2.165	20	804		1.361
Regierungsbezirk Kassel	72.490	58	55.893	1.004	15.593	11.500
Hessen GESAMT	285.489	47	244.110	16.251	21.128	26.000

3.3.3.2 Potenziale

Von den rund 285.000 t separat erfassten Grünabfällen entfallen über 119.000 t (bei einer 40 %-igen Abtrennung) auf den holzigen Anteil, der thermisch verwertet werden könnte. Geht man davon aus, dass die derzeitige energetische Verwertung über die Verbrennung in Holzheiz(kraft)werken erfolgt, werden zur Zeit gut 22 % des vorhandenen holzigen Anteils vom Grünabfall eingesetzt.

Es wird ferner davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2015 die Erfassungsquoten auch bei den Grünabfällen gesteigert werden könnten [142]. Dabei würde die auf Einwohner bezogene Erfassungsquote von derzeit 47 kg/EW und Jahr auf 57 kg/EW und Jahr verbessert. Wird ein weiteres Steigerungspotenzial bis zum Jahr 2020 unterstellt, wobei dann 94 kg/Einwohner und Jahr erfasst werden könnten (Annahme: Mindesterrfassung in kreisfreien Städten 60 kg/Einwohner und Jahr, in Landkreisen mindestens 100 kg/Einwohner und Jahr), ließen sich im Vergleich zu heute 110.000 t holzige Materialien zusätzlich einsammeln. Für die energetische Verwertung könnten insgesamt fast 230.000 t holzige Materialien mit einem Wassergehalt von 50 % bereitgestellt werden, wie Tab. 18 zeigt.

Tab. 18: Technisches Potenzial des energetisch nutzbaren holzigen Anteils im Grünabfall im Vergleich zum aktuellen Aufkommen (verbesserte Grünabfallerfassung)

		Grünabfall			
		derzeitiges Aufkommen		technisches Potenzial	
		gesamt [t/a]	holzige [t/a]	gesamt [t/a]	holzige [t/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	3.721	1.500	8.500	3.400
	Frankfurt/Main	4.385	1.800	39.300	15.700
	Stadt Offenbach	5.392	2.200	7.100	2.800
	Wiesbaden	6.325	2.500	16.500	6.600
	Bergstraße	13.595	5.400	26.500	10.600
	Darmstadt-Dieburg	13.231	5.300	28.900	11.600
	Groß-Gerau	15.104	6.000	25.200	10.100
	Hochtaunuskreis	22.251	8.900	22.300	8.900
	Main-Kinzig-Kreis	12.874	5.100	40.900	16.300
	Main-Taunus-Kreis	12.870	5.100	22.500	9.000
	Odenwaldkreis	11.478	4.600	11.500	4.600
	Landkreis Offenbach	33.410	13.400	33.400	13.400
	Rheingau-Taunus-Kreis	24.744	9.900	24.700	9.900
	Wetteraukreis	10.823	4.300	29.900	12.000
	Regierungsbezirk Darmstadt	190.203	76.100	337.000	134.900
RB Gießen	Gießen	2.248	900	25.600	10.200
	Lahn-Dill-Kreis	3.692	1.500	25.900	10.300
	Limburg-Weilburg	3.360	1.300	17.400	7.000
	Marburg-Biedenkopf	5.390	2.200	25.200	10.100
	Vogelsbergkreis	8.106	3.200	11.400	4.600
	Regierungsbezirk Gießen	22.796	9.100	105.500	42.200
RB Kassel	Stadt Kassel	10.114	4.000	11.600	4.600
	Fulda	2.605	1.000	21.900	8.800
	Hersfeld-Rotenburg	4.537	1.800	12.600	5.000
	Landkreis Kassel	5.485	2.200	24.200	9.700
	Schwalm-Eder-Kreis	31.384	12.600	31.400	12.600
	Waldeck-Frankenberg	16.200	11.500	18.500	7.400
	Werra-Meißner-Kreis	2.165	900	10.800	4.300
	Regierungsbezirk Kassel	72.490	34.000	130.900	52.400
Hessen GESAMT	285.489	119.200	573.400	229.500	

Mengenangabe Frischmasse mit 50 % Wassergehalt

Wird der anfallende Grünabfall bei einem Wassergehalt von 30 % verwertet, können damit 3,4 MWh je Tonne erzielt werden. Bei einem Anlagenwirkungsgrad von 85 % können aus den dann verfügbaren 165.000 t somit rund 477 GWh im Jahr erzielt werden.

3.3.3.3 Entwicklungsperspektiven

Ausgehend von den oben beschriebenen Potenzialen an holzigen Materialien ist für eine verbesserte energetische Verwertung eine deutliche Ausweitung der Erfassung sowie eine entsprechende Aufbereitung und Abtrennung seitens der Entsorger notwendig. Fast 87.000 t FM holzige Materialien aus den gegenwärtig erfassten Grünabfällen könnten bereits jetzt der energetischen Verwertung zugeführt werden. Durch verbesserte und ausgeweitete Grünabfallerfassungen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger könnten bis zum Jahr 2020 gut 110.000 t FM zusätzlich an holzigen Grünabfällen energetisch verwertet werden.

3.4 Anlagenbestand zur Nutzung biogener Festbrennstoffe

3.4.1 Holzheizwerke und Holzheizkraftwerke

Als Datengrundlage für die Übersicht über die Holzheiz(kraft)werke in Hessen dienten zum einen Angaben aus den Förderanträgen zur Errichtung von Holzheizanlagen, die an das Land Hessen gestellt wurden, zum anderen wurden von den Regierungspräsidien Datengrundlagen zu Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von über 1 MW zur Verfügung gestellt. Die Daten lagen jeweils nur anonymisiert unter Angabe der Postleitzahl zur Bestimmung des Standortes vor. Für den Bereich der Stromerzeugung wurden zusätzlich die veröffentlichungspflichtigen Daten der hessischen Stromnetzbetreiber herangezogen. Im Rahmen der Fachgespräche, die beim Besuch der einzelnen hessischen Landkreise durchgeführt wurden, konnten die Angaben korrigiert und erweitert werden. Zwischen den einzelnen Datenquellen traten jedoch vereinzelt Widersprüche auf, die nicht immer vollständig geklärt werden konnten, da aus Gründen des Datenschutzes die Anonymität der Betreiber gewahrt werden musste.

In Hessen werden rund 330 Holzheizwerke und zehn Holzheizkraftwerke betrieben (Stand 2008, vgl. Tab. 19). Im Rhein-Main-Gebiet befinden sich drei große Altholzheizkraftwerke, die über eine Gesamtleistung von rund 144 MW_{th} und 34,5 MW_{el} verfügen. Die thermische Leistung wird jedoch nicht vollständig genutzt, so ist z. B. beim Altholzheizkraftwerk in Flörsheim (Main-Taunus-Kreis) keine Wärmeauskopplung bekannt. Bei den Holzheizkraftwerken mit geringerer Leistung im Regierungsbezirk Darmstadt handelt es sich um Anlagen in Gewerbebetrieben, die über die Abwärme bei der Stromerzeugung einen Teil des betrieblich benötigten Wärmebedarfs bereitstellen bzw. über Anlagen zur Versorgung von Nutzungsgemeinschaften wie z. B. Bioenergiedörfer. Als Brennstoff werden Holzhackschnitzel bzw. Sägenebenprodukte verwendet.

Beim Holzheizkraftwerk im Landkreis Marburg-Biedenkopf im Regierungsbezirk Gießen handelt es sich um eine durch ein Sägewerk mit Rindenabfällen betriebene ORC-Anlage. Die bereitgestellte Wärme wird für die Holz Trocknung benötigt.

Im Regierungsbezirk Kassel wurde in der Stadt Kassel eine bestehende Feuerungsanlage zur Nahwärmeversorgung auf den Betrieb mit Altholz umgerüstet. Im Landkreis Waldeck-Frankenberg erfolgt die Nutzung von holzigen Anteilen der Grünabfälle sowie von holzigen Landschaftspflegematerialien in einem Biomassekraftwerk. Zudem betreibt ein Sägewerk mit Produktionsresten eine entsprechende Anlage. Im Landkreis Hersfeld-Rotenburg verarbeitet eine Holzvergasungsanlage Hackschnitzel.

Bisher liegt der Schwerpunkt bei der Verstromung fester Biomassen in Hessen auf der Nutzung von Altholz. Da dieser Markt jedoch weitgehend ausgeschöpft ist, erfolgt der Zubau derzeit verstärkt über die Errichtung von ORC-Anlagen. Zudem wird erwartet, dass auch im Bereich der Holzvergasung technische Fortschritte zu einer intensiveren Nutzung dieser Technik führen werden.

Bei den Holzheizwerken handelt es sich zum überwiegenden Teil um Anlagen kleiner und mittlerer Dimensionierung in einem Leistungsbereich unter 1 MW. Die Gründung der Fördergebiete BioRegio Holz in Hessen hat die Errichtung von Holzhackschnitzelheizanlagen in kommunalen und kreiseigenen Einrichtungen unterstützt. Ein weiterer Nutzungsschwerpunkt liegt im gewerblichen Bereich. Hier nutzen zum einen Landwirtschafts- oder Gartenbaubetriebe sowie größere Beherbergungsbetriebe (z. B. Altenheime) mit entsprechendem Wärmebedarf Holzhackschnitzelheizanlagen, zum anderen verfeuern viele Sägewerke entsprechende Holzsortimente zur Erzeugung der benötigten Wärme für die Holz Trocknung. Der Rohstoff, der in diesen Anlagen verfeuert wird, stammt zum überwiegenden Teil aus dem Sortiment der Waldholzhackschnitzel bzw. aus Durchforstungs- und Landschaftspflegemaßnahmen sowie aus dem Sortiment der Säge- und Holzverarbei-

tungsindustrie und ist, angepasst an die technischen Anforderungen der Anlagen, entsprechend konfektioniert.

Tab. 19: Bestand an Holzheizwerken und Holzheizkraftwerken in Hessen (Stand 2008)

	Holzheizwerke			Holzheizkraftwerke					
	Anzahl Anlagen	Leistung gesamt [kW]	Wärme-menge [MWh/a]	Anzahl Anlagen	Leistung		Wärme-menge [MWh/a]	Strom-menge [MWh/a]	
					[MW _{th}]	[MW _{el}]			
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	0	0	0	0	0	0	0	
	Frankfurt/Main	6	1.500	4.900	1	43,6	12,4	83.600	27.700
	Stadt Offenbach	1	320	450	0	0	0	0	0
	Wiesbaden	8	1.500	5.400	1	50,0	7,0	250.000	35.000
	Bergstraße	27	14.400	53.400	1	2,5	0,3	10.500	1.800
	Darmstadt-Dieburg	14	5.400	21.200	0	0	0	0	0
	Groß-Gerau	9	5.200	13.300	0	0	0	0	0
	Hochtaunuskreis	11	2.200	6.100	0	0	0	0	0
	Main-Kinzig-Kreis	12	8.500	19.400	0	0	0	0	0
	Main-Taunus-Kreis	1	60	100	1	50,0	15,0	0	90.000
	Odenwaldkreis	13	3.500	7.500	1	3,5	0,15	10.500	450
	Landkreis Offenbach	2	500	1.300	0	0	0	0	0
	Rheingau-Taunus-Kreis	9	7.500	27.800	0	0	0	0	0
	Wetteraukreis	19	44.200	169.700	0	0	0	0	0
Regierungsbezirk Darmstadt	132	94.780	330.550	5	149,6	34,9	354.600	154.950	
RB Gießen	Gießen	10	9.000	41.500	0	0	0	0	0
	Lahn-Dill-Kreis	9	16.300	73.800	0	0	0	0	0
	Limburg-Weilburg	1	60	80	0	0	0	0	0
	Marburg-Biedenkopf	18	16.600	36.500	1	7,2	1,1	26.900	7.700
	Vogelsbergkreis	12	18.100	96.500	0	0	0	0	0
Regierungsbezirk Gießen	50	60.060	248.380	1	7,2	1,1	26.900	7.700	
RB Kassel	Stadt Kassel	15	10.900	49.000	1	30,5	11,0	133.200	66.000
	Fulda	28	21.100	76.300	0	0	0	0	0
	Hersfeld-Rotenburg	25	16.900	62.000	1	0,65	0,25	3.900	1.500
	Landkreis Kassel	17	5.900	12.000	0	0	0	0	0
	Schwalm-Eder-Kreis	32	6.600	19.700	0	0	0	0	0
	Waldeck-Frankenberg	21	27.300	213.200	2	16,0	2,3	64.800	18.000
	Werra-Meißner-Kreis	14	2.900	6.900	0	0	0	0	0
Regierungsbezirk Kassel	152	91.600	439.100	4	47,2	13,5	201.900	85.500	
Hessen GESAMT	334	246.400	1.018.000	10	204	49	583.400	248.150	

Anlagen mit einer Wärmeleistung über 1 MW werden häufig von Industriebetrieben aus dem Bereich der Holzbe- und -verarbeitung zur Bereitstellung von Prozesswärme mit Produktionsresten (z. B. Spanplatten etc.) betrieben. Es ist zu vermuten, dass teilweise zur Ergänzung des Brennstoffbedarfs Altholz zugekauft wird, wenn bereits eine Genehmigung für den entsprechenden Brennstoff vorliegt.

3.4.2 Holznutzung in privaten Haushalten

3.4.2.1 Erhebung des Scheitholzverbrauchs privater Haushalte in Hessen

Über den Scheitholzverbrauch privater Haushalte liegen keine öffentlich verfügbaren Daten vor. Da private Haushalte ihren Brennstoffbedarf aus sehr unterschiedlichen Quellen, wie z. B. von Hessen-Forst, über den Handel, aus Privatwaldbeständen, die sich teilweise auch im eigenen Besitz befinden, von Sägewerken sowie aus der Landschafts- und Gartenpflege beziehen, ist eine Erhebung des Verbrauchs über die Befragung der Brennholz-Quellen nicht möglich.

Daher wurde mit Unterstützung durch den Landesinnungsverband der hessischen Schornsteinfeger (LIV Hessen) eine statistisch auswertbare Erhebung bei den Haushalten durchgeführt. Dabei wurde der Brennholzverbrauch repräsentativer Bevölkerungsgruppen in unterschiedlichen Siedlungsstrukturen sowie in ländlichen und städtisch

geprägten Regionen in den drei Regierungspräsidien erfasst und auf das Land Hessen sowie die einzelnen Landkreise übertragen.

Die Datenerhebung und –auswertung erfolgte aufgeteilt nach Bewohnern von kleinen Kommunen unter 5.000 Einwohner, Kommunen mit einer Einwohnerzahl zwischen 5.000 und 30.000 Einwohnern, Städten über 30.000 Einwohnern und Großstädten. Weiterhin wurde bei der Berücksichtigung der Siedlungsstruktur jeweils nach Kernstadt und Außenbezirk, also eingemeindetem Dorf bzw. Stadtrand, unterschieden. Parallel dazu wurde für Hessen landkreisweise ermittelt, welche Bevölkerungsanteile in den entsprechenden Siedlungsstrukturen leben, um die ermittelten Daten zum Scheitholzverbrauch aus den einzelnen Segmenten, die signifikante Unterschiede aufweisen, auf diese Bevölkerungsanteile hochrechnen zu können. Die detaillierte Vorgehensweise ist in einem gesonderten Bereich ausführlich dargestellt.

Die Auswertungen der Ergebnisse zeigen, dass gegenüber der Biomassepotenzialstudie Hessen aus dem Jahr 2005 ein Anstieg der Verbrauchswerte für ganz Hessen um knapp 20 % zu verzeichnen ist. Im Schwerpunkt ist dieser Anstieg auf den bevölkerungsreichen und teilweise auch dicht besiedelten Regierungsbezirk Darmstadt zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass der in Zeiten hoher Heizölpreise allgemein zu beobachtende Trend zur verstärkten Nutzung von Scheitholz-Einzelfeuerstätten als zusätzliche Heizquelle sich insbesondere in den Regionen besonders stark auswirkt, in denen die Brennholznutzung bisher nicht traditionell verankert war. In den eher ländlich geprägten Landkreisen Hessens, in denen traditionell eine hohe Brennholznutzung, die teilweise auch als alleinige Heizquelle dient, zu verzeichnen war, sind die Veränderungen eher geringfügig. Die bisherige Nutzung scheint weitgehend bestehen zu bleiben, wobei, wie nachfolgend noch näher erläutert wird, die benötigte Holzmenge vermindert werden kann. Diese Tendenz gleicht offenbar den steigenden Bedarf der Kaminofennutzer aus.

Bei der Bewertung des Ergebnisses sind einige Besonderheiten zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der durch die Haushalte aus dem Brennholz bereitgestellten Endenergiemenge ist kein Faktor zur Beurteilung des Wirkungsgrades anzusetzen, da die mit der Holzmenge an den Endverbraucher gelieferte Energie definitionsgemäß als Endenergie bewertet wird [83]. Es ist jedoch, wie zahlreiche Gespräche mit den Schornsteinfegermeistern bestätigen, davon auszugehen, dass die Effizienz der im Privathaushalt verwendeten (zentralen) Scheitholz-Heizanlagen durch technische Veränderungen (Nutzung von Pufferspeichern, Ergänzung durch thermische Solaranlagen zur Vermeidung des Sommerbetriebs etc.) sowie durch grundsätzliche Modernisierungsmaßnahmen verbessert wird. Dazu kommt eine Senkung des Heizenergiebedarfs durch verbesserte Wärmedämmung auch von Altbauten in ländlichen Gebieten mit einer traditionell hohen Feuerholznutzung.

Diese Faktoren führen dazu, dass trotz der steigenden Anzahl der Feuerungsanlagen der Holzbedarf nicht im gleichen Maßstab ansteigt. Die verbesserte Effizienz hat zur Folge, dass die in den privaten Haushalten durch Holzheizungen erzeugte regenerative Energiemenge nur mäßig ansteigt. Dieser Umstand ist jedoch positiv zu bewerten, da damit auch ein geringerer Gesamtenergiebedarf einhergeht.

Die folgende Tab. 20 gibt einen Überblick über die Scheitholznutzung der Privathaushalte in den hessischen Landkreisen im Winter 2008/2009.

Tab. 20: Scheitholznutzung in den privaten Haushalten in den hessischen Landkreisen und kreisfreien Städten im Winter 2008/09

	Holznutzung [rm]	Energie- erzeugung [MWh/a]	Energie- erzeugung pro tausend EW [MWh/a*T.EW]
Darmstadt	11.600	18.700	130
Frankfurt/Main	30.600	49.100	80
Stadt Offenbach	6.200	9.900	80
Wiesbaden	18.100	29.000	110
Bergstraße	68.900	110.500	420
Darmstadt-Dieburg	101.600	162.900	560
Groß-Gerau	66.500	106.600	420
Hochtaunuskreis	63.100	101.100	450
Main-Kinzig-Kreis	135.500	217.200	530
Main-Taunus-Kreis	68.800	110.200	490
Odenwaldkreis	43.100	69.100	700
Landkreis Offenbach	74.900	120.000	360
Rheingau-Taunus-Kreis	81.000	129.800	710
Wetteraukreis	120.000	192.300	640
Regierungsbezirk Darmstadt	889.900	1.426.400	380
Gießen	87.800	140.700	550
Lahn-Dill-Kreis	99.700	159.800	620
Limburg-Weilburg	74.300	119.000	680
Marburg-Biedenkopf	80.200	128.600	510
Vogelsbergkreis	56.600	90.700	790
Regierungsbezirk Gießen	398.600	638.800	610
Stadt Kassel	13.000	20.800	110
Fulda	81.700	131.000	600
Hersfeld-Rotenburg	59.300	95.000	760
Landkreis Kassel	99.600	159.600	660
Schwalm-Eder-Kreis	86.700	138.900	740
Waldeck-Frankenberg	70.200	112.500	680
Werra-Meißner-Kreis	45.800	73.400	680
Regierungsbezirk Kassel	456.300	731.200	590
Hessen GESAMT	1.744.800	2.796.400	460

Insgesamt wurden durch die Scheitholznutzung in den privaten Haushalten im Winter 2008/09 knapp 2.800 GWh an Wärmeenergie erzeugt. Rund die Hälfte davon wurde im bevölkerungsreichen Südhessen bereitgestellt. Die Regierungsbezirke Gießen und Kassel tragen jeweils rund ein Viertel der Menge bei. Bezieht man den Scheitholzverbrauch auf die Einwohner, zeigt sich mit 610 MWh/1.000 EW ein besonders intensive Holznutzung im Regierungsbezirk Gießen, gefolgt von 590 MWh/1.000 EW im Regierungsbezirk Kassel. In Südhessen mit der Metropolregion Rhein-Main ist die einwohnerbezogene durchschnittliche Brennholznutzung mit 380 MWh/1.000 EW erwartungsgemäß niedriger. Im hessischen Landesdurchschnitt liegt dieser Wert bei 460 MWh/1.000 EW.

Die in dieser Erhebung gewonnenen Daten zum Scheitholzverbrauch in Hessen entsprechen in der Größenordnung den Ergebnissen der Feuerstättenzählung Niedersachsen [99], die ebenfalls mit Unterstützung der Schornsteinfegerinnung durchgeführt wurde. Im Durchschnitt ergibt sich hier eine Energiebereitstellung von rund 550 MWh/1.000 EW*a.

Die in den privaten Feuerungsanlagen verwendeten Festbrennstoffe werden nach Auskunft der Schornsteinfeger aus sehr unterschiedlichen Quellen zusammengestellt. Neben dem Waldholz aus hessischen Beständen, das insbesondere von Selbstwerbern, die nicht über Privatwaldanteile verfügen, bei Hessen-Forst verstärkt nachgefragt wird, stellt das Sägerestholz der kleineren, dezentralen Sägewerke einen größeren Anteil des Holzpotenzials. Weiterhin werden verstärkt Anteile des Grünschnitts aus privaten Gärten sowie aus der Landschaftspflege genutzt. Der Baumschnitt aus der Obstbaumpflege und auch aus der Pflege von Feldrainen und Wirtschaftswegen wird zunehmend aufgearbeitet und in den privaten Holzöfen verwertet. Ein weiteres Kontingent stellt die Nutzung von unbehandelten Verpackungshölzern dar, die z. B. als Einwegpalette im Groß- und Einzelhandel anfallen und teilweise den Mitarbeitern als „Bonus“ unentgeltlich zur Nutzung überlassen werden. Eine besondere Rolle spielt in diesem Segment zudem auch der Holzhandel. Insbesondere die Haushalte in städtisch geprägten Regionen beziehen ihr Scheitholz häufig über Brennstoffhändler, Baumärkte oder Landwirte, die im Nebenerwerb Scheitholz aufbereiten. Diese Holz mengen stammen teilweise aus den angrenzenden Bundesländern oder auch aus größeren Sägewerken, deren Sägeresthölzer für die Brennholznutzung geeignet sind. Die Herkunft dieser Holzsegmente richtet sich nach den ökonomischen Rahmenbedingungen und ist nicht nachzuverfolgen.

Eine Quantifizierung der einzelnen Mengenströme ist nicht möglich. Daher ist eine genaue Bilanzierung der in Hessen anfallenden Holzbrennstoffpotenziale gegenüber der aktuellen Nutzung in den Haushalten nicht durchführbar. Insbesondere der „Import“ sowie die Nutzung der diffusen Garten- und Landschaftspflegemengen stellt eine unbekannte Größe dar.

3.4.2.2 Erfassung geförderter Holzheizungen

Für private Haushalte wird als besonders effiziente Form der Bioenergienutzung von Seiten des Bundes die Installation von **zentralen Holzheizungsanlagen** gefördert. Fördervoraussetzungen sind hauptsächlich Auflagen hinsichtlich Emissionsverhalten und thermischem Nutzungsgrad, um eine hohe Energieeffizienz sicherzustellen [17]. Die förderfähigen Leistungsgrenzen und technischen Rahmenbedingungen wurden seit Beginn des Förderprogramms 2001 mehrfach verändert, sodass unterschiedliche Anlagengrößen und -typen über die Auswertung der Förderdaten von 2001 bis 2008 zusammengestellt wurden.

Tab. 21: Zentrale Holzheizungsanlagen in Hessen [16]

	Anzahl Anlagen [ha]	installierte Leistung im Landkreis [kW]	Energieerzeugung [MWh/a]	installierte Leistung pro 1.000 Einwohner [kW/T.EW]	
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	24	490	800	3,5
	Frankfurt/Main	61	1.420	2.400	2,2
	Stadt Offenbach	18	410	600	3,5
	Wiesbaden	35	770	1.200	2,8
	Bergstraße	549	11.300	17.900	42,6
	Darmstadt-Dieburg	473	10.470	16.700	36,1
	Groß-Gerau	144	2.910	4.700	11,5
	Hochtaunuskreis	236	4.710	7.500	20,8
	Main-Kinzig-Kreis	864	16.940	26.900	41,4
	Main-Taunus-Kreis	80	1.550	2.500	6,9
	Odenwaldkreis	379	9.310	14.600	93,4
	Landkreis Offenbach	135	2.360	3.800	7,0
	Rheingau-Taunus-Kreis	257	5.650	8.900	30,7
	Wetteraukreis	855	16.340	26.100	54,7
Regierungsbezirk Darmstadt	4.110	84.630	134.600	22,4	
RB Gießen	Gießen	442	8.500	13.500	33,2
	Lahn-Dill-Kreis	635	12.640	19.900	48,7
	Limburg-Weilburg	330	6.300	10.000	36,1
	Marburg-Biedenkopf	584	12.590	19.900	49,8
	Vogelsbergkreis	435	10.110	15.800	88,1
	Regierungsbezirk Gießen	2.426	50.140	79.100	47,4
RB Kassel	Stadt Kassel	72	1.290	2.100	6,7
	Fulda	1.062	23.380	36.500	106,6
	Hersfeld-Rotenburg	476	11.090	17.500	87,9
	Landkreis Kassel	575	12.480	19.700	51,5
	Schwalm-Eder-Kreis	643	14.520	22.700	77,1
	Waldeck-Frankenberg	724	14.730	23.100	88,1
	Werra-Meißner-Kreis	411	10.420	16.200	96,2
	Regierungsbezirk Kassel	3.963	87.910	137.800	70,6
Hessen GESAMT	10.499	222.680	351.500	36,7	

In Hessen sind 10.500 geförderte Holzheizungen mit einer Gesamtleistung von rund 223 MW in privaten Haushalten bekannt. Mit 60 % (bezogen auf die installierte Leistung) wird der überwiegende Anteil mit Pellets als Brennstoff befeuert. Rund 35 % der geförderten Anlagenleistung werden mit Scheitholz befeuert, bei 5 % der Anlagenleistung dienen Holzhackschnitzeln als Brennstoff. Insgesamt werden jährlich rund 350.000 MWh an Wärmeenergie mit diesen Anlagen erzeugt.

Deutschlandweit wurden 2008 etwa 105.000 Pelletheizungen betrieben [27]. Damit macht der hessische Anlagenbestand rund 7 % des Gesamtbestandes in Deutschland aus.

Die durchschnittliche Leistung der Pelletheizanlagen liegt bei 18 kW, bei den zentralen Scheitholzanlagen wurden im Schnitt Anlagen mit einer Leistung von 28 kW installiert. Mit rund 57 kW liegt die durchschnittliche Leistung bei Holzhackschnitzelanlagen höher.

Im Regierungsbezirk Kassel und Darmstadt beträgt die insgesamt installierte Leistung der geförderten Holzheizungsanlagen 85 bzw. 88 MW, im Regierungsbezirk Gießen wurden rund 50 MW installiert. Bezogen auf die Einwohner wurden insbesondere in

Nordhessen mit knapp 71 kW pro 1.000 Einwohner die höchsten Leistungen installiert, gefolgt von Mittelhessen mit rund 48 kW/1.000 EW. Südhessen erreicht 22 kW/1.000 EW, was hauptsächlich auf die dicht besiedelten Ballungsgebiete zurückzuführen ist.

Da es sich bei den geförderten Anlagen zum überwiegenden Teil um Zentralheizungen handelt, ist davon auszugehen, dass diese Anlagen für die alleinige Wärmeversorgung der Standorte zuständig sind und somit von durchschnittlichen 1.600 bis 2.000 Vollbenutzungsstunden ausgegangen werden kann. Mit dieser Grundannahme wurde ein Wärmebeitrag abgeschätzt. Für ganz Hessen liegt die Wärmemenge, die in diesen effizienten Anlagen im Jahr 2008 durchschnittlich erzeugt wurde, bei rund 352 GWh. Die laut Erhebung der hessischen Schornsteinfegerinnung 2005 in den Privathaushalten durch den Einsatz von Holz erzeugte Wärmemenge beläuft sich auf rund 2.355 GWh jährlich. Damit werden knapp 15 % der regenerativen Holzwärme in den Privathaushalten mit hocheffizienter und effektiver Technik erzeugt.

3.5 Perspektiven für die Nutzung biogener Festbrennstoffe

Das Potenzial biogener Festbrennstoffe in Hessen liegt bei insgesamt rund 10.000 GWh/a, davon werden mit knapp 5.700 GWh/a rund 55 % bereits genutzt. Die Nutzungsintensität der einzelnen Stoffströme biogener Festbrennstoffe ist dabei sehr unterschiedlich, wie Abb. 12 in der Übersicht zeigt.

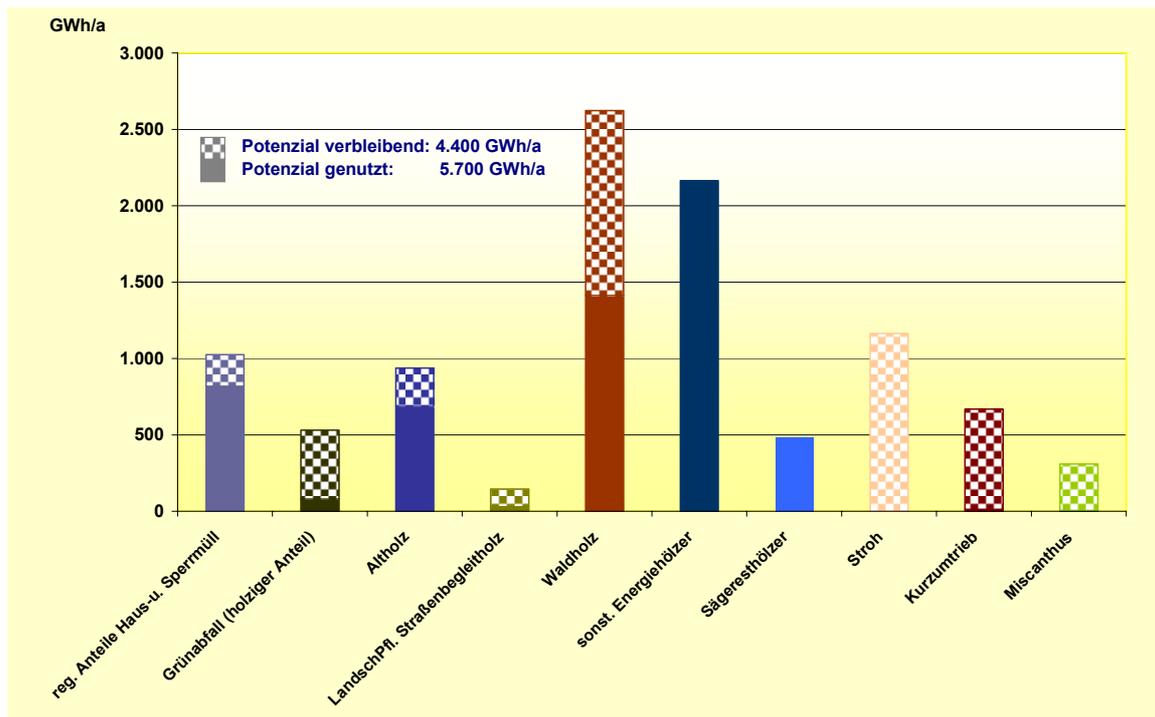


Abb. 12: Technisches Potenzial biogener Festbrennstoffe und bereits genutzte Anteile in Hessen

Wie bereits in Kapitel 3.3.2 dargestellt wurde, wird in den vier Müllheizkraftwerken in Hessen sowie einigen Industriebetrieben, die Ersatzbrennstoffe zur Energieversorgung nutzen, der überwiegende Teil der in Hessen anfallenden **Rest- und Sperrmüllmenge** thermisch verwertet. In Anlehnung an die Vorgehensweise des BMU kann hier bei den MHKW 50 % bzw. bei den EBS-Kraftwerken 20 % des Energieertrages den verbliebenen **biogenen** Anteilen dieser Abfallfraktion zugerechnet werden.

Das verbleibende Potenzial errechnet sich aus der Differenz zwischen der Energiemenge, die sich aus der anfallenden Abfallmenge unter optimalen Bedingungen erzeugen ließe, und der tatsächlich in Hessen erzeugten bzw. genutzten Strom- und Wärmemenge. Die Mobilisierung dieses Potenzials beruht somit überwiegend auf der technischen Verbesserung der Wirkungsgrade sowie einer verstärkten Nutzung der bei der Verstromung anfallenden Wärmeenergie. Im Zuge der Ertüchtigung des MHKW Frankfurt, die Ende des Jahres 2009 abgeschlossen wurde, wird eine Erweiterung der Fernwärmeversorgung einbezogen, sodass ein Teil des noch ungenutzten Potenzials aktiviert wird.

Die Optimierung der **Grünabfallsammlung** in Hessen mit einer entsprechenden Aufbereitung würde bis zum Jahr 2020 die Bereitstellung von 470 GWh/a aus den holzigen Anteilen erlauben. Die bisherige Nutzung beschränkt sich auf lediglich rund 15 % dieses Potenzials. Die häufig praktizierte „Mitnutzung“ des Materials in Holzhackschnitzelanlagen führte ohne eine entsprechende Konfektionierung teilweise zu technischen Problemen, sodass dieser Brennstoff als schwierig eingestuft wird.

Neuere Untersuchungen [78] zeigen dagegen, dass der aufbereitete holzige Anteil des Grünabfalls gut für eine Nutzung in Anlagengrößen zwischen 500 und 1.000 kW geeignet ist, sofern technische Anpassungen an diesen Anlagen vorgenommen werden. Insbesondere die Fördertechnik sollte sowohl bei der Brennstoffzufuhr als auch bei der Entaschung auf die stark variierenden Stückgrößen und eventuell auftretende Störstoffe (Steine) ausgelegt werden. Die notwendigen Aufbereitungsschritte des ursprünglich kostenfreien Materials führen zu Brennstoffkosten, die in der Größenordnung von Waldholzhackschnitzeln liegen. Im Gegensatz zu diesen bestehen jedoch kaum Nutzungskonkurrenzen, da, wie bereits erwähnt, die Mitnutzung in bestehenden Anlagen zur Verwertung von Waldholz-Hackschnitzeln zu Problemen führen kann. Somit bietet sich die Mobilisierung und Nutzung dieses Materials insbesondere für Kommunen bzw. Landkreise an, die zum einen als Entsorgungspflichtige Zugriff darauf haben und zum anderen ihre Liegenschaften mit entsprechend angepassten Anlagen ausstatten können.

Da lediglich technische Anpassungen und keine Neuentwicklungen erforderlich sind, ist davon auszugehen, dass die Nutzung dieses Stoffstroms kurzfristig ausgeweitet werden kann. Auch für die Mobilisierung stehen bereits erprobte Konzepte zur Verfügung [78], die zu einer kurzfristigen Bereitstellung entsprechender Mengen führen. Lediglich der Teil dieses Potenzials, der bereits von privaten Haushalten in Einzelfeuerstätten genutzt wird, wird voraussichtlich trotz verbesserter Sammellogistik nicht verfügbar gemacht werden können.

In Hessen werden vier Heizkraftwerke auf der Basis von **Altholz** betrieben, die das theoretisch in Hessen bestehende Altholzpotezial der Kategorien II bis IV vollständig nutzen können. Es ist davon auszugehen, dass Altholzsortimente zusätzlich nach Hessen „importiert“ werden, um die vorhandenen Kapazitäten abzudecken. Ein zusätzliches Mengenpotenzial besteht derzeit nicht, eine Erweiterung der energetischen Nutzung von Altholz in Hessen könnte lediglich durch die Akquise entsprechender Mengen auf dem deutschen oder internationalen Altholzmarkt erfolgen. Planungen hinsichtlich der Neuerichtung von Anlagen sind nicht bekannt.

Wie bereits beim Stoffstrom „biogener Anteil des Abfalls“ dargestellt, errechnet sich das verbleibende Potenzial aus der Differenz zwischen der Energiemenge, die sich aus der in Hessen anfallenden Altholzmenge unter optimalen Bedingungen erzeugen ließe, und der tatsächlich in Hessen erzeugten bzw. genutzten Strom- und Wärmemenge. Die Mobilisierung dieses Potenzials beruht somit überwiegend auf der technischen Verbesserung der Wirkungsgrade sowie einer verstärkten Nutzung der bei der Verstromung anfallenden Wärmeenergie, was an den bestehenden Standorten teilweise nur schwer zu realisieren ist.

Die bei Pflegemaßnahmen entlang von Verkehrswegen anfallenden Mengen an **holzigen Straßenbegleitgrün** werden häufig vor Ort geschreddert und dort belassen. Mittlerweile werden von den ausführenden Unternehmen jedoch verstärkt Teilmengen, die qualitativ hochwertig (ältere Bestände) und logistisch gut zu erfassen sind, gesammelt und vermarktet. Der Nutzungsgrad hängt dabei in erster Linie von den ökonomischen Rahmenbedingungen ab sowie von geeigneten Verwertungsanlagen im Umkreis. Positiv auf eine verstärkte Nutzung des Materials wirkt sich die Klarstellung durch die Clearingstelle aus, dass Straßenbegleitgrün als Landschaftspflegematerial im Sinne des EEG in seiner novellierten Fassung von 2009 bewertet wird und damit die Stromerzeugung daraus durch den NawaRo- und Landschaftspflegebonus gefördert werden kann.

Die **Waldholznutzung** liegt nach den Angaben von Hessen-Forst, die auch auf die Privatwaldanteile hochgerechnet wurden, bei rund 55 % des mittelfristig zu mobilisierenden Energieholzpotenzials. Wie bereits in Kapitel 3.1.1.3 dargestellt, bestimmt auch die ökonomische Rahmensituation zu einem großen Teil, welche Wege das Industrieholz nimmt. Je nach Preisgestaltung wird es stofflich oder energetisch verwertet.

Als eine der Hauptnutzergruppen für Waldholz sind die privaten Haushalte anzusehen, die einen Großteil des als Scheitholz vermarkteten Sortiments verwenden. Häufig werden diese Sortimente von den Nutzern selbst im Wald erworben. Daneben werden, je nach Landkreis, auch Teile des in der Garten- und sogar in der Landschaftspflege anfallenden holzigen Anteils genutzt. Als weitere Quelle für diese Nutzergruppe stehen regionale Sägewerke, die Sägeresthölzer vermarkten, zur Verfügung.

Der zweite Nutzungsschwerpunkt für Waldholz liegt in (kleineren) Holzhackschnitzelheizungen von einzelnen Liegenschaften oder kleinen Nahwärmenetzen, die auf die Versorgung mit einem hochwertigen, gleichmäßig konfektionierten Brennstoff angewiesen sind. Eine Ausweitung der Waldholznutzung in diesem Segment verspricht eine effiziente Energienutzung. Der Fokus für die privaten Haushalte dagegen sollte verstärkt auf eine Verbesserung der Energieeffizienz gelegt werden, da viele, insbesondere ländliche Haushalte noch alte Scheitholzöfen nutzen, die eine verhältnismäßig schlechte Energieeffizienz aufweisen. Eine Verbesserung dieser Situation verringert möglicherweise den aktuellen Holzverbrauch der privaten Haushalte und ermöglicht gleichzeitig eine umfassende und energieeffiziente Ausweitung der Waldholznutzung in anderen Segmenten. Mit der Errichtung weiterer auf Waldholz basierender Heizkraftwerke mit einer Feuerungswärmeleistung von 10–20 MW wird jedoch teilweise die Grenze der regionalen Waldholzverfügbarkeit erreicht.

Ein schwer erfassbarer Anteil an der Bereitstellung fester Brennstoffe liegt im Segment der **Sägeresthölzer** und Produktionsreste der Holzindustrie. Aus diesem Sortiment beziehen viele Holzheiz(kraft)werke, die von Sägewerken betrieben werden, ihren Brennstoff. Häufig handelt es sich dabei um eher minderwertige Sortimente wie Rinde u. Ä., die nur schwer zu vermarkten sind und zum Abdecken des betriebseigenen Wärmebedarfs verwendet werden. Die höherwertigen Energieholzsortimente aus Sägewerken wie Schwarten oder Hackschnitzel werden gerne von kleineren und mittleren Holzheizwerken und, wie bereits erwähnt, von Privathaushalten verwendet.

Unter dem Begriff **sonstige Energiehölzer** werden die nach Hessen „importierten“ Festbrennstoffe, genutzte Landschaftspflegehölzer sowie nicht zuzuordnende Sortimente wie Obstbaumschnitt der Privathaushalte etc. zusammengefasst. Insbesondere ist es im Bereich der Holzpellets nicht nachvollziehbar, woher der Brennstoff bezogen wird, da er eher hochpreisig und damit transportwürdig ist. Zudem wird er vom Verbraucher über den Brennstoffhandel bezogen, der damit keinen Überblick über die Regionalität des Brennstoffs hat.

Der Stoffstrom sonstige Energiehölzer umfasst ebenfalls die Sortimente, die aus den benachbarten Bundesländern, insbesondere Thüringen, stammen, in Hessen zu Scheit-

holz verarbeitet und häufig an die privaten Haushalte vermarktet werden. Dieser „Holzimport“ orientiert sich in erster Linie an den ökonomischen Rahmenbedingungen.

Das Potenzial von **Stroh** als Brennstoff wird derzeit in Hessen kaum genutzt, da einige technische und logistische Probleme noch nicht ausreichend gelöst und die tatsächlichen Vollkosten des Brennstoffs vergleichsweise hoch sind (vgl. Kap 3.2.1). Im Bereich der energetischen Strohnutzung ergeben sich zukünftig vermutlich zwei Nutzungsrichtungen. Die eine Nutzungsrichtung ist eine optimierte Nutzung von Stroh als Brennstoff. Bei der zweiten Nutzungsrichtung kann Stroh als Rohstoff zur Erzeugung von Kraftstoffen der zweiten Generation dienen. Vorbereitende Untersuchungen für Nordhessen wurden bereits durchgeführt [145].

Das Potenzial der **Kurzumtriebshölzer** ist aus den in Kapitel 3.1.3 dargelegten Gründen in Hessen zu weiten Teilen noch ungenutzt. Derzeit werden hauptsächlich zwei Nutzungskonzepte verfolgt. Zum einen wird angestrebt, bei der Anlage entsprechender Flächen langfristige Abnahmeverträge mit Betreibern von Holzfeuerungsanlagen abzuschließen, um ein Risiko, das aufgrund der langfristigen Festlegung der landwirtschaftlichen Flächen sowie des Kapitals und damit einer geringen Flexibilität besteht, zu vermindern. Zum anderen liegt im großflächigen Anbau von Kurzumtriebshölzern bundesweit ein Rohstoffpotenzial für die Produktion von Kraftstoffen der zweiten Generation [24], wobei der Schwerpunkt dieser Nutzungsrichtung nicht in Hessen erwartet wird. Die Nutzung als Scheitholz in Privathaushalten ist derzeit nicht abzusehen.

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 dargestellt, sind zur Optimierung der energetischen Nutzung von **Miscanthus** noch technische Entwicklungsschritte erforderlich. Zudem sind auch Fragen der Lagerhaltung des Materials, das über eine eher geringe Energiedichte verfügt, zu bearbeiten. Ein Schwerpunkt der Nutzung in Hessen könnte mittelfristig z. B. in dezentral betriebenen Nahwärmenetzen liegen.

Die folgende Tab. 22 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die derzeitige Nutzung und die verbleibenden Potenziale von Festbrennstoffen in Hessen. Die von den privaten Haushalten bereitgestellte regenerative Energiemenge liegt in einer vergleichbaren Größenordnung wie die von den zentralen Heizwerken und Heizkraftwerken durch die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen inklusive Altholz und biogene Anteile des Abfalls bereitgestellten regenerativen Energiemengen.

Vom verbleibenden Potenzial liegen beim **Waldholz** und beim **Stroh** mit jeweils rund 1.200 GWh/a vergleichbare Größenordnungen vor. Die Nutzung von Waldholz ist mit dem derzeitigen Stand der Technik in unterschiedlichsten Anlagenkonfigurationen etabliert. Das Spektrum reicht von der dezentralen Verwendung im Privathaushalt bis zur zentralen Nutzung in Heizkraftwerken. Eine zügige Nutzbarmachung der verbleibenden Potenziale, die eventuell regional auch zu Nutzungskonkurrenzen führen kann, ist somit absehbar.

Im Gegensatz dazu stellt die energetische Nutzung von **Stroh** und auch **Miscanthus** noch weitere Anforderungen an die technische Entwicklung, sodass hier mit einer zeitlich verzögerten Nutzbarmachung dieser Potenziale zu rechnen ist. Aufgrund der technischen Rahmenbedingungen ist zu erwarten, dass der Schwerpunkt zudem auf der Nutzung in zentralen Feuerungsanlagen liegen wird. Als weitere Entwicklung bietet sich auch die Behandlung des Rohstoffs in einer Schnellpyrolyseanlage zur Erzeugung von BioLiq an, um ein leichter handhabbares Produkt zu erhalten. Im Bereich des Strohpotenzials sind somit vorerst keine Nutzungskonkurrenzen zu erwarten.

Tab. 22: Übersicht über Nutzung und verbleibende technische Potenziale biogener Festbrennstoffe in Hessen

	Nutzung fester Brennstoffe incl. reg. Anteil Restmüll				verbleibende Potenziale							Potenzial	
	Feststoffheiz- (kraft)werke		private HH Holznutzung	Summe	Waldholz	Grünabfall holz. Anteil	Landsch. Pflege Straßenbegl. Holz	Kurz- umtrieb	Stroh	Mis- canthus	genutzt	verbleibend	
	Wärme- menge [MWh/a]	Strom- menge [MWh/a]	Wärme- menge [MWh/a]										Energie- menge [MWh/a]
Darmstadt	25.000	17.000	19.300	61.300	10.000	6.000	600	1.800	0	800	61.300	19.200	
Frankfurt/Main	193.200	89.000	51.300	333.500	12.800	27.500	1.800	4.800	300	2.400	333.500	49.600	
Stadt Offenbach	95.400	25.500	10.300	131.200	2.000	4.900	200	600	0	400	131.200	8.100	
Wiesbaden	255.400	35.000	30.100	320.500	10.000	11.600	1.300	5.400	600	2.400	320.500	31.300	
Bergstraße	63.900	1.800	123.500	189.200	49.100	18.600	3.700	13.800	11.500	6.400	189.200	103.100	
Darmstadt-Dieburg	21.200	0	175.300	196.500	39.800	20.400	3.800	25.700	42.300	11.900	196.500	143.900	
Groß-Gerau	13.300	0	110.800	124.100	25.400	17.700	2.300	18.600	14.700	8.800	124.100	87.500	
Hochtaunuskreis	6.100	0	107.200	113.300	58.300	15.600	2.400	11.400	21.300	5.100	113.300	114.100	
Main-Kinzig-Kreis	19.400	0	237.300	256.700	115.200	28.600	7.800	22.800	29.700	10.700	256.700	214.800	
Main-Taunus-Kreis	100	90.000	112.100	202.200	7.800	15.800	1.400	8.400	15.300	3.900	202.200	52.600	
Odenwaldkreis	18.000	450	77.100	95.550	49.100	8.100	2.900	5.400	13.500	2.400	96.000	81.400	
Landkreis Offenbach	1.300	0	122.900	124.200	34.300	23.500	2.000	6.600	5.800	3.200	124.200	75.400	
Rheingau-Taunus-Kreis	27.800	0	135.800	163.600	75.000	17.400	3.800	19.800	44.600	9.200	163.600	169.800	
Wetteraukreis	169.700	0	212.800	382.500	400	21.100	6.000	60.500	117.800	28.200	382.500	234.000	
RB Darmstadt	909.800	258.750	1.525.800	2.694.350	489.200	236.800	40.000	205.600	317.400	95.800	2.694.800	1.384.800	
Gießen	60.200	4.700	150.700	215.600	40.400	17.900	4.900	35.900	57.900	16.600	215.600	173.600	
Lahn-Dill-Kreis	73.800	0	172.600	246.400	49.100	18.100	6.300	13.800	19.300	6.400	246.400	113.000	
Limburg-Weilburg	80	0	126.300	126.380	32.200	12.300	4.300	34.100	57.900	15.900	126.300	156.700	
Marburg-Biedenkopf	63.400	7.700	141.200	212.300	93.900	17.700	6.900	49.700	89.600	23.000	212.300	280.800	
Vogelsbergkreis	96.500	0	98.500	195.000	74.800	8.100	7.800	32.300	83.500	15.100	195.000	221.600	
RB Gießen	293.980	12.400	689.300	995.680	290.400	74.100	30.200	165.800	308.200	77.000	995.300	945.700	
Stadt Kassel	262.700	93.600	22.500	378.800	400	8.100	600	600	0	400	378.800	10.100	
Fulda	76.300	0	149.500	225.800	55.400	15.400	7.800	28.100	36.600	13.100	225.800	156.400	
Hersfeld-Rotenburg	193.700	33.400	105.700	332.800	59.300	8.800	5.900	23.900	55.600	11.100	332.800	164.600	
Landkreis Kassel	12.000	0	172.300	184.300	65.400	17.000	7.000	63.500	114.900	29.400	184.300	297.200	
Schwalm-Eder-Kreis	19.700	0	152.200	171.900	44.300	22.100	8.800	86.800	164.700	40.500	171.900	367.200	
Waldeck-Frankenberg	313.300	26.800	126.200	466.300	129.100	13.000	9.800	40.700	104.800	19.100	466.300	316.500	
Werra-Meißner-Kreis	130.900	31.000	79.400	241.300	77.600	7.500	5.700	39.500	61.900	18.300	241.300	210.500	
RB Kassel	1.008.600	184.800	807.800	2.001.200	431.500	91.900	45.600	283.100	538.500	131.900	2.001.200	1.522.500	
Hessen GESAMT	2.212.380	455.950	3.023.000	5.691.230	1.211.100	402.800	115.800	654.500	1.164.100	304.700	5.691.300	3.853.000	
8%												206.000	
58%												252.000	
Potenzial aus verbesserter Nutzung reg. Anteil Restmüll												4.311.000	
verbleibendes Potenzial Festbrennstoffe													

Auch an die Nutzung der beiden weiteren, bisher noch wenig genutzten Rohstoffströme, den **holzigen Anteil des Grünabfalls** sowie das **Landschaftspflege- und Straßenbegleitholz**, stellen sich technische Mindestanforderungen, die ab einer Anlagengröße von rund 500 kW realisierbar erscheinen. Hier ergibt sich insbesondere für kommunale Träger, in deren Hoheitsgebiet diese Rohstoffe teilweise anfallen, ein interessantes Entwicklungsgebiet. Im Gegensatz zu Waldholz ist hier eine geringe Nachfragekonkurrenz zu erwarten. Zudem besteht für Kommunen die Möglichkeit, über eine verbesserte Sammellogistik diese vergleichsweise kostengünstigen Rohstoffe verstärkt zu mobilisieren.

Die Mobilisierung des Holzpotenzials aus dem Stoffstrom **Kurzumtriebsholz** setzt, ähnlich wie beim Holzigen Anteil des Grünabfalls, die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen voraus, die die Anlage entsprechender Kulturen auf den für Energiepflanzen verfügbaren Flächen unterstützen. Der Anbau von Kurzumtriebsholz wird in der Landwirtschaft teilweise nur zögerlich umgesetzt. Ein Grund liegt in der erforderlichen Festlegung der Fläche für mindestens 20 Jahre. Für diesen Zeitraum werden von Seiten der Landwirtschaft gesicherte Abnahmeverträge mit entsprechenden ökonomischen Rahmenbedingungen angestrebt, die auf der Nachfrageseite jedoch nicht immer angeboten werden. Eine verbesserte Koordinierung der Marktpartner könnte die Mobilisierung dieses hochwertigen Potenzials unterstützen.

Neben den in Hessen verfügbaren Festbrennstoffpotenzialen ist zu erwarten, dass bestimmte Stoffströme (weiterhin) nach Hessen importiert werden. In diesen Bereich fallen insbesondere die Pellets. Mit einem Schwerpunkt an Hafenstandorten werden derzeit von den ansässigen Nadelholzsägewerken weitere Produktionskapazitäten geschaffen. Da es sich um einen verhältnismäßig hochpreisigen Brennstoff mit hoher Energiedichte handelt, können weite Transportwege in Kauf genommen werden. In Abhängigkeit von der Preisstruktur ist auch weiterhin mit der Einfuhr von Brennholzsortimenten aus Thüringen, Bayern oder Baden Württemberg zu rechnen.

Die nachfolgende Grafik (Abb. 13) verdeutlicht die Veränderungen in der Nutzung von Festbrennstoffen im Jahr 2008 gegenüber dem Jahr 2005. Im Bereich der Scheitholznutzung, in die auch die zentrale Scheitholznutzung einbezogen ist, ist nach Auswertungen der aktuellen Erhebung ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Die Hintergründe sind bereits in Kapitel 3.4.2.1 erläutert worden. Bei den hocheffektiven automatisch beschickten Holzzentralheizungen ist eine sehr deutliche Zunahme zu verzeichnen. Die Energieerzeugung aus diesen Anlagen hat sich fast verzehnfacht.

Der Energiebeitrag der Heizwerke zur regenerativen Endenergieerzeugung in Hessen hat sich ebenfalls gegenüber 2005 verzehnfacht. Hier spielt neben dem tatsächlichen Zuwachs an neuen Anlagen jedoch auch die Tatsache eine Rolle, dass bei der Erhebung im Jahr 2004/05 einige gewerbliche Anlagen nicht erfasst werden konnten. Bei der aktuellen Erhebung konnte die Datenlage durch die Expertendiskussionen in den hessischen Landkreisen im Vorfeld abgestimmt werden. Mit Unterstützung der Akteure vor Ort wurde ein nahezu vollständiges Bild der bestehenden Heizwerke zusammengestellt.

Ein vergleichbarer Zusammenhang besteht bei der Entwicklung der Energiebereitstellung durch die Heizkraftwerke. Im Rahmen der Studie 2005 wurde die Höhe der tatsächlichen Wärmenutzung anhand von Durchschnittswerten berechnet und dadurch leicht überschätzt. In der vorliegenden Studie wurden nach Möglichkeit die tatsächlichen Wärmenutzungsanteile ermittelt. Dies hat zur Folge, dass der zwischen 2005 und 2008 erfolgte Zubau an Heizkraftwerken auf der Basis von Festbrennstoffen (im Schwerpunkt ORC-Anlagen) in der vergleichenden Darstellung nicht deutlich wird.

Die energetische Nutzung des biogenen Anteils im Abfall wurde 2005 nicht erhoben. Die Beurteilung der Anlagenentwicklung in dem Zeitraum von 2004/05 bis 2008 führt zu dem

Schluss, dass die Energiebereitstellung aus diesem Stoffstrom im Jahr 2005 bei ca. 50 % der im Jahr 2008 bereitgestellten Energiemenge gelegen hat.

Insgesamt konnte die regenerative Energiebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen im Jahr 2008 gegenüber dem Jahr 2005 um rund 55 % gesteigert werden.

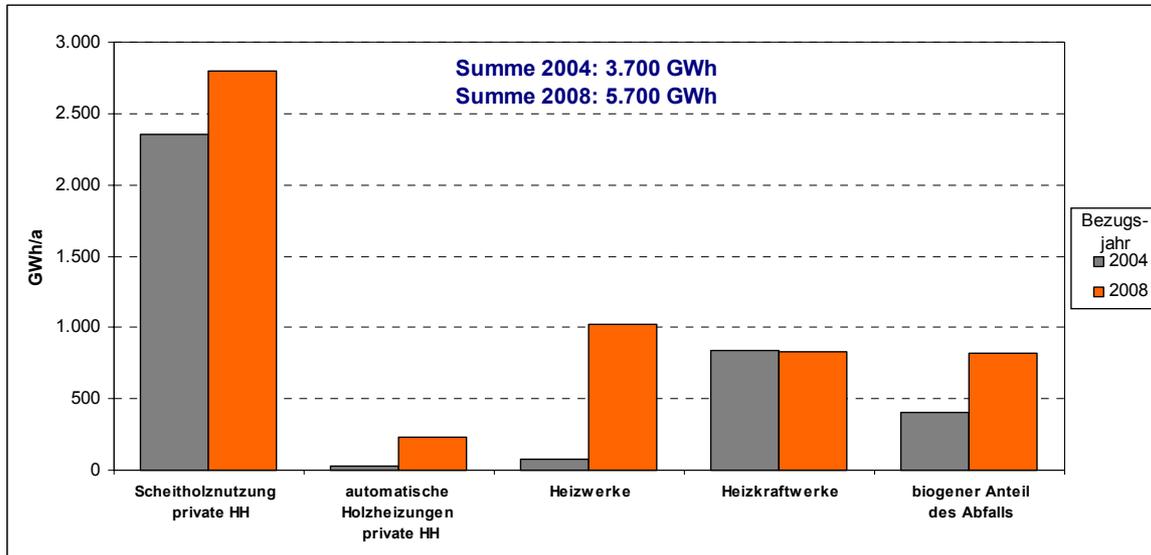


Abb. 13: Vergleich der Nutzung von Festbrennstoffen in Hessen im Jahr 2004 und 2008

4 Biogene Gase

Unter dem Begriff der biogenen Gase werden alle Gase verstanden, die nach einem anaeroben Abbau von organischer Substanz anfallen. Das anfallende Gasgemisch wird als Biogas bezeichnet und besteht in der Hauptsache aus Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂). Dieser Prozess findet natürlicherweise zum Beispiel in Mooren oder am Grund von Seen statt. Um ein energetisch nutzbares Biogas zu gewinnen, finden die Gärungs- und Fäulnisprozesse in der Regel in Biogasanlagen statt. Eine Ausnahme hiervon bildet das in Kapitel 4.2.5 behandelte Deponiegas, das aus den organischen Bestandteilen der abgelagerten Abfälle in Deponien entsteht.

In diesem Kapitel werden ausschließlich die biogenen Gase betrachtet, die im Laufe einer Vergärung anfallen. Gase, die auf der Grundlage einer thermo-chemischen Umwandlung aus biogenen Festbrennstoffen erzeugt werden, spielen in Hessen keine Rolle und werden in diesem Kapitel nicht berücksichtigt.

Die den Berechnungen zugrunde gelegten erzielbaren Biogaserträge und deren Methangehalt sind Tab. 23 zu entnehmen.

Tab. 23: Biogaserträge und Methangehalte (u. a. [89][46])

eingesetztes Substrat	Biogasertrag [Nm ³ /t FM]	Methangehalt [%]
Rindergülle	18–24	55
Rinderfestmist	90	55
Schweinegülle	19	60
Schweinefestmist	55–65	60
Hühnertrockenkot	169	65
Geflügelfestmist	70–90	60–65
Maissilage	200	52
Getreideganzpflanzen-Silage	196	52
Gras	98	54
Grassilage	123	54
Bioabfall	110	55
krautiger Grünabfall	80	52
<i>Klärgas</i>		65
<i>Deponiegas</i>		51

Für die Verstromung des Biogases wurden BHKW mit einem Wirkungsgrad von 40 % bei der Stromerzeugung und 45 % bei der Wärmeerzeugung zu Grunde gelegt. Des weiteren wurde davon ausgegangen, dass beim Einsatz von NawaRo und Bioabfall in einer Biogasanlage 30 % der im BHKW erzeugten Wärme für die Beheizung der Fermenter benötigt werden und dass von der verbleibenden extern nutzbaren Wärmemenge auch tatsächlich 70 % (entsprechend 49 % der gesamten Abwärme) genutzt werden können. Dem Ansatz dieses hohen Wärmenutzungsgrades im Jahr 2020 liegen folgende Annahmen zugrunde: Es wird erwartet, dass ein gewisser Anteil an (Neu-)Anlagen bzw. Anlagenkooperationen entsteht, die in das Erdgasnetz einspeisen. Die mit eingespeistem Gas versorgten BHKW-Anlagen weisen üblicherweise eine 100%-ige Wärmenutzung auf, da

sie wärmegeführt betrieben werden können. Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass auch in kleineren Neuanlagen gute und innovative Wärmenutzungskonzepte gefunden werden und das entstandene Biogas verstärkt über Mikrogasleitungen zu nahe liegenden Wärmenetzen, die dann das BHKW beherbergen, transportiert wird. Zudem wird unterstellt, dass auch bestehende Anlagen einen Optimierungsbedarf in der Wärmenutzung sehen, sodass auch in diesem Bereich ein verbesserter Wärmenutzungsgrad erreicht wird.

4.1 Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen

Das erhobene landwirtschaftliche Datenmaterial stammt, soweit keine abweichenden Angaben gemacht werden, vom Hessischen Statistischen Landesamt und wurde in der Agrarstrukturerhebung 2007 [68] veröffentlicht. Es ist zu beachten, dass in der Agrarstrukturerhebung alle landwirtschaftlichen Betriebe ab einer bestimmten Erfassungsgrenze, wie zum Beispiel einer landwirtschaftlichen Flächenausstattung von mindestens zwei Hektar, erfasst wurden. Des Weiteren wird bei der Erfassung das Betriebsprinzip angewandt. Das bedeutet, dass die erfassten bewirtschafteten Flächen immer dem Gebiet zugeordnet werden, in dem der Flächenbewirtschafter seinen Betriebssitz hat, der nicht zwangsläufig mit dem Gebiet übereinstimmt, in dem die bewirtschaftete Fläche liegt.

4.1.1 Wirtschaftsdünger

Wirtschaftsdünger sind Gülle und Festmist, die im Rahmen der landwirtschaftlichen Tierhaltung anfallen. Die anfallende Menge ist stark abhängig von der Tierart sowie dem Haltungssystem und dessen Bedingungen.

4.1.1.1 Stand der Nutzung

Die übliche landwirtschaftliche Praxis der Nutzung von Gülle und Festmist ist das Aufbringen auf landwirtschaftliche Flächen. Auf diesem Weg erfolgt die Rückführung von Nährstoffen und organischem Material, somit werden Kreisläufe geschlossen.

Eine energetische Nutzung dieser Stoffgruppe erfolgt in der Regel durch die Vergärung in Biogasanlagen. Bei dem größten Teil landwirtschaftlicher Biogasanlagen werden, mit der Ausnahme von wenigen Trockenfermentationsanlagen, Wirtschaftsdünger eingesetzt. Es ist anzunehmen, dass deren Anteil an der eingebrachten gesamten Biomasse bei den meisten Anlagen über 30 Gew.-% liegt, da der erzeugte Strom dann nach dem EEG zusätzlich mit dem Güllebonus vergütet wird. Eine genaue Abschätzung der derzeit schon genutzten Menge kann nicht gegeben werden, da keine exakten Angaben über die in landwirtschaftlich betriebenen Anlagen verwendeten Mengenströme vorliegen. Allerdings ist aufgrund von Erfahrungswerten davon auszugehen, dass in diesem Bereich die Potenziale erst relativ wenig ausgeschöpft werden.

4.1.1.2 Potenziale

Die Potenzialabschätzung für das Wirtschaftsdüngeraufkommen erfolgt anhand der ausgewiesenen Tierbestandszahlen. Es werden für die Abschätzung der Biogaspotenziale nur die Nutztiere Rinder, Schweine und Geflügel (Legehennen, Masthähnchen, Puten) betrachtet [84]. Vereinfachend wird für die Potenzialerhebung angenommen, dass der Tierbestand bezüglich Größe, Zusammensetzung und Alterstruktur im Jahresverlauf konstant bleibt. Eine Übersicht des Tierbestandes der Verwaltungsbezirke gibt Tab. 24.

Tab. 24: Erfasster landwirtschaftlicher Tierbestand Hessens

		Rinder	Schweine	Geflügel	erfasster Tierbestand	
		[Tiere]	[Tiere]	[Tiere]	[Tiere]	[GV]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	80	310	100	490	60
	Frankfurt/Main	170	1.210	k. A.	1.380	260
	Stadt Offenbach	0	0	0	0	0
	Wiesbaden	1.230	1.570	400	3.200	1.090
	Bergstraße	15.240	9.240	30.100	54.580	12.260
	Darmstadt-Dieburg	9.350	34.220	205.400	248.970	11.430
	Groß-Gerau	2.180	11.260	55.600	69.040	3.060
	Hochtaunuskreis	4.390	1.940	11.300	17.630	3.560
	Main-Kinzig-Kreis	34.770	14.730	186.700	236.200	27.740
	Main-Taunus-Kreis	1.110	1.530	1.000	3.640	970
	Odenwaldkreis	20.810	9.730	8.500	39.040	16.450
	Landkreis Offenbach	2.250	2.530	78.300	83.080	2.280
	Rheingau-Taunus-Kreis	3.040	7.830	9.000	19.870	3.200
	Wetteraukreis	20.670	32.980	54.700	108.350	18.980
Regierungsbezirk Darmstadt		115.290	129.080	641.100	885.470	101.340
RB Gießen	Gießen	13.030	18.870	113.200	145.100	12.250
	Lahn-Dill-Kreis	11.480	3.660	67.400	82.540	9.090
	Limburg-Weilburg	18.430	21.610	44.300	84.340	16.260
	Marburg-Biedenkopf	32.040	48.140	69.500	149.680	29.230
	Vogelsbergkreis	55.560	70.700	16.000	142.260	48.790
	Regierungsbezirk Gießen		130.540	162.980	310.400	603.920
RB Kassel	Stadt Kassel	30	0	k. A.	30	10
	Fulda	65.930	66.820	268.000	400.800	56.390
	Hersfeld-Rotenburg	24.240	65.770	67.800	157.810	25.080
	Landkreis Kassel	18.630	72.010	101.400	192.040	22.300
	Schwalm-Eder-Kreis	32.850	171.210	145.000	349.060	45.080
	Waldeck-Frankenberg	61.310	85.270	35.700	182.280	55.130
	Werra-Meißner-Kreis	19.640	42.380	73.900	135.920	19.900
Regierungsbezirk Kassel		222.630	503.460	691.800	1.417.940	223.890
Hessen GESAMT		468.460	795.520	1.643.300	2.907.330	440.850

Der erfasste landwirtschaftliche Tierbestand umfasst 2,9 Mio. Tiere, die ungefähr 0,4 Mio. Großvieheinheiten entsprechen. Den höchsten Anteil bei den Tierbestandszahlen hat hierbei mit fast 57 % das Geflügel (Rinder 16 %; Schweine 27 %). Umgerechnet in Großvieheinheiten machen jedoch die Rinder mit 78 % den größten Anteil aus, gefolgt von den Schweinen (20 %) und dem Geflügel (2 %).

Die Abschätzung für das Wirtschaftsdüngeranfall erfolgt mit Betriebsplanungsdaten des KTBL [89]. Der zugrunde gelegte durchschnittliche Wirtschaftsdüngeranfall für die einzelnen Tierarten und -gruppen ist in Tab. 25 dargestellt. Das angegebene Festmistanfall kommt bei der Verwendung mittlerer Einstreumengen. Bei Rindern und Legehennen ist ein Freilandaufenthalt, meist in den Sommermonaten, üblich. In dieser Zeit fallen keine erfassbaren Exkremate an, sodass diese nicht für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen.

Tab. 25: Kalkulationsgrundlage Wirtschaftsdüngeranfall in Hessen [89]

	Tier- plätze/GV	Haltungssystem mit Gülle		Haltungssystem mit Festmist		Freilandhaltung	
		Anteil Tiere [%]	Gülleanfall [m ³ /Tier*a]	Anteil Tiere [%]	Festmist- anfall [t/Tier*a]	Anteil Tiere [%]	Weidetage [ø-Tage*a]
Rinder							
Jungtiere (< ½ Jahr)	3,3	20%	4	80%	1	20%	200
Färsen zur Aufzucht (> ½ Jahr)	2	70%	11	30%	7	50%	200
Mastrinder (> ½ Jahr)	2	70%	11	30%	4	20%	200
Mutterkühe	1	20%	20	80%	10	100%	200
Milchkühe ¹	1	70%	25	30%	10	25%	100
Schweine							
Jungschweine (bis 50 kg)	17	70%	0,5	30%	0,3		
Mastschweine (ab 50 kg) ²	6	70%	2	30%	0,8		
Zuchttiere ^{3, 4}	3	80%	5	20%	2		
Geflügel							
Legehennen	250	50%	0,02	50%	0,02	25%	15-20% Re- duktion des Kot- aufkommens
Masthühner	250	100%	0,01	0%			
Truthühner	250	100%	0,04	0%			

¹ bei einer Leistung von 6.000 kg ECM/Jahr

² Mastendgewicht 117 kg

³ inklusive der Ferkel bis 20 kg

⁴ bei 20 aufgezogenen Ferkeln/Sau*Jahr

Quelle: KTBL-Datensammlung Betriebsplanung 2006/07

In Hessen produzieren jährlich 1,6 Mio. landwirtschaftliche Nutztiere rund 4,7 Mio. t Gülle und 1,1 Mio. t Festmist. Auf dieses anfallende Wirtschaftsdüngeranfall kommt es zu einem Wirtschaftsdüngeranfall, der sich zudem die Bestandsgröße aus. Das Wirtschaftsdüngeranfall von kleinen Tierbeständen ist in der Regel nicht ausreichend, um damit den Betrieb einer Biogasanlage zu ermöglichen. So ist zum Beispiel der Betrieb einer Biogasanlage bei Beschickung mit 30 Gew.-% Wirtschaftsdünger mit einer installierten Leistung von 200 kW_{el} erst ab einer Bestandsgröße von 100 GV möglich. Bei kleineren Bestandsgrößen bietet sich zum Beispiel eine Kooperation mit anderen tierhaltenden Betrieben an oder eine Lieferung ihrer Wirtschaftsdünger an schon bestehende Biogasanlagen. Die durchschnittliche Verfügbarkeit des Wirtschaftsdüngeranfalls in Abhängigkeit von der Bestandsgröße ist in Tab. 26 dargestellt. Die Abschätzung der Rahmenbedingungen erfolgte in Diskussion mit Fachstellen, Verbänden und den Fachabteilungen der hessischen Landkreise.

Tab. 26: Abschätzung der Auswirkungen von Bestandsgrößen auf die durchschnittliche Verfügbarkeit der Wirtschaftsdünger

Bestandsgröße	Ø-Verfügbarkeit der Wirtschaftsdünger
< 100 GV	30%
100 bis 200 GV	60%
> 200 GV	90%

In Hessen stehen 69 % der gehaltenen landwirtschaftlichen Nutztiere in Beständen mit weniger als 100 GV. Lediglich 7 % der gehaltenen Nutztiere stehen in Beständen, die mehr als 200 GV umfassen [68]. Nach Berücksichtigung des Einflusses der Bestandsgröße auf die Verfügbarkeit der Wirtschaftsdünger stehen in Hessen knapp 2 Mio. t Gülle sowie rund 0,4 Mio. t Festmist und damit ca. 40 % des Aufkommens für eine energetische Nutzung zur Verfügung (vgl. Tab. 27).

Tab. 27: Bestandsgrößenstruktur viehhaltender Betriebe und energetisch nutzbarer Wirtschaftsdüngeranfall in Hessen

		Bestandsgrößenstruktur			Wirtschaftsdüngeranfall	
		< 100 GV [%]	100 bis 200 GV [%]	> 200 GV [%]	Gülle [t/a]	Festmist [t/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	100%	0%	0%	200	30
	Frankfurt/Main	100%	0%	0%	600	100
	Stadt Offenbach	100%	0%	0%	0	0
	Wiesbaden	42,7%	16,2%	41,1%	5.000	1.700
	Bergstraße	81,2%	14,9%	3,9%	46.300	11.400
	Darmstadt-Dieburg	61,5%	21,7%	16,8%	51.900	11.500
	Groß-Gerau	86,8%	13,2%	0%	9.300	2.000
	Hochtaunuskreis	73,6%	18,7%	7,7%	13.900	3.700
	Main-Kinzig-Kreis	65,1%	23,5%	11,4%	122.400	31.100
	Main-Taunus-Kreis	83,9%	16,1%	0%	3.200	800
	Odenwaldkreis	68,9%	25,4%	5,7%	74.300	17.200
	Landkreis Offenbach	62,1%	29,2%	8,7%	9.700	2.300
	Rheingau-Taunus-Kreis	89,1%	10,9%	0%	8.800	2.500
Wetteraukreis	65,9%	22,2%	11,9%	87.400	20.000	
Regierungsbezirk Darmstadt		77,2%	15,1%	7,7%	433.000	104.300
RB Gießen	Gießen	62,9%	22,9%	14,2%	55.400	14.800
	Lahn-Dill-Kreis	74,4%	20,5%	5,1%	30.100	9.700
	Limburg-Weilburg	64,7%	31,7%	3,6%	73.200	16.700
	Marburg-Biedenkopf	69,1%	23,9%	7,0%	126.500	29.200
	Vogelsbergkreis	57,6%	32,4%	10,1%	244.600	54.500
	Regierungsbezirk Gießen		65,7%	26,3%	8,0%	529.800
RB Kassel	Stadt Kassel	66,1%	33,9%	0,0%	40	0
	Fulda	69,5%	23,6%	6,9%	254.900	57.500
	Hersfeld-Rotenburg	70,7%	24,7%	4,6%	101.000	23.000
	Landkreis Kassel	63,4%	31,1%	5,5%	100.900	20.800
	Schwalm-Eder-Kreis	63,1%	28,8%	8,1%	205.100	41.400
	Waldeck-Frankenberg	61,1%	35,0%	3,9%	266.500	57.800
	Werra-Meißner-Kreis	59,2%	35,1%	5,7%	94.200	20.400
Regierungsbezirk Kassel		64,7%	30,3%	5,0%	1.022.600	220.900
Hessen GESAMT		69%	24%	7%	1.985.400	450.100

Bei der Vergärung der für eine energetische Nutzung verfügbaren Wirtschaftsdünger in einer Standardbiogasanlage (8.000 Volllaststunden/Jahr; 30 % Prozesswärmebedarf) und der anschließenden Verstromung durch ein BHKW (40 % elektrischer und 45 % thermischer Wirkungsgrad) ergibt sich jährlich eine elektrische Energiemenge von 180.500 MWh_{el.}. Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2020 rund 70 % der überschüssigen Wärme genutzt wird, sodass hiervon fast 100 GWh thermisch verwendet werden.

4.1.1.3 Entwicklungsperspektiven

Der energetische Einsatz von Wirtschaftsdüngern sowie deren Aufkommen und Zusammensetzung ist auch von den Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung abhängig. Hier deutet sich sowohl ein Rückgang der gehaltenen Tiere als auch der Tierhalter an. So ging zum Beispiel die Anzahl der viehhaltenden landwirtschaftlichen Betriebe im Zeitraum 2003–2007 um knapp 3.000 Betriebe (rund 15 %) zurück. Die Anzahl der gehaltenen Tiere (in Großvieheinheiten) sank im gleichen Zeitraum um 27.000 GV, was knapp 5 % entspricht [68][65]. Dies spricht für eine Konzentration der

Tiere in größeren Beständen. Allgemein gilt, dass je größer ein Bestand ist, desto wahrscheinlicher werden die Tiere, unter anderem aus arbeitswirtschaftlichen Gründen, einstreulos gehalten. Aus dieser Entwicklung lässt sich demzufolge schlussfolgern, dass zukünftig tendenziell ein geringeres Gesamtaufkommen von Wirtschaftsdüngern vorhanden sein wird. Die Verfügbarkeit für eine energetische Nutzung wird aber zunehmen, da die Bestandsgrößen wachsen. Zudem werden zukünftig voraussichtlich mehr Gülle und weniger Festmist anfallen als zum jetzigen Zeitpunkt.

Mit der Novellierung des EEG 2009 wurde ein Schwerpunkt auf die Förderung von kleinen Biogasanlagen auf Wirtschaftsdüngerbasis gelegt [110]. Es ist zu erwarten, dass in diesem Bereich neue landwirtschaftliche Biogasanlagen entstehen werden.

4.1.2 Energiepflanzen auf Ackerland

Neben Energiepflanzen, die der Biogaserzeugung dienen, können auf Ackerland weitere Energiepflanzen angebaut werden. Dies sind zum einen Pflanzen zur Treibstoffherzeugung, wie Raps, Rüben und Getreide, zum anderen Pflanzen, die einer thermischen Nutzung zugeführt werden können, wie Miscanthus oder Holz aus Kurzumtriebsplantagen. Der Anbau von Energiepflanzen auf Ackerland unterliegt demzufolge Nutzungskonkurrenzen, nicht nur gegenüber der menschlichen und tierischen Ernährung, sondern auch zwischen den verschiedenen Formen der Energieerzeugung.

4.1.2.1 Stand der Nutzung

Deutschlandweit werden auf knapp 2 Mio. ha Ackerfläche (17 % der Ackerfläche Deutschlands) nachwachsende Rohstoffe angebaut. Der Anbau von Energiepflanzen zur Biogaserzeugung macht mit 530.000 ha etwa ein Viertel der Energiepflanzenanbaufläche aus. [41]

Wie hoch der Anteil der erzeugten nachwachsenden Rohstoffe in Hessen ist, kann aus den Daten nicht abgeleitet werden, da regionale Konzentrationen für einzelne Bereiche auftreten. So ist die Biogaspflanzenanbaufläche in Regionen mit einer hohen Biogasanlagendichte größer als in Regionen mit nur wenigen Biogasanlagen. In Hessen wurden 2008 auf rund 4.600 ha Stilllegungsflächen Silomais angebaut, für den die Energiepflanzenprämie beantragt wurde [96]. Dies dient als erster Anhaltspunkt. Erfahrungsgemäß werden zum einen nicht für alle Flächen Energiepflanzenprämien beantragt, zum anderen werden auch andere Pflanzen, wie zum Beispiel Getreideganzpflanzen, in Biogasanlagen eingesetzt.

Die installierte kW-Leistung von NawaRo-Biogasanlagen in Hessen betrug Ende 2008 rund 26.400 kW_{el.} [34]. Unter der Voraussetzung, dass 75 % der benötigten Energiemenge mit nachwachsenden Rohstoffen vom Acker erzeugt wurden, ergibt dies eine installierte Leistung von 19.800 kW_{el.}, die mit ackerbaulich erzeugten Substraten versorgt wurde. Je kW installierte Leistung werden durchschnittlich 0,4 bis 0,5 ha Ackerfläche für den Anbau nachwachsender Rohstoffe benötigt [120]. Demzufolge wurden in Hessen 2008 auf rund 9.900 ha, das sind 2 % der Ackerflächen, Energiepflanzen für die Biogasgewinnung angebaut.

4.1.2.2 Potenziale

Für den Anbau von Energiepflanzen steht nicht die gesamte Ackerfläche Hessens zur Verfügung. Auf der einen Seite gibt es Anbaukulturen, die für die Landwirte ökonomisch interessanter sind als der Anbau von Energiepflanzen. Dazu zählen der Anbau von Kartoffeln, Zuckerrüben sowie Gartengewächsen wie Blumen, Erdbeeren oder Gemüse. Auf der anderen Seite wird ein gewisser Anteil der Ackerfläche benötigt, um Futterpflan-

zen anzubauen. Dazu zählt zum Beispiel der Anbau von Silomais oder Klee gras, die nach einer Silierung in der Tierfütterung genutzt werden sollen. Die Ackerfläche Hessens beträgt 486.086 ha. Abzüglich der Anbauflächen für Zuckerrüben (16.764 ha), Gartengewächse (8.284 ha) und Kartoffeln (4.909 ha) sowie der Futterpflanzenanbaufläche (49.622 ha) ergibt sich eine verfügbare Ackerfläche in Hessen von 406.507 ha.

Die verfügbare Fläche ist nicht ausschließlich dem Energiepflanzenanbau vorbehalten, sondern kann auch zum Anbau von Getreide oder sonstigen Pflanzen für die menschliche Ernährung dienen. Die verfügbare Fläche für den Energiepflanzenanbau ist ebenso abhängig von der Tierbesatzdichte des Landkreises. Je höher der Tierbesatz, umso mehr Ackerfläche wird benötigt, um Kraftfutter (meist Getreide) für die Tierernährung zu erzeugen. Bis zu einer Tierbesatzdichte von einer Großvieheinheit je Hektar Ackerfläche wird von einem Anteil von 30 % des zur Verfügung stehenden Ackerlandes für den Energiepflanzenanbau ausgegangen. Liegt die Tierbesatzdichte über einer Großvieheinheit je Hektar Ackerfläche, wird lediglich von einer 20-%-igen Nutzung der verfügbaren Fläche ausgegangen. Die durchschnittliche Tierbesatzdichte in Hessen liegt bei 0,9 GV/ha Ackerfläche (AF); in sechs Landkreisen überschreitet die Tierbesatzdichte die Grenze von einer Großvieheinheit je Hektar Ackerland. Dies sind in Südhessen der Main-Kinzig-Kreis (1,2 GV/ha AF) und der Odenwaldkreis (2,6 GV/ha AF), in Mittelhessen der Vogelsbergkreis (1,6 GV/ha AF) sowie in Nordhessen die Landkreise Fulda (2 GV/ha AF), Hersfeld-Rotenburg (1,1 GV/ha AF) und Waldeck-Frankenberg (1,4 GV/ha AF). Somit ergibt sich eine potenzielle Energiepflanzenanbaufläche von 109.300 ha als Grundlage der Potenzialbetrachtung.

Tab. 28: Abschätzung der Ackerflächen mit der Möglichkeit des Energiepflanzenanbaus

	Anbaufläche Ackerland [ha]	Flächen, die voraussichtlich nicht zur Verfügung stehen				praktisch verfügbares Ackerland [ha]	für Energiepflanzen verfügbare Ackerfläche	
		Kartoffeln [ha]	Zucker- rüben [ha]	Garten- gewächse [ha]	Futter- pflanzen [ha]		[%]	[ha]
Darmstadt	1.485	k. A.	103	296	186	900	30	300
Frankfurt/Main	3.559	123	368	308	k. A.	2.760	30	800
Stadt Offenbach	176	k. A.	0	4	k. A.	170	30	100
Wiesbaden	4.050	178	478	99	361	2.930	30	900
Bergstraße	13.215	726	1.066	1.993	1.653	7.780	30	2.300
Darmstadt-Dieburg	20.557	623	1.743	2.014	1.765	14.410	30	4.300
Groß-Gerau	14.422	710	1.367	1.572	557	10.220	30	3.100
Hochtaunuskreis	7.695	108	373	38	714	6.460	30	1.900
Main-Kinzig-Kreis	23.705	204	641	298	3.408	19.150	20	3.800
Main-Taunus-Kreis	5.691	42	518	121	366	4.640	30	1.400
Odenwaldkreis	6.378	84	61	10	1.859	4.360	20	900
Landkreis Offenbach	4.535	86	17	114	499	3.820	30	1.100
Rheingau-Taunus-Kreis	11.602	17	51	12	629	10.890	30	3.300
Wetteraukreis	40.387	714	3.534	234	2.303	33.600	30	10.100
Regierungsbezirk Darmstadt	157.457	3.615	10.320	7.113	14.300	122.090		34.300
Gießen	22.489	154	645	87	1.532	20.070	30	6.000
Lahn-Dill-Kreis	9.147	47	18	18	1.353	7.710	30	2.300
Limburg-Weilburg	21.993	114	348	13	2.571	18.950	30	5.700
Marburg-Biedenkopf	31.931	128	211	55	3.833	27.700	30	8.300
Vogelsbergkreis	31.037	43	133	51	3.885	26.930	20	5.400
Regierungsbezirk Gießen	116.597	486	1.355	224	13.174	101.360		27.700
Stadt Kassel	399	6	k. A.	28	29	340	30	100
Fulda	28.377	111	67	39	4.530	23.630	20	4.700
Hersfeld-Rotenburg	22.549	68	29	14	2.526	19.910	20	4.000
Landkreis Kassel	40.214	273	1.309	215	3.211	35.210	30	10.600
Schwalim-Eder-Kreis	55.155	195	2.666	578	3.481	48.240	30	14.500
Waldeck-Frankenberg	40.155	91	214	13	6.031	33.810	20	6.800
Werra-Meißner-Kreis	25.183	64	804	60	2.340	21.920	30	6.600
Regierungsbezirk Kassel	212.032	808	5.089	947	22.148	183.060		47.300
Hessen GESAMT	486.086	4.909	16.764	8.284	49.622	406.510		109.300

Die Energiepflanzenanbaufläche von 109.300 ha ist wiederum nicht ausschließlich dem Anbau von Energiepflanzen zur Biogaserzeugung vorbehalten. Andere Energiepflanzen können der Treibstoffherstellung (Raps) oder der Produktion von Biomasse zur thermischen Nutzung (Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus) dienen. Nach Abwägung unterschiedlicher Aspekte wird von rund 50 % der für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehenden Fläche für den Anbau von einjährigen Energiepflanzen zur Biogaserzeugung

gung ausgegangen. Demnach stehen hessenweit rund 54.650 ha für den Anbau von einjährigen Energiepflanzen wie Mais und Getreide-Ganzpflanzensilage für die Biogaserzeugung zur Verfügung. Weitere 30 %, also ca. 32.800 ha, werden mit Energieraps bestellt. Die restliche Fläche teilt sich nach dem gewählten Modell auf in 10 % Kurzumtriebsplantagen (10.900 ha), Miscanthus zur energetischen und stofflichen Nutzung (7.700 ha) und weiteren NawaRo zur stofflichen Nutzungen (3.300 ha).

Tab. 29: Abschätzung der verfügbaren Anbaufläche für Energiepflanzen sowie deren Aufteilung

		verfügbare Ackerfläche f. Energiepflanzen [ha]	einj. Energie- pflanzen [ha]	Energie- raps [ha]	Kurzum- triebs- plantage [ha]	Mis- canthus [ha]	NawaRo stoffl. [ha]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	300	150	90	30	20	10
	Frankfurt/Main	800	400	240	80	60	20
	Stadt Offenbach	100	50	30	10	10	0
	Wiesbaden	900	450	270	90	60	30
	Bergstraße	2.300	1.150	690	230	160	70
	Darmstadt-Dieburg	4.300	2.150	1.290	430	300	130
	Groß-Gerau	3.100	1.550	930	310	220	90
	Hochtaunuskreis	1.900	950	570	190	130	60
	Main-Kinzig-Kreis	3.800	1.900	1.140	380	270	110
	Main-Taunus-Kreis	1.400	700	420	140	100	40
	Odenwaldkreis	900	450	270	90	60	30
	Landkreis Offenbach	1.100	550	330	110	80	30
	Rheingau-Taunus-Kreis	3.300	1.650	990	330	230	100
	Wetteraukreis	10.100	5.050	3.030	1.010	710	300
Regierungsbezirk Darmstadt	34.300	17.150	10.290	3.430	2.410	1.020	
RB Gießen	Gießen	6.000	3.000	1.800	600	420	180
	Lahn-Dill-Kreis	2.300	1.150	690	230	160	70
	Limburg-Weilburg	5.700	2.850	1.710	570	400	170
	Marburg-Biedenkopf	8.300	4.150	2.490	830	580	250
	Vogelsbergkreis	5.400	2.700	1.620	540	380	160
	Regierungsbezirk Gießen	27.700	13.850	8.310	2.770	1.940	830
RB Kassel	Stadt Kassel	100	50	30	10	10	0
	Fulda	4.700	2.350	1.410	470	330	140
	Hersfeld-Rotenburg	4.000	2.000	1.200	400	280	120
	Landkreis Kassel	10.600	5.300	3.180	1.060	740	320
	Schwalm-Eder-Kreis	14.500	7.250	4.350	1.450	1.020	440
	Waldeck-Frankenberg	6.800	3.400	2.040	680	480	200
	Werra-Meißner-Kreis	6.600	3.300	1.980	660	460	200
	Regierungsbezirk Kassel	47.300	23.650	14.190	4.730	3.320	1.420
Hessen GESAMT	109.300	54.700	32.800	10.900	7.700	3.300	

Graphisch ist die potenzielle Bebauung der Energiepflanzenanbaufläche in Abb. 14 veranschaulicht.

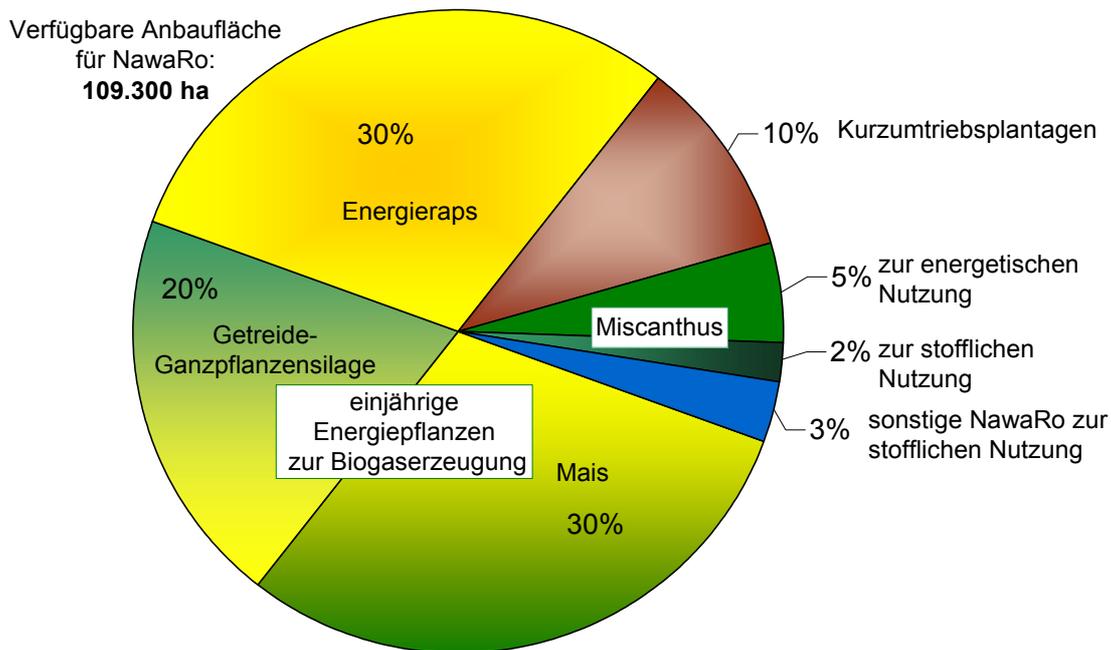


Abb. 14: Modellhafte Flächenverteilung der verfügbaren Anbaufläche für NawaRo in Hessen

Es wird angenommen, dass auf 60 % der für einjährige Energiepflanzen verfügbaren Flächen Mais sowie auf den übrigen 40 % Getreide für die Erzeugung von Getreideganzpflanzensilage angebaut wird. Durch verbesserte Anbaustrategien und Züchtungserfolge wird in einer eher konservativen Schätzung von einer Ertragssteigerung der Biomasse von 1 % jährlich bis 2020 ausgegangen [5]. Ausgehend von einem durchschnittlichen Biomasseertrag von 50 t/ha bei Mais und 25 t/ha bei Getreideganzpflanzen (Basisjahr 2008) können im Jahr 2020 durchschnittlich rund 56,3 t/ha Mais und 28,2 t/ha Getreideganzpflanzen geerntet werden. Die geernteten Mengen werden zur Konservierung einsiliert, wobei es zu Konservierungsverlusten in Höhe von 10 % kommt [89]. Somit kann in Hessen ein für die energetische Nutzung verfügbares Biomasseaufkommen aus nachwachsenden Rohstoffen vom Acker von rund 2,3 Mio. t erzeugt werden.

Tab. 30: Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen vom Acker

	Anbauhäufigkeit [%]	Fläche [ha]	Ertrag [t]	verfügbarer Ertrag ¹ [t]
Mais	60	32.800	1.848.000	1.663.000
Getreide-GPS	40	21.900	617.000	555.000

¹ Aufbereitung zu Silagen; abzüglich 10 % Konservierungsverluste

Der Biogasertrag von Maissilage liegt bei 200 Nm³ je Tonne Frischmasse, der von Getreideganzpflanzensilage bei 196 Nm³ je Tonne Frischmasse [89]. Der Methangehalt bei beiden Substraten beträgt im Schnitt 52 % [89]. Bei der Vergärung dieser Menge in einer Standardbiogasanlage (8.000 Vollaststunden/Jahr; 30 % Prozesswärmebedarf) und der anschließenden Verstromung durch ein BHKW (40 % elektrischer und 45 % thermischer

Wirkungsgrad) fallen rund 905 GWh_{el.} an. Des Weiteren fallen bei einem Ausnutzungsgrad von 70 % der extern nutzbaren Wärme bis 2020 fast 500 GWh_{th.} an.

4.1.2.3 Entwicklungsperspektiven

Die Entwicklung der Anbauflächen für Energiepflanzen ist in hohem Maße von der Preisentwicklung bei den anderen agrarisch erzeugten Rohstoffen und Lebensmitteln sowie den Energiepreisen abhängig. Die Preisentwicklung ist nur schwer über einen langen Zeitraum voraussagbar und von Faktoren wie Erntemengen und -qualität, Nachfrage, Entwicklung der Betriebsmittelpreise usw. abhängig.

Zweikultur-Nutzungssysteme, die den Anbau von zwei Energiepflanzenkulturen in einer Wachstumsperiode erlauben, ermöglichen im Mittel um 11 % [90] höhere Trockenmasseerträge pro Flächeneinheit. Sie könnten damit zu einer Verbesserung der ökonomischen Rahmenbedingungen des Energiepflanzenanbaus für die Biogaserzeugung beitragen. Den insgesamt höheren Trockenmasseerträgen steht allerdings auch ein höherer Arbeits- und Kostenaufwand für Anbau und Ernte der beiden Kulturen gegenüber, der zu einem geringeren Deckungsbeitrag pro Hektar im Vergleich zum Anbau von leistungsstarken Einzelkulturen wie Silomais oder auch Ganzpflanzensilage führt [90]. Grundlage für zufriedenstellende Erträge des Zweinutzungssystems ist zudem eine ausreichende Wasserversorgung für die Zweitkultur. Wird diese nicht durch ausreichende Niederschläge oder tiefgründige Böden mit gutem Wasserspeichervermögen sichergestellt, kann eine Beregnung erforderlich werden.

Besonders im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe vom Ackerland wird es voraussichtlich zu verstärkt auftretenden Flächenkonkurrenzen zwischen Pflanzen, die der menschlichen und/oder tierischen Ernährung dienen, Energiepflanzen und stofflich genutzten Pflanzen kommen. Diese Diskussion ist zurzeit schon im Gange und wird plakativ mit „Tank oder Teller“ umschrieben. Grundsätzlich sollte jedoch bedacht werden, dass im Bereich des Anbaus von einjährigen Energiepflanzen der aktuellen Anbaufläche von 9.900 ha in Hessen eine potenzielle Anbaufläche von 54.650 ha gegenübersteht. Die derzeitige Nutzung liegt also lediglich bei einem Anteil von 18,2 % des Potenzials. Eine Steigerung der Biogaspflanzenanbaufläche auf Ackerland um über 550 % gegenüber dem derzeitigen Stand wäre demzufolge möglich.

4.1.3 Grünland

4.1.3.1 Stand der Nutzung

291.840 ha der Fläche Hessens wird aus Dauergrünland genutzt [68]. Davon werden 38 % (111.100 ha) als Wiesen mit einer ausschließlichen Schnittnutzung zur Heu- und Silagegewinnung verwendet [68]. Weitere 51 % der Dauergrünlandflächen (147.700 ha) werden als Mähweiden mit einer kombinierten Schnitt- und Weidenutzung bewirtschaftet [68]. Die Nutzung der restlichen 31.570 ha Dauergrünland erfolgt als Weide, Streuwiese oder Hutung. Eine genaue Unterteilung dieser zusammengefassten Gruppe ist mit den Angaben der Agrarstrukturhebung nicht möglich. Vermutlich nehmen Weiden jedoch den größten Anteil innerhalb dieser Gruppe ein.

Aktuell findet zum größten Teil eine klassische Nutzung des Dauergrünlands statt. Das bedeutet, dass die Flächen entweder gemäht werden, um so Tierfutter zu gewinnen, oder als Weide den Tieren zur Verfügung gestellt werden. Üblicherweise wird Grünland beziehungsweise dessen konservierter Aufwuchs von Raufutterfressern wie Rindern, Schafen und Pferden verwertet. Die Grundlage für den Grünlandflächenbedarf bilden demzufolge die hessischen Tierbestände [68]. Dabei wird davon ausgegangen, dass der gesamte hessische Pferdebestand 2,5-mal so hoch ist wie der landwirtschaftlich registrierte Pfer-

debestand. Zudem erfolgt eine Berücksichtigung sonstiger Tiere, wie zum Beispiel Esel, Ziegen o. Ä., mit einem Flächenbedarf von 0,5 ha/Tier. Der durchschnittliche Grünlandbedarf je Tier [6] sowie die gesamte benötigte Grünlandfläche ist in Tab. 31 dargestellt.

Tab. 31: Benötigte Grünlandfläche in Hessen [6][68]

	Tierbestand	benötigte Grünlandfläche	
		ha/Tier	ha gesamt
Milchkühe	154.800	0,3	46.440
Mutterkühe	42.400	1	42.400
Aufzuchttiere	138.400	0,5	69.200
Masttiere	74.100	0,2	14.820
Schafe	169.500	0,2	33.900
Pferde	94.000	0,8	75.200
sonstige Tiere	10.000	0,5	5.000
benötigte Gesamtfläche			286.960

Der hessische Tierbestand der Raufutterfresser benötigt rund 286.960 ha Grünlandfläche, damit die Fütterung der Tiere sichergestellt werden kann. Bei einer vorhandenen landwirtschaftlichen Grünlandfläche von 291.840 ha ist schon derzeit eine Differenz von knapp 5.000 ha festzustellen, die vermutlich durch eine geringere Bewirtschaftungsintensität ausgeglichen wird. Zudem ist festzustellen, dass Hessen das einzige Flächenbundesland ist, in dem die Dauergrünlandentwicklung im Verhältnis zur Ackerfläche positiv verläuft. Das heißt, das Verhältnis zwischen Acker- und Grünland hat sich in dem Zeitraum 2005–2008 zugunsten des Grünlandes verschoben (rund 1,5 % mehr Dauergrünland) [100].

Ein Teil des Grünlandaufwuchses wird derzeit in den schon bestehenden Biogasanlagen energetisch genutzt. Aus den Auswertungen des Arbeitskreises Biogas (2009) zum Substrateinsatz in Biogasanlagen geht hervor, dass in fast 70 % der betrachteten Anlagen Grassilage eingesetzt wird. Der Anteil der Grassilage beträgt allerdings nur 4 % am Gesamt-Input. Eine genaue Abschätzung der bereits genutzten Menge ist aufgrund einer fehlenden Datenbasis nicht möglich. Es ist aber davon auszugehen, dass der bereits genutzte Teil im Vergleich zu der potenziell nutzbaren Menge relativ gering ist.

4.1.3.2 Potenziale

Das Potenzial der Grünlandbiomassen, die in der energetischen Nutzung eingesetzt werden können, ist stark von Nutzungsform und -intensität abhängig. Für eine Auswertung der Grünlandpotenziale wurden die in Tab. 32 unterstellten und in Fachgesprächen abgestimmten Anteile der Nutzungsintensitäten für die drei Nutzungsformen „Wiese“, „Mähweide“ und „Weide“ unterstellt. Dabei gilt eine Fläche als intensiv genutzt, wenn sie mindestens dreimal jährlich gemäht/beweidet wird.

In der Übergruppe der „Weiden, Streuwiesen und Hutungen“ wird sicherlich ebenfalls ein Teil der Weiden intensiv genutzt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass eine energetische Nutzung der Grünlandbiomasse von diesen Flächen eher unwahrscheinlich ist. Der Grünlandaufwuchs von Weiden und Hutungen steht schon durch ihre Bewirtschaftungsform (ausschließliche Beweidung) nicht zur Verfügung. Der Anteil der Streuwiesen ist vermutlich relativ gering; zudem ist der Biomasseaufwuchs dieser Flächen aufgrund des späten Nutzungszeitpunktes und somit einer relativ starken Verholzung des Materials nicht für eine Vergärung in Biogasanlagen geeignet. Für diese Nutzungskategorie, die in

der Regel auch durch ungünstige Schlaggrößen gekennzeichnet ist, wird demzufolge davon ausgegangen, dass keine Biomasse für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen zur Verfügung steht.

Für die Verfügbarkeit der Grünlandbiomassen für eine energetische Nutzung wurde angenommen, dass nicht der gesamte Aufwuchs von 20 % bzw. 10 % der Flächen genutzt werden muss, sondern vielmehr die Nutzungsform durch ein bis zwei zusätzlich durchgeführte Schnitte geprägt sein wird. Dies könnte zum Beispiel nach der Heugewinnung bei extensiv genutzten Bewirtschaftungsformen erfolgen und würde zu einer intensiveren Nutzung der Fläche führen.

Tab. 32: Bewirtschaftungsintensitäten, Durchschnittserträge und Verfügbarkeit für eine energetische Nutzung von Grünland

Bewirtschaftungsform	Nutzungsintensität	Anteil [%]	Ø-Ertrag ^{1, 2, 3} [t FM/ha]	Verfügbarkeit für die energetische Nutzung [%]
Wiese	intensiv	60 %	35	20 %
	extensiv	40 %	20	20 %
Mähweide	intensiv	50 %	35	10 %
	extensiv	50 %	20	10 %
Weide u. Ä.	extensiv	100 %	15	0 %

¹ gemittelte Werte nach KTBL-Datensammlung Betriebsplanung 2006/07

² 20 % Trockensubstanz und 90 % organische Trockensubstanz

³ bei Nutzung in einer Biogasanlage abzgl. Konservierungsverlusten von 10 %

Bei den getroffenen Annahmen stehen demzufolge rund 644.000 Tonnen Grünlandbiomasse von Wiesen sowie 406.500 Tonnen von Mähweiden für eine energetische Nutzung in Hessen zur Verfügung. Aus den erläuterten Gründen ist keine Grünlandbiomasse der Gruppe „Weiden, Streuwiesen und Hutungen“ für eine energetische Nutzung verfügbar. Eine detaillierte Aufschlüsselung auf Landkreisebene ist in Tab. 33 dargestellt.

Tab. 33: Dauergrünlandflächen und zum Erntezeitpunkt energetisch verfügbare Grünlandbiomasse

	Dauergrünland [ha]	Wiesen		Mähweiden		Weiden, Streuwiesen, Hutungen		
		Fläche [ha]	energetisch verfügbare Menge [t FM/a]	Fläche [ha]	energetisch verfügbare Menge [t FM/a]	Fläche [ha]	energetisch verfügbare Menge [t FM/a]	
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	304	181	1.000	97	300	22	0
	Frankfurt/Main	464	267	1.500	160	400	36	0
	Stadt Offenbach	100	85	500	15	100	0	0
	Wiesbaden	949	633	3.700	185	500	127	0
	Bergstraße	10.103	4.447	25.800	4.310	11.900	1.302	0
	Darmstadt-Dieburg	5.602	2.887	16.700	1.914	5.300	801	0
	Groß-Gerau	2.417	1.806	10.500	288	800	316	0
	Hochtaunuskreis	4.675	1.906	11.000	2.062	5.700	705	0
	Main-Kinzig-Kreis	22.487	7.886	45.700	11.967	32.900	2.482	0
	Main-Taunus-Kreis	1.432	1.006	5.800	350	1.000	64	0
	Odenwaldkreis	11.023	2.848	16.500	6.568	18.100	1.607	0
	Landkreis Offenbach	2.193	1.669	9.700	289	800	211	0
	Rheingau-Taunus-Kreis	5.435	1.977	11.500	2.608	7.200	811	0
	Wetteraukreis	13.158	6.309	36.600	5.634	15.500	1.190	0
Regierungsbezirk Darmstadt	80.342	33.907	196.500	36.447	100.500	9.674	0	
RB Gießen	Gießen	11.039	4.739	27.500	5.394	14.800	882	0
	Lahn-Dill-Kreis	15.231	5.904	34.200	6.519	17.900	2.665	0
	Limburg-Weilburg	10.535	5.068	29.400	4.465	12.300	986	0
	Marburg-Biedenkopf	19.314	8.978	52.100	8.502	23.400	1.760	0
	Vogelsbergkreis	33.827	11.206	65.000	20.194	55.500	2.337	0
	Regierungsbezirk Gießen	89.946	35.895	208.200	45.074	123.900	8.630	0
RB Kassel	Stadt Kassel	383	74	400	171	500	137	0
	Fulda	35.458	11.957	69.400	20.027	55.100	3.250	0
	Hersfeld-Rotenburg	14.576	5.720	33.200	7.413	20.400	1.293	0
	Landkreis Kassel	11.186	3.004	17.400	6.266	17.200	1.824	0
	Schwalm-Eder-Kreis	16.111	7.053	40.900	6.972	19.200	2.014	0
	Waldeck-Frankenberg	30.022	8.368	48.500	18.741	51.500	2.820	0
	Werra-Meißner-Kreis	13.820	5.119	29.700	6.632	18.200	1.929	0
Regierungsbezirk Kassel	121.556	41.295	239.500	66.222	182.100	13.267	0	
Hessen GESAMT	291.844	111.097	644.200	147.743	406.500	31.571	0	

Von den genannten Mengen wird vorab ein Bergungsverlust von 10 % abgezogen. Zudem steht nicht die gesamte Grünlandbiomasse als Frischmasse für eine Vergärung zur Verfügung. Es muss zuvor eine Konservierung, üblicherweise in Form der Silagebereitung, erfolgen. Bei der Annahme, dass 20 % der verfügbaren Grünlandbiomasse frisch und die übrigen 80 % als Grassilage (abzüglich 10 % Konservierungsverluste) den Biogasanlagen zugeführt werden, ergibt sich eine verfügbare Menge von 870.000 t jährlich. Dabei ist die Veränderung des Trockenmassegehaltes und damit der Gesamtmenge bei der Silierung berücksichtigt. Der Biogasertrag von frischem Gras liegt bei 98 Nm³ je Tonne Frischmasse, der von Grassilage bei 123 Nm³ je Tonne Frischmasse [89]. Der Methangehalt bei beiden Substraten beträgt im Schnitt 54 % [89]. Bei der Vergärung dieser Menge in einer Standardbiogasanlage (8.000 Volllaststunden/Jahr; 30 % Prozesswärmebedarf) und der anschließenden Verstromung durch ein BHKW (40 % elektrischer und 45 % thermischer Wirkungsgrad) fallen rund 221 GWh_{el.} sowie 123 GWh_{th.} (bei einem Nutzungsgrad der extern nutzbaren Wärme von 70 %) an.

4.1.3.3 Entwicklungsperspektiven

Ähnlich wie unter Kapitel 4.1.2.3 beschrieben, unterliegt auch die Grünlandnutzung den aktuellen wirtschaftlichen Bedingungen. Des Weiteren wird die Grünlandnutzung in hohem Maße von der Entwicklung des Nutztierbestandes, besonders der Rinderhaltung,

beeinflusst. So ist davon auszugehen, dass zukünftig immer mehr Grünlandflächen nicht mehr für die Tierproduktion benötigt werden. So verringerte sich der Milchviehbestand in Hessen im Zeitraum 2001–2009 um über 10 %, die Anzahl der gehaltenen Schafe ging im Zeitraum 2001–2008 sogar um fast 18 % zurück. Die Bestände der weiteren Raufutterverwerter, wie zum Beispiel Mutterkühe und landwirtschaftlich gehaltene Pferde, bewegen sich auf relativ niedrigem Niveau; die Bestandsentwicklung blieb im betrachteten Zeitraum jedoch relativ konstant (Pferde: -1 %) bzw. leicht ansteigend (Mutterkühe +10 %). [73] Bei einem fortschreitenden Verlauf dieser Entwicklung ist davon auszugehen, dass zukünftig immer mehr Grünlandflächen nicht mehr benötigt werden, um Tierfutter zu erzeugen.

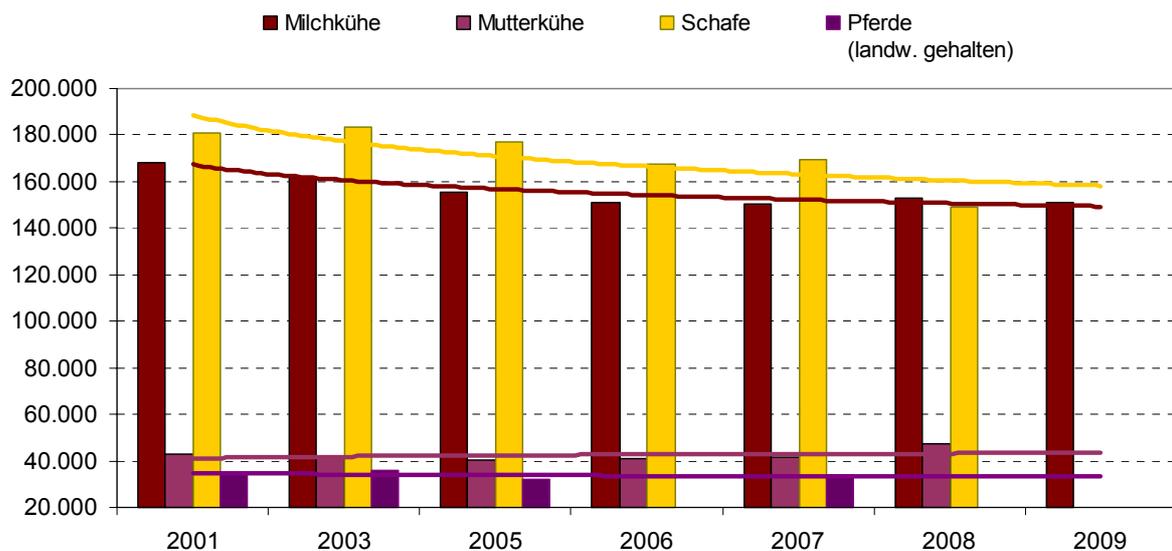


Abb. 15: Entwicklung Tierbestände ausgewählter Raufutterfresser 2001 bis 2009 in Hessen [68][73]

Aufgrund der aufgezeigten Entwicklung der Tierbestände ist davon auszugehen, dass zukünftig mehr als die angenommenen Mengen von 20 bzw. 10 % der Grünlandbiomasse energetisch nutzbar wären. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Flächenleistung durch gutes Management und Düngung vielerorts zu steigern wäre. Auf der anderen Seite ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Rahmen des Hessischen Integrierten Agrarumweltprogramms (HIAP) hessenweit rund 45.000 ha [51], also fast 15 % der Grünlandflächen, extensiv durch Landwirte bewirtschaftet werden sollen. Generell wurde die abgeschätzte Menge bewusst relativ niedrig angesetzt, da die Grünlandflächen in Hessen historisch bedingt (Realteilungsrecht), relativ kleinflächig strukturiert sind, sodass nicht auf allen Flächen eine intensivere Nutzung unter ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll durchzuführen ist. Des Weiteren ist die Vergärung von Grünlandbiomasse in größerer Menge technisch aufwendiger und spezifisch teurer als die Vergärung von z. B. Maissilage.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit für Grünlandbiomasse ist der Einsatz als getrocknetes Material für die Verbrennung beziehungsweise zur Erzeugung von Kraftstoffen der „zweiten Generation“ (vgl. Kapitel 3.2 und 5.3).

4.1.4 Landschaftspflegematerial

Im Rahmen der Landschaftspflege fällt, neben den holzigen Materialien (vgl. Kapitel 3.1.4), ebenfalls halmartige Biomasse an. Landschaftspflegemaßnahmen werden in der Regel entweder in angelegten und gepflegten Anlagen, wie zum Beispiel Parks, Grünanlagen oder Friedhöfen, oder auf Flächen, die unterschiedlichen Naturschutzbestimmungen unterliegen, durchgeführt. Dabei fällt, je nach Pflegezustand, Jahresverlauf und Bewirtschaftungsform, eine relativ inhomogen zusammengesetzte Biomasse an.

Der Grünschnitt aus Parks bzw. vergleichbaren Anlagen wird in der Regel über die krautigen Anteile des Grünabfalls (siehe Kapitel 4.2.2) miterfasst. Die Bewirtschaftung von Grünflächen, die bestimmten Natur- oder Landschaftsschutzbedingungen unterliegen, wird üblicherweise mit Pflegeverträgen an Landwirte übertragen. Demzufolge sind diese Flächen zum größten Teil bei dem landwirtschaftlich bewirtschafteten Grünland enthalten (siehe Kapitel 4.1.3). Der Anfall weiterer krautiger Biomassen im Rahmen der Landschaftspflege ist von untergeordneter Bedeutung, sodass für diesen Bereich keine weiteren Abschätzungen vorgenommen werden.

4.1.5 Landschaftspflegematerial entlang von Verkehrswegen und Versorgungstrassen

Das außerörtliche Straßennetz Hessens umfasst eine Länge von ca. 13.400 km (vgl. Kap. 3.1.5), an dem ein- bis mehrmals innerhalb der Vegetationsperiode das krautige Straßenbegleitgrün gemäht oder gemulcht wird [114].

Während bei den Autobahnrandern von einer Mindestpflegebreite von beidseits jeweils 3 m auszugehen ist, reduziert sich dies bei Bundes-, Land- und Kreisstraßen auf jeweils 2 m, sodass von Pflegeflächen zwischen 0,4 und 0,6 ha je Straßenkilometer pro Mahdtermin auszugehen ist.

4.1.5.1 Stand der Nutzung

Materialien, die bei der Pflege am krautigen Straßenbegleitgrün (vorwiegend Mulchen) anfallen, verbleiben meist auf der Fläche [54]. Der Anteil zu entsorgender Mengen ist relativ gering und beschränkt sich auf folgende Bereiche:

Autobahnen:

Nach einer Mahd beginnen die krautigen Materialien zu trocknen und können bei entsprechender Windeinwirkung (witterungsbedingt, durch entsprechende Fahrzeugbewegungen) aufgewirbelt werden und den fließenden Verkehr beeinträchtigen. In exponierten Lagen kann die Abfuhr von krautigem Pflegematerial notwendig werden, ebenso im Bereich der begrüneten Mittelstreifen. In der Regel werden die Materialien während des Mulchvorgangs aufgesaugt und in einem Container gesammelt. Anschließend erfolgt eine Behandlung des Materials in Kompostierungsanlagen, was mit einem entsprechenden finanziellen Aufwand verbunden ist.

Straßen allgemein:

Je nach Häufigkeit der Mahdtermine können die Mengen verbleibender krautiger Biomassen relativ hoch sein. Damit in Teilbereichen bei etwaigen kräftigen Niederschlagsereignissen die Rohrdurchlässe nicht mit Mulchgut verstopfen, werden je nach Bedarf Umlagerungen vorgenommen oder das Material abtransportiert.

Die Mengen krautigen Pflegematerials, die alljährlich abtransportiert und vorwiegend in Kompostierungsanlagen behandelt werden, bewegen sich hessenweit in einer Größenordnung von wenigen hundert Tonnen.

4.1.5.2 Potenziale

Würden sämtliche Mengen an krautigem Straßenbegleitgrün, die auf den o. g. Straßenrändern durch Mahd anfallen und zur Zeit überwiegend auf der Fläche belassen werden, zusammengetragen, kann von einem jährlichen Aufkommen von rund 62.000 t in Hessen ausgegangen werden. Dies entspricht knapp 6 % des in Kapitel 4.1.3.2 aufgeführten technischen Grünlandpotenzials zur Nutzung in Biogasanlagen bzw. rund 3.000 ha extensiv bewirtschaftetem Grünland.

Um das Energiepotenzial von krautigen Materialien in Biogasanlagen entsprechend nutzen zu können, wäre eine Silierung des Materials notwendig, da frisches Mahdgut in der Regel nur zu geringeren Anteilen der Vergärung zugeführt werden kann. Da die bei den jeweiligen Pflegemaßnahmen anfallenden Mengen jedoch meist sehr gering sind und der Schnitzeitpunkt nicht nach pflanzenbaulichen Kriterien, d. h. zum optimalen Zeitpunkt für die Silierung, gewählt wird, ist der Arbeitsaufwand für Konservierungsmaßnahmen unverhältnismäßig hoch.

4.1.5.3 Entwicklungsperspektiven

Gegenwärtig wird krautiges Straßenbegleitgrün nach der Mahd in der Regel auf den Pflegeflächen belassen, da die Mahdaufnahme, deren Transport und Behandlung mit zusätzlichen Kosten verbunden sind. Bedeutsam ist hier, neben dem bereits erwähnten hohen Aufwand für eine Konservierung, vor allem die Verkehrssicherungspflicht. Schon bei der Mahd muss durch zusätzliches Personal für eine gefahrfreie Regulierung des Verkehrs gesorgt werden. Für die Bergung des Materials nach den für die Silierung erforderlichen Anweilzeiten wäre dieser Aufwand wiederholt erforderlich.

Würde für die Pflegematerialien, die Behandlung bei freier Anlieferung in einer Biogasanlage unterstellt, hingegen ein entsprechendes Entgelt vom Anlagenbetreiber gezahlt, könnte zumindest die Verwertung im Einzugsgebiet einer Biogasanlage auch finanziell darstellbar werden. Der Aufwand zur Lösung der dabei auftretenden logistischen Probleme bzw. zur Anpassung der Anlage an das anfallende Material sollte dabei jedoch nicht unterschätzt werden.

4.2 Biogas aus Abfällen

Sämtliche biogenen Abfälle neigen unter anaeroben, zugleich auch feuchten Bedingungen zur Vergärung. Dies trifft für alle frischen Abfälle zu, aber auch für Deponiegut, sofern es nicht bereits inertisiert ist. In beiden Fällen entstehen methanhaltige Gase, die – je nach Methananteil im Rohgas – energetisch verwertet werden.

4.2.1 Bioabfall

Die alljährlich in Hessen anfallenden Mengen an Bio- und Grünabfällen werden in der Regel landkreisbezogen dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie in Wiesbaden (HLUG) gemeldet. Dort werden die jeweiligen Daten unter dem Oberbegriff „Bioabfälle“ zusammengeführt und in einer Abfallmengenbilanz mit anderen Abfallströmen jährlich veröffentlicht.

Die Datenbasis für die Erstellung dieser Studie beruht auf den im Jahr 2007 erhobenen Mengen, die 2008 veröffentlicht wurden [55]. Zusätzlich sind weitere Differenzierungen

der Daten durch das HLOG in die Berechnungen eingeflossen, um die Aufkommensmengen von Bioabfällen und Grünabfällen differenziert betrachten zu können.

Neben den Daten für die Landkreise sind in der Bilanz auch jene der eigenständigen kreisfreien Städte (Darmstadt, Kassel, Offenbach und Wiesbaden) separat aufgeführt. Die für die Abfallentsorgung selbst verantwortlichen Städte Bad Vilbel, Kelsterbach und Maintal werden in der Abfallmengenbilanz ebenfalls mit den Aufkommensmengen dargestellt. Im Rahmen dieser Studie sind diese Mengen jedoch den entsprechenden Landkreisen zugeschlagen worden.

Parallel dazu sind Umfrageergebnisse aus einer hessischen Studie verwendet worden [142], um Verwertungswege der biogenen Abfälle besser analysieren und Verwertungsorte gezielt zuordnen zu können. Daneben wurden einige Ansprechpartner entsorgungspflichtiger Kommunen und der unmittelbaren Entsorgungsbranche kontaktiert, um in einigen Teilbereichen Detailwissen zu erheben und dieses in die Datenaus- und -bewertung einfließen lassen zu können.

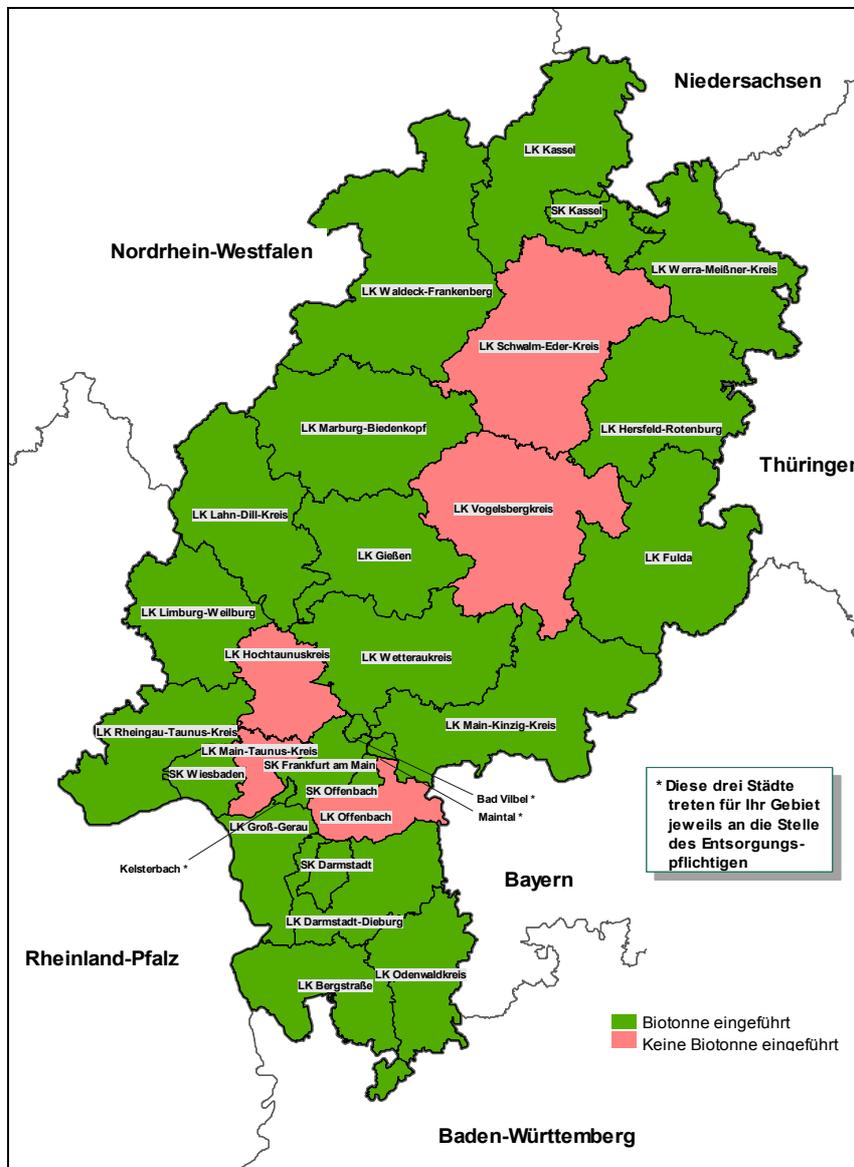


Abb. 16: Kartografischer Überblick über die Bioabfallgetrenntsammlung in Hessen [142]

Abb. 16 gibt einen Überblick über die in Hessen praktizierte Getrennsammlung bei Bioabfällen. Der Anschlussgrad in den Regionen mit getrennter Bioabfallsammlung ist allerdings sehr unterschiedlich und bietet noch deutliche Optimierungspotenziale [142].

4.2.1.1 Stand der Nutzung

Von den rund 470.000 t in Hessen erfassten Bioabfällen (ohne separat erfasste Abfälle wie z. B. Speiseabfälle), die von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) gesammelt werden, erfahren 74 % eine Behandlung innerhalb der Landkreise, fast 14 % werden in den jeweiligen Nachbarlandkreisen behandelt, die restlichen 12 % außerhalb Hessens.

Tab. 34: In hessischen Landkreisen erfasste Bioabfallmengen und deren Verwertung

	Aufkommen		Verwertung			
	Anteil	Landkreis	außerhalb	außerhalb	davon energetisch	
	[t]		LK	Land		
	[t]	[kg/EW*a]	[t]	[t]	[t]	
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	11.040	78	11.040		
	Frankfurt/Main	22.206	34	22.206		15.000
	Stadt Offenbach	0	0			
	Wiesbaden	15.325	56		15.325	15.325
	Bergstraße	31.088	117	27.346		4.151
	Darmstadt-Dieburg	42.820	148	42.820		
	Groß-Gerau	29.514	117	7.129	22.385	22.385
	Hochtaunuskreis	572	3		572	572
	Main-Kinzig-Kreis	43.716	107	43.716		1.376
	Main-Taunus-Kreis	323	1	323		323
	Odenwaldkreis	6.037	61			6.037
	Landkreis Offenbach	873	3		873	873
	Rheingau-Taunus-Kreis	11.149	61			11.149
	Wetteraukreis	22.102	74	18.200	3.902	18.200
	Regierungsbezirk Darmstadt	236.765	63	172.780	43.057	21.337
RB Gießen	Gießen	35.821	140	35.821		
	Lahn-Dill-Kreis	32.452	125	32.452		
	Limburg-Weilburg	21.618	124	21.618		
	Marburg-Biedenkopf	30.220	120	11.529	18.691	
	Vogelsbergkreis	0	0			
	Regierungsbezirk Gießen	120.111	114	101.420	18.691	0
RB Kassel	Stadt Kassel	8.917	46		2.376	6.541
	Fulda	21.488	98			21.488
	Hersfeld-Rotenburg	2.079	17			2.079
	Landkreis Kassel	41.581	172	41.581		
	Schwalm-Eder-Kreis	0	0			
	Waldeck-Frankenberg	27.075	163	27.075		
	Werra-Meißner-Kreis	12.621	117	4.655		7.966
Regierungsbezirk Kassel	113.761	92	73.311	2.376	38.074	0
Hessen GESAMT	470.637	78	347.511	64.124	59.411	74.054

Rund 74.000 t Bioabfälle, dies entspricht 16 %, werden einer energetischen Verwertung (Bioabfallvergärung) zugeführt (Tab. 34). Während im Regierungsbezirk Darmstadt bereits über 31 % in Biogasanlagen behandelt bzw. energetisch verwertet werden, gibt es in den anderen beiden Regierungsbezirken keine Mengen, die auf diese Art eingesetzt werden.

4.2.1.2 Potenziale

Wie hoch das Potenzial für getrennt gesammelte und entsprechend regional energetisch zu verwertenden Bioabfallmengen angesetzt werden kann, ist von mehreren Faktoren abhängig:

- gegenwärtige vertragliche Bindungen
- Möglichkeiten der Bioabfallaufbereitung
- vorhandene Optionen zur energetischen Verwertung (Anlagenstandorte)
- Möglichkeiten zur Steigerung der Bioabfallerfassungsquoten

Würde künftig die Bioabfallerfassung soweit verbessert, dass von der bisher noch im Restabfall befindlichen Bioabfallmenge 30 % separat über die Bioabfallsammlung erfasst würden, wäre damit eine Steigerung der erfassten Pro-Kopf-Aufkommensmenge von gegenwärtig 78 kg um insgesamt 10 kg pro Jahr verbunden. Insbesondere in den Landkreisen, in denen bisher keine oder nur eine geringfügige Getrenntsammlung der Bioabfälle stattfindet, würde dabei eine Sammelmenge von mindestens 45 kg pro Einwohner und Jahr vorausgesetzt [142]. Damit könnte die Gesamtmenge an getrennt gesammelten Bioabfällen in Hessen auf nahezu 536.000 t gesteigert werden. Durchschnittlich können bei der Vergärung von Bioabfällen rund 110 Nm³ Biogas mit einem Methangehalt von 55 % je Tonne Abfall erzeugt werden. Bei einer Vergärung aller gesammelten Bioabfälle in Hessen und der anschließenden Verstromung des erzeugten Gases durch ein BHKW (40 % elektrischer und 45 % thermischer Wirkungsgrad) könnten jährlich rund 129.700 MWh_{el.} erzeugt werden. Des Weiteren könnten rund 71.500 MWh_{th.} genutzt werden (bei 30 % Prozesswärmebedarf der Biogasanlage und 70%-igem Nutzungsgrad der extern nutzbaren Wärme). In diesem Szenario ist vorausgesetzt, dass für die Kompostierung der Gärreste ein Teilstrom der krautigen Grünabfälle als Strukturmaterial bereitgehalten wird (vgl. Kap. 4.2.2.2).

4.2.1.3 Entwicklungsperspektiven

Um künftig die energetische Verwertung der Bioabfälle zu steigern, sind folgende Umsetzungen notwendig:

Mit dem Auslaufen der vertraglichen Bindungen zwischen den Entsorgungsträgern und den Abfallverwertern können Alternativen (Verwertung in Biogasanlagen) favorisiert werden.

Neben einer verbesserten Verwertung der Abfälle ist eine gesteigerte Erfassung vor allen Dingen in den Gebieten ohne oder mit nur sehr geringer Bioabfallsammlung anzustreben. Auch die Verbesserung der Grünabfallsammlung ist empfehlenswert.

4.2.2 Biogas aus krautigen Anteilen des Grünabfalls

Aus der Abfallmengenbilanz des HLUg (2008) [55] bzw. dessen näheren Auskünften sind die Daten über die erfassten Mengen an Grünabfällen landkreisbezogen herausgefiltert worden. Dabei wurde der holzige Bestandteil thematisch bereits in Kapitel 3.3.3 behandelt.

Zu den nichtholzigen Bestandteilen des Grünabfalls zählt in erster Linie der während der Vegetationsperiode anfallende Rasenschnitt. Daneben werden vor allem im Frühjahr und Herbst größere Mengen an Moos und Laub dem Grünabfall zugeführt. Während des Sommerhalbjahrs gelangen zusätzlich krautige Reste aus dem Ziergartenbereich, z. T. auch aus dem Nutzgartenbereich, in diesen Stoffstrom.

4.2.2.1 Stand der Nutzung

Grünabfälle werden durch saisonal ausgeführte Sammlungen (Abholung) oder auf Sammelplätzen, z. B. auf Wertstoffhöfen, Schredderplätzen etc. (Anlieferung), erfasst. Während bei saisonalen Sammlungen meist holziges Material abgefahren wird, können Privatleute auf Sammelplätzen häufig alle Arten von Grünabfällen anliefern.

Das zu Sammelplätzen transportierte Material wird teilweise unmittelbar bei der Anlieferung in holzige und krautige Biomassen getrennt, wobei das holzige Material dann energetisch verwertet werden kann.

Die krautigen Grünabfälle werden dagegen in der Regel der Kompostierung zugeführt. Eine besondere Bedeutung hat dieser Stoffstrom in Anlagen, in denen Bioabfälle vergoren und die Gärreste anschließend kompostiert werden. Hier dienen die krautigen Grünabfälle als Strukturmaterial und stellen eine sachgerechte Kompostierung sicher.

Hessenweit dürfte nur ein sehr geringer Anteil dieser Materialien im Rahmen einer Vergärung auch energetisch verwertet werden. Da sich für diesen Teilstrom keine weiten Transportwege wirtschaftlich darstellen lassen, ist eine energetische Verwertung nur in nahe gelegenen Biogasanlagen realistisch.

4.2.2.2 Potenziale

Die Vergärung krautiger Grünabfälle setzt im Vorfeld eine Trennung von den holzigen Grünabfallanteilen voraus. Wie die Erfahrungen der Betreiber von Grüngutsammelplätzen zeigen, überwiegen bei Anlieferungen durch Private die holzigen Materialien. Werden hierbei holzige Materialien zusammen mit krautigen angeliefert, sind diese beiden unterschiedlichen Qualitäten oftmals miteinander vermischt, sodass eine Trennung durch einen Siebschnitt erforderlich ist. Besonders bei krautigen Resten aus dem Zier- und Nutzgartenbereich kann der mineralische Anteil relativ hoch sein, sodass sich Verfahren mit Nassvergärung nicht sonderlich gut für eine solche Verwertung eignen. Zudem ist das Biogaspotenzial weitgehend abgestorbener Pflanzenteile sehr gering.

Insgesamt könnten unter optimierten Bedingungen, wie sie in Kapitel 3.3.3.2 erläutert sind, 573.400 t Grünabfall in Hessen gesammelt werden. Erfahrungsgemäß besteht rund 60 % der anfallenden Menge aus krautigen Materialien. Somit könnten hessenweit etwa 344.000 t krautige Materialien aus dem Grünabfall bereitgestellt werden. Für diese Menge bietet sich die gleichmäßige Aufteilung auf drei Stoffströme an: rund 115.000 t könnten für die Bereitstellung von hochwertigen Komposten für die Erdenindustrie genutzt werden; die gleiche Menge sollte als Strukturmaterial für die Kompostierung von Gärresten aus Bioabfällen vorgesehen werden, während das letzte Drittel zur energetischen Nutzung in Vergärungsanlagen dienen kann.

Der für die Vergärung vorgesehene Stoffstrom von 115.000 t sollte zeitnah in Biogasanlagen eingesetzt werden können. Hierbei ist wichtig, dass es sich um möglichst frische Materialien handelt, um einen entsprechenden Gasertrag zu erzielen. Aus krautigem Grünabfall kann ein Biogasertrag von 80 Nm³ mit einem Methangehalt von 52 % pro Tonne Frischmasse erzeugt werden. Bei einer Vergärung der verfügbaren Menge an Grünabfällen und der anschließenden Verstromung des erzeugten Gases durch ein BHKW (40 % elektrischer und 45 % thermischer Wirkungsgrad) könnten jährlich rund 19.000 MWh_{el.} erzeugt werden. Des Weiteren könnten rund 8.600 MWh_{th.} genutzt werden (bei 30 % Prozesswärmebedarf der Biogasanlage und 70%-igem Nutzungsgrad der extern anfallenden Wärme).

4.2.2.3 Entwicklungsperspektiven

Sicherlich lässt sich auch bei diesem Teilstrom der Grünabfälle der ausschleusbare Anteil künftig erhöhen, wenn bei separaten Erfassungen im Bringsystem (private oder gewerbliche Anlieferer) unterschiedliche Materialqualitäten bei Anlieferung bereits getrennt werden. Zudem führt eine Verbesserung der Sammelsysteme, die auch die Komfortansprüchen der Bürger berücksichtigt, zu hohen Erfassungsmengen im Bereich der Grünabfälle [78].

In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, dass mit zunehmender Behandlung biogener Abfälle in Biogasanlagen eine Nachrotte des Gärrestes erfolgt, für die entsprechende Strukturmaterialien zur ausreichenden Belüftung (Aerobisierung) benötigt werden. Zudem ist die Erzeugung von hochwertigen Komposten als Grundlage für die Erdenindustrie aus diesem Stoffstrom aus ökologischer Sicht empfehlenswert. Daher ist es nicht sinnvoll, dass sämtliche Stoffstromanteile, die sich für eine Vergärung eignen würden, auch so verwertet werden.

4.2.3 Biogas aus gewerblichen Abfällen

Zur Herstellung von Biogas aus gewerblichen Abfällen eignen sich die nativ-organischen Bestandteile der gewerblichen Abfälle. Darunter fallen zum einen Küchen- und Speiseabfälle. Dies sind Lebensmittelreste, die in Gaststätten oder Einrichtungen zur Gemeinschaftsverpflegung, wie zum Beispiel Kantinen und Mensen, anfallen. Zum anderen sind dies organische Gewerbeabfälle, die bei gewerblichen Produktionsprozessen auf tierischer oder pflanzlicher Basis anfallen. Des Weiteren zählen auch verpackte Lebensmittel (z. B. aus Fehlchargen, nach Überschreitung des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD) oder nach Kühlschäden) zu diesem Bereich.

Für diesen Stoffstrom besteht in Deutschland keine Andienungspflicht an die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, sodass die Erzeuger sich selbst um die schadlose Entsorgung bzw. Verwertung bemühen müssen. In der Regel wird die Entsorgung an private Unternehmen übertragen. Deshalb findet für diesen Bereich keine zusammenfassende Mengenerfassung statt, sodass keine abgesicherten Daten über die angefallenen Mengen verfügbar sind.

4.2.3.1 Stand der Nutzung

Im Rahmen einer Befragung bei in Hessen zugelassenen Betrieben zur Speiseabfallsammlung bzw. -beförderung, -behandlung und/oder -verarbeitung kamen die folgenden Ergebnisse zutage. Die befragten Betriebe erfassten rund 37.000 t Küchen- und Speiseabfälle aus öffentlichen Restaurants, Catering-Einrichtungen, Kantinen und Großküchen. Zusätzlich dazu wurden rund 8.500 t organische Gewerbeabfälle im Jahr erfasst. Dies dürfte jedoch nur einen Bruchteil der tatsächlich anfallenden Menge darstellen. Alle erfassten Reststoffe wurden einer energetischen Verwertung zugeführt, wovon knapp ein Drittel in hessischen Biogasanlagen vergoren wird. Die restlichen Mengen werden, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung, in andere Bundesländer verbracht [142].

Drei Anlagen, die die organischen Gewerbeabfälle teilweise als Coferment verwenden, sind in Nordhessen (Vellmar/Fulda) und in Südhessen (Bürrstadt und Friedberg) zu finden. Zusätzliche Kapazitäten ermöglicht eine Anlage der Raiffeisen-Warenzentrale, die 2008 in Bebra in Betrieb gegangen ist. In Büttelborn, Lampertheim, Gießen und Fulda unterhalten gewerbliche Entsorgungsunternehmen, die im Bereich der Küchen- und Speiseabfallsammlung tätig sind, Umschlagplätze.

Ein weiterer Bereich der Erzeugung von Biogas ergibt sich aus der Vergärung von gewerblichen organischen Abwässern. Es wird im Rahmen dieser Studie davon ausgegan-

gen, dass ein großer Teil der vorhandenen Kapazitäten in diesem Bereich bereits energetisch genutzt wird. So konnte eine erzeugte Energiemenge von rund 50 GWh aus unterschiedlichen gewerblichen Kläranlagen (vgl. Seite 89) ermittelt werden, die bei der aktuellen Nutzung berücksichtigt wurden.

4.2.3.2 Potenziale

Im Bereich der Küchen- und Speiseabfälle kann die anfallende Menge näherungsweise aus der Anzahl der Einrichtungen zur Gemeinschaftsverpflegung, deren ausgegebenen Mahlzeiten und einem spezifischen Reststoffanfall (rund 175 g je Essen) abgeleitet werden. Somit fallen in Hessen rund 136.900 t Küchen- und Speiseabfälle an [78]. Dies entspricht einem durchschnittlichen Aufkommen von 23 kg je Einwohner im Jahr.

Andere organische Gewerbeabfälle entstehen zum größten Teil in der Ernährungs- und Genussmittelindustrie. Eine Zusammenfassung von wichtigen Erzeugern gibt Tab. 35.

Tab. 35: Haupterzeuger von organischen Abfällen aus Industrie und Gewerbe [86]

Branche	Gewerbe
Ernährungs- und Genussmittelindustrie	<ul style="list-style-type: none"> • Mälzereien, Brauereien, Brennereien, Weinkellereien • Stärkeindustrie, Speiseöl- und Fettindustrie, Zuckerfabriken • Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe, Fischverarbeitung • Obst- und Gemüseverarbeitung, Kartoffelverarbeitung • Molkereien, Käsereien • Schokoladenindustrie, Kaffeeindustrie • Hautleim- und Gelatineindustrie • Hefefabriken, Backwarenindustrie • Mahl- und Schälmmühlen
Chemische Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Zitronensäureproduktion, Penicillinproduktion
Dienstleistungsgewerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Gastronomie, Großküchen, Catering und Flughäfen
Handel	<ul style="list-style-type: none"> • Lebensmittelhandel, Wochen- und Privatmärkte, Markthalen, Blumen-, Obst- und Gemüsegroßmärkte, Großmärkte
Sonstiges Gewerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Ledererzeugung- und -verarbeitung

Diese Gewerbebezüge produzieren alle in unterschiedlicher Menge, je nach Produktionsschwerpunkt und -größe, organische Gewerbeabfälle. Eine grobe Abschätzung der anfallenden Menge und der daraus erzeugbaren Energie in Hessen ist in Tab. 36 zusammengestellt. Insgesamt ist mit einer Menge von 136 kg pro Einwohner in Hessen zu rechnen [81]. Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass bestimmte Stoffgruppen teilweise anderen Verwertungswegen zugeführt werden. Hier spielt insbesondere die Nutzung von pflanzlichen Monochargen (Treber, Trester, Backwarenabfälle etc.) als Tierfutter eine Rolle. Von diesen Mengenströmen wurden nur Teilchargen bzw. keine Mengen in der Potenzialannahme berücksichtigt. Einer langfristigen energetischen Verwertung der verbleibenden Mengen stehen keine Gründe entgegen, deshalb wurden im Gegensatz zu vorhergehenden Studien [142] keine weiteren Einschränkungen vorgenommen.

Bei einer Vergärung des energetisch nutzbaren Anteils der organischen Gewerbeabfälle in Biogasanlagen und einer anschließenden Verstromung in einem BHKW könnten rund 113.200 MWh_{el.} und 44.600 MWh_{th.} erzeugt werden. Bei dieser Annahme wurde zu Grunde gelegt, dass zur Abdeckung des Eigenbedarfs der Anlage 50 % der vom BHKW erzeugten Wärme benötigt und 70 % der verbleibenden Menge extern genutzt werden.

Tab. 36: Aufkommen organischer Gewerbeabfälle in Hessen [81][142]

	Anfall Frischmasse ¹⁾ [kg/Ew.*a]	Potenzial energetische Verwertung	
		Strom [MWh/a]	Wärme [MWh/a]
Marktabfälle	2,2	2.100	800
überlagerte Nahrungsmittel	11	21.800	8.600
Backwarenabfälle	3	8.500	3.300
Treber	15	1.800	700
Obst-, Getreide- oder Kartoffelschlempe	10	2.800	1.100
Trester	3	0	0
Hefe und hefeähnliche Rückstände	2,5	2.600	1.000
Fettabscheiderinhalte	2,5	21.800	8.600
Knochen und Hautreste	10	0	0
Innereien und Konfiskate	1,5	1.000	400
Magen- und Darminhalte	3	1.200	500
Schäl-, Putz- und Passierrückstände	20	7.600	3.000
Abfälle aus Molkereien und Käsereien	30	6.300	2.500
Küchen- und Speiseabfälle	23	35.700	14.100
Gesamtmenge	136	113.200	44.600

¹⁾ in Anlehnung an Institut für ZukunftsEnergieSysteme 2002

Es wird angenommen, dass auch ein geringer Anteil der anfallenden gewerblichen organischen Abfallmengen, vor allem Küchen- und Speiseabfälle aus kleineren Einrichtungen zur öffentlichen Versorgung, über die Biotonne entsorgt wird. Insbesondere kleinere Catering-, Schnellimbiss- und sonstige kleinere Bewirtschaftungsbetriebe werden zum Teil die Biotonne oder auch die Restmülltonne nutzen und keine separate Abfuhr der Speiseabfälle beauftragt haben. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass Betriebe, die in anderen Bundesländern zugelassen sind und somit bei der durchgeführten Umfrage [142] nicht erfasst wurden, einen Teil der in Hessen anfallenden organischen Gewerbeabfälle erfassen und exportieren.

4.2.3.3 Entwicklungsperspektiven

Die Stoffgruppe der organischen Gewerbeabfälle unterliegt einem großen überregionalen Handelsinteresse. Es kann davon ausgegangen werden, dass die anfallenden Mengen zum größten Teil verwertet werden können, lediglich die zwei Stoffgruppen „Knochen und Hautreste“ sowie „Innereien und Konfiskate“ werden in der Regel in einer Tierkörperbeseitigungsanstalt verbrannt bzw. nach entsprechender Aufbereitung zu Haustierfutter verarbeitet. Ein Teil der organischen Gewerbeabfälle kann einer stofflichen Nutzung als Futtermittel zugeführt werden. Dies betrifft die Stoffgruppen „Backwarenabfälle“, „Treber“, „Obst-, Getreide- und Kartoffelschlempen“, „Trester“, „Hefe und hefeähnliche Rückstände“, „Schäl-, Putz- und Passierrückstände“ sowie „Abfälle aus Molkereien und Käsereien“.

en“. Dieser Verwendungsweg ist im hohen Maße von der Preisentwicklung für Futtermittel abhängig. Wenn die Futtermittelindustrie bereit ist, höhere Preise für die Reststoffe zu bezahlen als mit einer energetischen Verwertung erzielt werden können, geht ein größerer Anteil dieser Stoffströme in die stoffliche Nutzung. Bei den Stoffströmen „Küchen- und Speiseabfälle“ und „überlagerte Lebensmittel“ ist eine stoffliche Nutzung als Futtermittel seit dem Jahr 2006 verboten. Aus diesem Grund werden diese Stoffströme in der Regel einer energetischen Verwertung zugeführt. Die Verwertung ist in hohem Maße von den Verwertungskapazitäten abhängig. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Verwertung in Hessen nur durch einen Ausbau der Verwertungskapazitäten, wie er derzeit stattfindet, möglich ist und vermutlich eine Verdrängung von Entsorgern aus anderen Bundesländern damit einhergeht.

4.2.4 Klärgas

Für die Erhebung der Daten zur Klärgasproduktion und der energetischen Verwertung des Klärgases wurden Literaturdaten ausgewertet und eine telefonische Umfrage bei allen Kläranlagen mit Klärgasproduktion durchgeführt; rund 95 % der Anlagen mit Klärgasproduktion haben sich an der Befragung beteiligt. Im Rahmen der Befragung wurden die Klärgasmengen, die installierte Leistung der BHKW sowie die produzierten Strommengen abgefragt. Zu den produzierten bzw. verwerteten Wärmemengen konnten i. d. R. keine Aussagen getroffen werden. Die Wärmemengen wurden deshalb abschätzend berechnet.

4.2.4.1 Stand der Nutzung

Kommunale Kläranlagen

Gegenwärtig werden in Hessen rund 739 kommunale Kläranlagen betrieben (inkl. Frankfurter Flughafen), deren Größenklassen sich wie folgt zusammensetzen (EW Zahlen gerundet) [63][32]:

> 100.000 EW	10 Anlagen	mit 3.860.000 EW
> 10.000 bis 100.000 EW	162 Anlagen	mit 5.343.000 EW
2.000 bis 10.000 EW	236 Anlagen	mit 1.027.000 EW
> 50 bis < 2.000 EW	331 Anlagen	mit 261.000 EW

Wie in Tab. 37 dargestellt, werden über ein Drittel der hessischen Klärwässer aus dem öffentlichen Bereich in nur 1 % der Kläranlagen gereinigt, während in 45 % der Anlagen lediglich 2 % der Klärwässer behandelt werden.

Tab. 37: Häufigkeitsverteilung verschiedener Größenklassen hessischer Kläranlagen

	> 100.000 EW	> 10.000 - 100.000 EW	2.000 - 10.000 EW	> 50 - > 2.000 EW
10.490.658 Einwohner	37%	51%	10%	2%
739 Anlagen	1%	23%	31%	45%

In Tab. 38 sind Ausbaugröße und Anzahl der Kläranlagen in Hessen und auf Landkreisebene sowie die rechnerische Verteilung der Abfallprodukte dargestellt.

Jährlich entstehen rund 177.000 t Klärschlamm in Hessen (TM), wovon rund 17 % bzw. 31.000 t auf der Kläranlage der Stadt Frankfurt produziert werden, die über keine Anlagen zur Klärgasproduktion verfügt; der Klärschlamm wird in der SEVA¹ Sindlingen verbrannt. Neben der SEVA Sindlingen werden hessische Klärschlämme auch im Kohlekraftwerk Staudinger in Großkrotzenburg verbrannt. Insgesamt nehmen diesen Entsorgungsweg 37,5 % der hessischen Klärschlämme. Ein wesentlicher Anteil von ca. 29 % wird in der Landwirtschaft verwertet, ca. 16 % werden in der Rekultivierung eingesetzt und ca. 12 % werden der Kompostierung zugeführt. Der Rest geht in Erdenwerke und den Garten- und Landschaftsbau.

Das Rechengut geht überwiegend in die Verbrennung (ca. 38 %), die Deponierung (ca. 34 %) und die Kompostierung (ca. 25 %). Die Sandfanginhalte werden im Wesentlichen deponiert (ca. 39 %), zur Rekultivierung genutzt (ca. 29 %) oder kompostiert (ca. 28 %).

Tab. 38: Ausbaugröße und Anzahl der kommunalen Kläranlagen in Hessen und auf Landkreisebene sowie die Verteilung der Abfallprodukte und deren energetische Nutzung

	Ein- wohner	Klär- anlagen	Einwohner- werte	Klär- schlamm- menge	Rechen- gut	Sandfang- inhalte	Klärgas- produktion [Anzahl Anlagen]
	[Anzahl]	[Anzahl]	[EW]	[t TS/a]	[t/a]	[t/a]	
Darmstadt	141.471	2	290.000	4.904	566	450	2
Frankfurt/Main	654.172	3	1.831.000	30.961	3.574	2.839	0
Stadt Offenbach	117.923	0	bei Frankf.	bei Frankf.	bei Frankf.	bei Frankf.	0
Wiesbaden	274.771	3	485.000	8.201	947	752	2
Bergstraße	264.622	15	391.550	6.621	764	607	7
Darmstadt-Dieburg	289.087	20	467.400	7.903	912	725	11
Groß-Gerau	252.421	13	354.800	5.999	693	550	7
Hochtaunuskreis	226.453	9	302.649	5.118	591	469	4
Main-Kinzig-Kreis	408.546	35	669.060	11.313	1.306	1.037	7
Main-Taunus-Kreis	224.713	8	216.970	3.669	423	336	6
Odenwaldkreis	99.280	10	128.493	2.173	251	199	3
Landkreis Offenbach	336.518	11	507.040	8.574	990	786	9
Rheingau-Taunus-Kreis	184.077	34	370.277	6.261	723	574	5
Wetteraukreis	299.135	42	507.992	8.590	992	788	6
Regierungsbezirk Darmstadt	3.773.189	205	6.522.231	110.287	12.730	10.112	69
Gießen	255.797	22	474.305	8.020	926	735	2
Lahn-Dill-Kreis	258.693	31	356.950	6.036	697	553	4
Limburg-Weilburg	174.219	34	255.250	4.316	498	396	3
Marburg-Biedenkopf	252.355	58	489.020	8.269	954	758	7
Vogelsbergkreis	114.187	77	227.432	3.846	444	353	1
Regierungsbezirk Gießen	1.055.251	222	1.802.957	30.487	3.519	2.795	17
Stadt Kassel	193.248	1	440.000	7.440	859	682	1
Fulda	219.209	56	379.290	6.414	740	588	3
Hersfeld-Rotenburg	125.758	45	211.010	3.568	412	327	3
Landkreis Kassel	241.590	37	258.050	4.363	504	400	5
Schwalm-Eder-Kreis	187.847	68	314.190	5.313	613	487	3
Waldeck-Frankenberg	166.612	66	371.940	6.289	726	577	3
Werra-Meißner-Kreis	107.721	39	190.990	3.230	373	296	5
Regierungsbezirk Kassel	1.241.985	312	2.165.470	36.617	4.227	3.357	23
Hessen GESAMT	6.070.425	739	10.490.658	177.391	20.476	16.265	109

Von den insgesamt 739 Kläranlagen verfügen 109 Anlagen über Faulbehälter, d. h. eine Klärgasproduktion. 63 % der Anlagen befinden sich im Regierungsbezirk Darmstadt, da die Kläranlagen in diesem Gebiet aufgrund der vergleichsweise hohen Besiedlungsdichte

¹ SEVA Sindlingen: Schlamm-Entwässerungs- und Verbrennungs-Anlage

im Durchschnitt größer sind als in Mittel- und Nordhessen und die Einrichtung von Faulbehältern daher eher lohnend ist.

Wie in Tab. 39 dargestellt, werden in den 109 Kläranlagen mit Faulbehältern jährlich etwa 40 Mio. m³ Klärgas produziert. Nahezu alle Anlagen nutzen das Klärgas zur Wärmeproduktion; lediglich eine Anlage fackelt das Gas ohne energetische Nutzung ab (Anlage im Werra-Meißner-Kreis, ein BHKW ist jedoch bereits in Planung). Über die Wärmemenge, die in den Anlagen genutzt wird, konnten keine Daten ermittelt werden.

Der überwiegende Anteil der Anlagen (85 Anlagen bzw. rund 78 %) verstromt einen Großteil des Klärgases und nutzt die Abwärme der BHKW für die Heizung der Faultürme und der Gebäude etc. Teilweise sind in diesen Anlagen zusätzliche Heizanlagen installiert, die mit Klärgas betrieben werden, da die BHKW-Abwärme im Winter nicht ausreicht. Eine Vielzahl der Anlagen verfügt jedoch auch über sogenannte Tischkühler oder ähnliche Anlagen, um die überschüssige Wärme im Sommer an die Atmosphäre abzuleiten. Teilweise wird überschüssiges Klärgas auch abgefackelt.

Insgesamt sind in hessischen Kläranlagen BHKW – in wenigen Anlagen auch Mikrogasturbinen – mit einer elektrischen Leistung von rund 12.000 kW installiert, mit denen eine jährliche Strommenge aus Klärgas von rund 56.800 MWh produziert wird. Die dabei entstandene Wärme wird teilweise für die Beheizung von Betriebsräumen oder zur Trocknung eingesetzt. Eine außerbetriebliche Wärmeverwertung findet gegenwärtig nicht statt. So wird von einer durchschnittlichen Wärmenutzung von rund 6.400 MWh/a ausgegangen.

Tab. 39: Abschätzung der energetischen Nutzung des Klärgases in kommunalen hessischen Kläranlagen

	Klärgas- produktion [Anzahl Anlagen]	Wärme- nutzung [Anzahl Anlagen]	auch Strom- produktion [Anzahl Anlagen]	Inst. Leistung BHKW u. Mikroturb. [kW _{el}]	mittlere Klärgas- produktion [1.000 m ³ /a]	mittlere Strom- produktion [MWh/a]	mittlere Wärme- nutzung [MWh/a]	
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	2	2	2	485	2.000	3.200	360
	Frankfurt/Main	0	0	0	0	0	0	0
	Stadt Offenbach	0	0	0	0	0	0	0
	Wiesbaden	2	2	2	k.A.	4.100	8.200	920
	Bergstraße	7	7	5	435	2.200	2.500	280
	Darmstadt-Dieburg	11	11	7	376	2.600	1.000	110
	Groß-Gerau	7	7	7	741	2.100	3.500	390
	Hochtaunuskreis	4	4	4	754	1.700	2.700	300
	Main-Kinzig-Kreis	7	7	5	1.300	2.800	5.500	620
	Main-Taunus-Kreis	6	6	3	488	1.400	1.600	180
	Odenwaldkreis	3	3	2	118	600	900	100
	Landkreis Offenbach	9	9	6	834	1.900	2.100	240
	Rheingau-Taunus-Kreis	5	5	5	612	1.800	2.500	280
Wetteraukreis	6	6	5	501	1.700	2.600	290	
Regierungsbezirk Darmstadt	69	69	53	6.644	24.900	36.300	4.070	
RB Gießen	Gießen	2	2	2	540	2.100	3.700	420
	Lahn-Dill-Kreis	4	4	3	503	1.000	1.300	150
	Limburg-Weilburg	3	3	3	274	1.000	1.300	150
	Marburg-Biedenkopf	7	7	5	624	2.200	3.300	370
	Vogelsbergkreis	1	1	1	84	300	200	20
	Regierungsbezirk Gießen	17	17	14	2.025	6.600	9.800	1.110
RB Kassel	Stadt Kassel	1	1	1	740	3.600	3.200	360
	Fulda	3	3	2	535	1.400	2.800	320
	Hersfeld-Rotenburg	3	3	3	290	800	1.000	110
	Landkreis Kassel	5	5	4	366	900	1.100	120
	Schwalm-Eder-Kreis	3	3	3	200	600	900	100
	Waldeck-Frankenberg	3	3	3	300	700	1.200	140
	Werra-Meißner-Kreis	5	4	2	117	800	500	60
	Regierungsbezirk Kassel	23	22	18	2.548	8.800	10.700	1.210
Hessen GESAMT	109	108	85	11.217	40.300	56.800	6.390	

Gewerbliche Kläranlagen

Nach Angaben der hessischen Regierungspräsidien gibt es in Hessen sieben gewerbliche Kläranlagen, die Klär- bzw. Biogas produzieren. In diesen Betrieben sind BHKW mit einer elektrischen Leistung von insgesamt rund 7.500 MW installiert, mit denen jährlich rund 55.000 MWh Strom produziert werden. 90 % der Strommenge wird nach EEG ins Netz gespeist, d. h. rund 50.000 MWh/a. Die Wärmemenge wird in der Regel in den gewerblichen Anlagen selbst verwertet.

4.2.4.2 Potenziale

Die Effektivität der Klärgas- und Stromproduktion auf den kommunalen Anlagen variiert sehr stark. So liegt die jährliche Klärgasproduktion je Einwohnerwert (EW) zwischen 2,5 und 11,4 m³, der Median² der Werte liegt bei 6,7 m³ Klärgas je EW. Das Verhältnis von Gas- zu Stromproduktion variiert ebenfalls sehr stark zwischen 0,3 und 2,9 kWh zu 1 m³ Klärgas, d. h. die energetische Verwertung des Klärgases könnte in vielen Anlagen verbessert werden [52]. Die zum Teil verhältnismäßig geringe Auslastung der BHKW ist darauf zurückzuführen, dass neben den BHKW noch reine Heizanlagen betrieben werden, die BHKW überaltert sind oder die Gasproduktion nicht effektiv erfolgt. In größeren Anlagen kommen bereits sogenannte Desintegrationsanlagen zum Einsatz, die den Schlamm in kleinere Bestandteile zerlegen und somit eine höhere Gasausbeute bei kürzeren Verweilzeiten in den Faultürmen ermöglichen.

Bei einer Verbesserung der Klärgasfassung sowie einer Verwertung des jährlich produzierbaren Klärgases in modernen BHKW mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 40 % könnte die Stromproduktion in den Anlagen mit bestehender Klärgasproduktion auf rund 105.000 MWh, d. h. um 84 % gesteigert werden. Darüber hinaus kann eine Erhöhung der Energieproduktion durch eine Optimierung der Vergärungsprozesse bzw. eine Steigerung der Klärgasproduktion und -verwertung von rund 20 % in Ansatz gebracht werden [52]. Somit beläuft sich das Potenzial der Stromerzeugung in kommunalen Kläranlagen auf rund 125.000 MWh pro Jahr.

Das Potenzial der Wärmeproduktion in den Kläranlagen mit bestehender Klärgasproduktion beläuft sich bei Annahmen wie für die optimierte Stromproduktion auf rund 11.600 MWh/a Wärme zur externen Verwertung.

Darüber hinaus besteht ein großes Potenzial in Anlagen, die bislang über keinen Faulturm verfügen. Für die in Tab. 40 berechneten Klärgas- und Strompotenziale in hessischen Kläranlagen wurden alle Kläranlagen in Ansatz gebracht, die eine Ausbaustufe von > 10.000 EW haben. Die Klärgasmenge je EW wurde mit 8 m³ angenommen (Median der produzierten Klärgasmenge der Kläranlagen mit Faulturm + 20 %). Die Berechnung des Strom- bzw. Wärmepotenzials erfolgte auf Basis stromgeführter BHKW mit Wirkungsgraden von 40 % elektrisch bzw. 45 % thermisch; der Methangehalt des Klärgases wurde mit 65 % veranschlagt.

² Der Wert, der genau in der Mitte einer Datenverteilung liegt, wird in der Statistik Median oder Zentralwert genannt. Der Median ist robuster gegenüber Ausreißern (extrem abweichenden Werten).

Tab. 40: Potenzial der energetischen Klärgasverwertung in hessischen Kläranlagen ohne Faultürme bzw. Klärgasproduktion

	Einwohnerwerte [EW]	Anlagen > 10.000 EW ohne Faulturm		Potenzial Klärgas		Potenzial Stromproduktion	Potenzial Wärmeproduktion	
		[EW]	[EW]	[Anzahl]	[1.000 m ³ /a]	[%]	[MWh/a]	[MWh/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	290.000	0	0	0	0%	0	0
	Frankfurt/Main	1.831.000	1.831.000	3	14.650	56%	38.100	15.000
	Stadt Offenbach	bei Frankf.	0	0	0	0%	0	0
	Wiesbaden	485.000	0	0	0	0%	0	0
	Bergstraße	391.550	51.500	3	410	2%	1.100	400
	Darmstadt-Dieburg	467.400	51.000	3	410	2%	1.100	400
	Groß-Gerau	354.800	47.800	3	380	1%	1.000	400
	Hochtaunuskreis	302.649	50.700	2	410	2%	1.100	400
	Main-Kinzig-Kreis	669.060	161.000	8	1.290	5%	3.300	1.300
	Main-Taunus-Kreis	216.970	0	0	0	0%	0	0
	Odenwaldkreis	128.493	29.333	1	230	1%	600	200
	Landkreis Offenbach	507.040	91.700	2	730	3%	1.900	700
	Rheingau-Taunus-Kreis	370.277	30.200	1	240	1%	600	200
	Wetteraukreis	507.992	146.050	7	1.170	4%	3.000	1.200
	Regierungsbezirk Darmstadt	6.522.231	2.490.283	33	19.920	76%	13.700	5.200
RB Gießen	Gießen	474.305	110.000	4	880	3%	2.300	900
	Lahn-Dill-Kreis	356.950	143.000	7	1.140	4%	3.000	1.200
	Limburg-Weilburg	255.250	59.000	4	470	2%	1.200	500
	Marburg-Biedenkopf	489.020	27.000	2	220	1%	600	200
	Vogelsbergkreis	227.432	100.000	4	800	3%	2.100	800
	Regierungsbezirk Gießen	1.802.957	439.000	21	3.510	13%	9.200	3.600
RB Kassel	Stadt Kassel	440.000	0	0	0	0%	0	0
	Fulda	379.290	60.500	4	280	1%	700	300
	Hersfeld-Rotenburg	211.010	22.100	2	180	1%	500	200
	Landkreis Kassel	258.050	27.500	2	220	1%	600	200
	Schwalm-Eder-Kreis	314.190	129.950	7	1.040	4%	2.700	1.100
	Waldeck-Frankenberg	371.940	124.000	6	990	4%	2.600	1.000
	Werra-Meißner-Kreis	190.990	29.000	2	230	1%	600	200
	Regierungsbezirk Kassel	2.165.470	393.050	23	2.940	11%	7.700	3.000
Hessen GESAMT	10.490.658	3.322.333	77	26.370	100%	30.600	11.800	

Wie in Tab. 40 dargestellt, gibt es in Hessen insgesamt 77 Kläranlagen, in denen die Installation einer Klärgasproduktion aufgrund der Ausbaugröße sinnvoll erscheint. Die mittlere Größe dieser Anlagen beträgt rund 43.000 EW, der Median liegt jedoch lediglich bei 17.000 EW.

Das Klärgaspotenzial in Kläranlagen, die bislang über keine Gasproduktion verfügen, liegt jährlich, inklusive der Stadt Frankfurt, bei rund 26 Mio. m³. Davon stammt der mit Abstand größte Anteil von 56 % aus der Stadt Frankfurt (inkl. Abwasser Stadt Offenbach), deren Klärschlämme in der SEVA verbrannt werden. Ausgenommen bei der potenziellen Klärgasverwertung ist aus diesem Grund die Stadt Frankfurt, da sie über eine Klärschlammverbrennung verfügt. Aus den verbleibenden Klärschlammengen lassen sich mit modernen BHKW pro Jahr rund 30.600 MWh Strom und rund 11.800 MWh Wärme generieren.

4.2.4.3 Entwicklungsperspektiven

Eine Verbesserung der Klärgasverwertung in den bestehenden kommunalen Kläranlagen ist vor dem Hintergrund steigender Energiepreise sehr wahrscheinlich und wurde in zahlreichen Gesprächen mit den Anlagenleitern als geplant angesprochen. Auch die zunehmend geführten Diskussionen zur Energieeffizienz auf Kläranlagen sprechen für steigende Investitionen und Anstrengungen zur Optimierung in einem Großteil der Anlagen.

Darüber hinaus ist auch zu erwarten, dass ein gewisser Anteil der Anlagen größer 10.000 EW, die bislang über keine Klärgasproduktion verfügen (77 Anlagen) im Zuge der Erneuerung

erung von Anlagenteilen auch Faultürme installieren werden. Der Großteil dieses Potenzials wird aufgrund der bestehenden Verbrennungskapazitäten in Frankfurt und Großkrotzenburg jedoch nicht genutzt werden.

Unter den o. g. Annahmen kann deshalb davon ausgegangen werden, dass das Strompotenzial aus bestehenden Anlagen auf 125.000 MWh jährlich gesteigert werden kann. Die Verwertung der überschüssigen Wärmeenergie wird aufgrund der häufig ungünstigen Lage der Kläranlagen jedoch nicht zu 100 % realisiert werden können. Die mittelfristig zu realisierenden Potenziale kommunaler Anlagen, die gegenwärtig noch nicht über Faulbehälter verfügen, wird auf 40 % des technischen Potenzials ohne die Klärschlammengen aus Frankfurt und dem Main-Kinzig-Kreis abgeschätzt, d. h. auf jährlich rund 11.000 MWh Strom und unter Berücksichtigung eines 50%-igen Eigenbedarfs rund 4.000 MWh Wärme.

Die Entwicklungen in gewerblichen Anlagen kann aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht abgeschätzt werden.

4.2.5 Deponiegas

Grundsätzliche Daten über den Anfall von Deponiegasen an hessischen Deponiestandorten wurden den Erhebungen im Rahmen des F+E-Verbundvorhabens des HfVA (2003) [77] entnommen. Für die tatsächliche Verwertung des anfallenden Deponiegases bzw. ungenutzte Mengen an Methan ($> 100 \text{ t CH}_4/\text{a}$) an Deponiestandorten (Deponien über 10 t/d Aufnahmekapazität oder $> 25.000 \text{ t/a}$ Gesamtkapazität) wurde entsprechendes Datenmaterial vom HLUg [59][58] bereitgestellt. Aufgrund mehrjähriger Erfassungszeiträume seitens des HLUg ist das aktuelle Deponiegasaufkommen und dessen Verwertung (Stand: 2008) bei den Deponiebetreibern telefonisch abgefragt worden.

4.2.5.1 Stand der Nutzung

An Hessens Deponien werden gegenwärtig rund 65.000 t Deponiegas jährlich erfasst und behandelt bzw. energetisch verwertet. Bei einem durchschnittlichen Methananteil von 50,6 % (Schwankungsbreite: 24,9–57 %) entspricht dies einer energetisch nutzbaren Masse von 32.800 t reinem Methan. Demgegenüber wurden im Jahr 2007 durch das Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (PRTR – Pollutant Release and Transfer Register) [59] fast 12.000 t ungenutztes Methan festgestellt, die unbehandelt in die Atmosphäre entweichen konnten. Dies entspricht einem Anteil von über 26 %.

Folgende Behandlungs- bzw. Verwertungswege sind für gefasstes Deponiegas üblich bzw. werden an den hessischen Deponiestandorten praktiziert:

- Verstromung mittels BHKW
- Verbrennung
- Gasfackel (bei sehr niedrigen Methangehalten)

Wie Tab. 41 zeigt, besitzen nicht alle hessischen Landkreise eigene Deponien, auf denen entsprechende Müllmengen abgelagert worden sind.

Tab. 41: Aus gefasstem Deponiegas produzierte und genutzte Energie

	Gasfackel/-oxidation [MWh/a]	Produzierte Energie			Genutzte Energie		
		Verbrennung (Wärme 90 %) [MWh/a]	BHKW (Strom 35 %) (Wärme 45 %) [MWh/a]		Strom [MWh/a]	Wärme [MWh/a]	
RB Darmstadt	Wiesbaden		91.900			23.000	
	Bergstraße	4.700		3.500	4.500	3.500	1.100
	Hochtaunuskreis	13	16.500				4.100
	Main-Kinzig-Kreis		1.000	8.100	10.400	8.100	2.900
	Main-Taunus-Kreis			30.000	38.600	30.000	9.700
	Odenwaldkreis		3.600				900
	Landkreis Offenbach		28.000				7.000
	Regierungsbezirk Darmstadt	4.700	141.000	41.600	53.500	41.600	48.700
RB Gießen	Gießen		100			30	
			13.600			3.400	
	Lahn-Dill-Kreis			2.500	3.200	2.500	800
				500	600	500	150
	Limburg-Weilburg			3.000	3.900	3.000	2.800
	Marburg-Biedenkopf	4.000					
	Regierungsbezirk Gießen	4.000	13.700	6.000	7.700	6.000	7.200
RB Kassel	Fulda	20		3.000	3.900	3.000	1.000
	Hersfeld-Rotenburg	10		4.300	5.500	4.300	1.400
	Landkreis Kassel	2.900	4.500				1.900
	Schwalm-Eder-Kreis			10.400	13.400	10.400	3.400
	Waldeck-Frankenberg			1.600	2.600	1.600	700
	Werra-Meißner-Kreis			4.200	4.800	4.200	1.200
	Regierungsbezirk Kassel	2.900	4.500	23.500	30.200	23.500	9.600
Hessen GESAMT	11.600	159.200	71.100	91.400	71.100	65.500	

Folgende Grundannahmen sind für die entsprechende Verwertung des Deponiegases getroffen worden, wenn aktuellere Angaben von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern nicht verfügbar waren:

- Verbrennung: Anlagenwirkungsgrad 90 %
- Verstromung mit BHKW (Strom 35 % und Wärme 45 %)
- Gasfackel/-oxidation: Verbrennung des Deponiegases ohne nutzbare Wärmeproduktion

Die produzierte Strommenge wurde der genutzten gleich gesetzt. Weiterhin wurde bei der Verbrennung bzw. Verstromung unterstellt, dass die entstehende Abwärme durchschnittlich nur zu 25 % genutzt wird, wenn genauere Angaben nicht verfügbar waren.

4.2.5.2 Potenziale

Nach der Novelle der TAsi im Jahr 2005 ist die Deponierung von nicht vorbehandelten Abfällen verboten. Dies hat zur Folge, dass seitdem keine weiteren abbaubaren organischen Materialien auf die Deponie verbracht werden und dadurch langfristig mit einem Rückgang der Methangasmengen zu rechnen ist. Der Zeitraum, in dem aus einem Deponiekörper Gase aufgrund anaerober Verhältnisse entweichen und diese zugleich auch energetisch verwertet werden können, liegt laut Erfahrungswerten zwischen 12 und 15 Jahren. Welche Deponiegasmengen mit welchen Methangehalten zur Verwertung anfallen, hängt in erster Linie von der Zusammensetzung des Mülls innerhalb der Deponie und dessen Feuchtegrad ab. Nur bei ausreichender Feuchte im Deponiekörper kann Methangas entstehen. Mit zunehmendem anaeroben Abbau des biogenen Anteils im Müll nimmt die Deponiegasmenge ab, ebenso der darin enthaltene Methananteil. Da die

qualitativen biochemischen Umstände nicht vollständig erfassbar und Umsetzungsprozesse nicht ohne Weiteres vorhersagbar sind, lassen sich keine genauen Aufkommensmengen und Deponiegasqualitäten darstellen.

Als zukünftig verfügbares Deponiegaspotenzial ist somit jene Menge zu beschreiben, die sich aus der vollständigen, noch verfügbaren anaeroben Umsetzung des biogenen Anteils im Deponiekörper ergibt.

4.2.5.3 Entwicklungsperspektiven

Deponieabschnitte, bei denen schon seit mehreren Jahren Gase gefasst und verwertet werden, lassen künftig in ihrer Gasproduktivität nach (Abb. 17). Da diese Veränderung auf den meisten Deponiestandorten gegeben ist, werden mittelfristig die Deponiegasmengen auf diesen Abschnitten zurückgehen. Einzelne Betreiber von BHKW, die bereits jetzt schon mit zurückgehenden Deponiegasmengen konfrontiert werden, versuchen mit dem Einsatz von Vergärungstechnik dieser Entwicklung gegenzusteuern: Nach der Vergärung von Bioabfällen können auch NawaRo-Materialien eingesetzt werden. An einigen Deponiestandorten werden Versuche unternommen, durch vorsichtige künstliche Bewässerungsmaßnahmen die biogenen Umsetzungsprozesse im Deponiekörper und damit auch die Deponiegasentstehung zu fördern.

Wünschenswert wäre in jedem Falle eine verbesserte Abwärmenutzung, was sich meist allerdings aufgrund der standörtlichen Lage im Außenbereich nur mit erheblichem Aufwand realisieren lässt. In nur wenigen Fällen lassen sich an einem Deponiestandort Unternehmen ansiedeln, die entsprechende Abwärmemengen ganzjährig nachfragen.

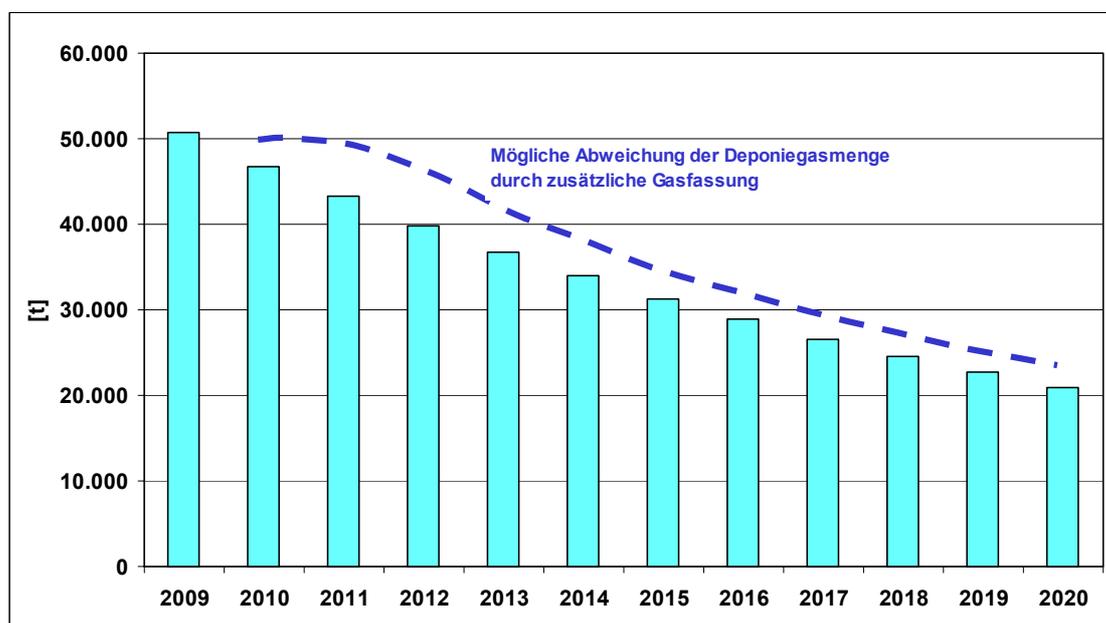


Abb. 17: Künftige gefasste Deponiegasmengen (durch Berechnung abgeschätzt) in Hessen (2010–2020)

Dem allgemeinen Trend abnehmender Deponiegasmengen steht folgende Entwicklung entgegen: Aufgrund der Umsetzung der TAsi im Jahr 2005 (Ablagerungsverbot unvorbehandelter Abfälle) sind seit diesem Stichjahr an einigen Deponiestandorten bereits verfüllte Abschnitte entweder in die Gasgewinnungsphase gekommen oder werden künftig diesen Status erfüllen. Damit dürfte der allgemeine Trend zurückgehender Depo-

niegasmengen in den nächsten Jahren, zumindest an einigen Deponiestandorten, etwas abgepuffert werden.

An einzelnen Deponiestandorten, an denen noch ein Ausbau der Gasfassungsanlagen ansteht, ließe sich nach entsprechender Prüfung möglicherweise eine Gaseinspeisung oder zumindest die Nutzung einer Mikrogasleitung realisieren. Eine spätere Weiternutzung der Installationen durch die Ansiedlung einer Vergärungsanlage könnte geprüft werden.

4.3 Anlagenbestand zur Nutzung biogener Gase

Über die Vergärung von landwirtschaftlichen Rohstoffen inklusive der Nutzung von Co-Substraten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden in Hessen rund 220 GWh Strom und etwas über 50 GWh Wärme erzeugt bzw. extern nutzbar gemacht. Mit knapp 53 % der Energieerzeugung liegt der Schwerpunkt auf Nordhessen, gefolgt von Südhessen mit einem Anteil von rund 28 %. Auf den flächenmäßig kleinsten Regierungsbezirk Gießen entfallen rund 19 %.

Das in diesem Bereich zur Produktion von regenerativem Strom und Wärme verbleibende Potenzial liegt in einer Größenordnung von 1.740 GWh pro Jahr. Davon liegt mit gut 60 % der Schwerpunkt auf der Stromerzeugung. Die Nutzbarmachung dieses Stromerzeugungspotenzials würde zum größten Teil durch die Errichtung neuer Vergärungsanlagen und damit die verstärkte Nutzung des Rohstoffangebotes erfolgen. Der Potenzialanteil, der auf der Verbesserung der Technik beruht, ist hier eher gering. Im Bereich der Wärmenutzung dagegen ergibt sich knapp 50 % des zusätzlichen Potenzials aus einer verbesserten Nutzung der bei der Verstromung entstehenden Wärme durch externe Verbraucher.

Der Beitrag zur regenerativen Energieproduktion aus der Vergärung von Abfällen lag bei insgesamt rund 120 GWh im Jahr 2008. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Bereitstellung von Strom, da ein erheblicher Anteil der Wärme für die Aufrechterhaltung der Gärprozesse sowie die teilweise erforderliche Wärmebehandlung zur Pasteurisierung der Rohstoffe bereits benötigt wird und für eine externe Verwendung somit nicht mehr verfügbar ist.

Das verbleibende Potenzial im Bereich der Vergärung von Abfallbiomassen liegt bei rund 275 GWh, wobei auch hier der Schwerpunkt mit mehr als 60 % auf der Stromerzeugung liegt. Auch in diesem Bereich ergibt sich ein nicht zu vernachlässigender Anteil des Wärmepotenzials aus der verbesserten Abnahme der angebotenen Überschusswärme.

Die kommunalen Kläranlagen nutzten mit der Abgabe von rund 66 GWh an Strom und Wärme im Jahr 2008 bereits etwas mehr als 50 % des Potenzials zur regenerativen Energieerzeugung. Die Mobilisierung des noch verfügbaren Potenzials beruht zum einen auf der Errichtung von Faultürmen zur Klärgasproduktion sowie der Verstromung des Klärgases auf hohem technischen Niveau in Anlagen, die mehr als 10.000 Einwohnerwerte verarbeiten. Zum anderen sind technische Verbesserungen bei der Produktion und Erfassung des Klärgases sowie der Verstromung in bestehenden Anlagen einbezogen.

Die derzeitige regenerative Energiebereitstellung aus Deponiegas lag bei rund 135 GWh im Jahr 2008. Ein zusätzliches Potenzial ist nicht zu erwarten (vgl. Kap. 4.2.5.3).

Tab. 42: Anlagenbestand Biogas-, Klärgas- und Deponiegasanlagen in Hessen
Ende 2008 sowie verbleibende Potenziale

	NaWaRo / Co-Vergärung Biogasanlagen						Bioabfall / Prod.rückstände u. -wässer Biogasanlagen						Kläranlagen kommunal						Deponiegas			
	aktuelle Nutzung			verbleibendes Potenzial			aktuelle Nutzung			verbleibendes Potenzial			aktuelle Nutzung			verbleibendes Potenzial			aktuelle Nutzung			
	Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		Strom GWh/a	Wärme GWh/a		
Darmstadt	5,4	1,3		-2,4	0,7		32,3	7,6		3,0	1,6		3,2	0,4		4	0,3					
Darmstadt*	0,0	0,0		7,0	4,0					4,9	3,8		17,0**	0,0		0,0	0,0					
Frankfurt/Main	0,0	0,0		1,0	1,0					1,5	0,8			bei Frankf.		0,0	0,0					
Stadt Offenbach	0,0	0,0		0,0	0,0																	
Wiesbaden	0,0	0,0		9,0	5,0					4,5	2,5		8,2	0,9		9,9	0,7				23,0	
Bergstraße	2,9	0,7		28,1	16,3		9,2	2,2		8,4	4,6		2,5	0,3		4,2	0,6				3,5	
Darmstadt-Dieburg	10,3	2,4		34,7	22,6					11,3	6,2		1,0	0,1		2,3	0,5				1,1	
Groß-Gerau	5,0	1,2		24,0	14,8					8,0	4,4		3,5	0,4		5,2	0,7					
Hochtaunuskreis	6,9	1,6		14,1	9,4					3,2	1,8		2,7	0,3		4,4	0,6				4,1	
Main-Kinzig-Kreis	17,3	4,1		42,7	28,9					11,9	6,6		5,5	0,6		10,0	1,8				8,1	
Main-Taunus-Kreis	0,0	0,0		13,0	7,0		11,2	2,6		-8,0	-0,8		1,6	0,2		2,0	0,1				30,0	
Odenwaldkreis	0,6	0,1		21,4	11,9		11,5	2,7		1,8	1,0		0,9	0,1		1,7	0,3				0,9	
Landkreis Offenbach	0,3	0,1		11,7	6,9					4,8	2,6		2,1	0,2		4,5	0,9				7,0	
Rheingau-Taunus-Kreis	0,0	0,0		32,0	18,0					3,5	1,9		2,5	0,3		3,6	0,4					
Weintrauerkreis	14,2	3,4		88,8	53,6		5,2	1,2		1,1	2,3		2,6	0,3		6,2	1,4					
Regierungsbezirk Darmstadt	62,8	14,8		325,2	200,2		69,4	16,4		59,9	39,2		36,4	4,1		57,6	8,5				41,6	48,6
Regierungsbezirk Gießen	0,5	0,1		63,5	34,9		0,3	0,2		9,5	5,2		3,7	0,4		6,8	1,2				3,4	3,4
Gießen	1,4	0,3		31,6	17,7					8,7	4,8		1,3	0,2		4,6	1,3				2,9	0,9
Lahn-Dill-Kreis	16,0	3,8		47,0	31,2					5,8	3,2		1,3	0,2		2,8	0,6				3,0	2,9
Limburg-Weilburg	15,1	3,6		80,9	49,4					8,2	4,5		3,3	0,4		4,6	0,5					
Marburg-Biedenkopf	7,7	1,8		84,3	49,2					1,6	0,9		0,2	0,0		2,4	0,8					
Vogelsbergkreis	40,7	9,6		307,3	182,4		0,3	0,2		33,8	18,6		9,9	1,1		21,2	4,5				5,9	7,2
Regierungsbezirk Kassel	0,0	0,0		1,0	1,0		0,3	0,2		2,7	1,5		3,2	0,4		3,8	0,3				3,0	1,0
Stadt Kassel	18,1	4,3		70,9	44,7		9,7	1,9		5,9	3,3		2,8	0,3		4,1	0,6				3,0	1,0
Fulda	13,8	3,3		40,2	26,7		6,7	6,0		1,8	1,0		1,0	0,1		1,8	0,3				4,3	1,4
Herfeld-Rotenburg	43,2	10,2		60,8	46,8					10,9	6,0		1,1	0,1		2,0	0,3					
Landkreis Kassel	8,8	2,1		141,2	80,9					3,1	1,7		0,9	0,1		3,8	1,2				10,4	3,4
Schwalm-Eder-Kreis	25,3	6,0		75,7	50,0					7,2	4,0		1,2	0,1		4,1	1,1				1,6	0,6
Waldeck-Frankenberg	8,4	2,0		64,6	38,0		7,6	3,8		3,4	1,9		0,5	0,1		1,2	0,2				4,2	1,2
Werra-Meißner-Kreis	117,7	27,8		454,3	288,2		24,0	11,7		35,0	19,4		10,7	1,2		20,7	4,0				23,5	9,6
Regierungsbezirk Kassel							74	24		57,1	31,5											
Rohstoffe überregional							93,6	28		186	109		57,0	6,4		99,5	17,0				71,0	65,4
Hessen GESAMT	221,2	52,3		1.086,8	670,7		93,6	28		186	109		57,0	6,4		99,5	17,0				71,0	65,4

* Versorgung der landwirtschaftlichen BGA mit Rohstoffen aus dem Umland
** aus der Verbrennung von Klärschlamm

Wie Abb. 18 zeigt, hat sich die Energieerzeugung aus biogenen Gasen in Hessen seit dem Jahr 2005 fast verdreifacht. Dies ist hauptsächlich auf den massiven Ausbau der Biogasnutzung aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen sowie Anlagen zur Verwertung von Reststoffen (Bioabfall, Speisereste etc.) zurückzuführen. Die Energieerzeugung in diesem Bereich hat sich vervierfacht. Die Energieerzeugung aus Deponie- und Klärgas wurde in der Erhebung im Jahr 2005 nicht erfasst und, basierend auf der Entwicklung des Anlagenbestandes, rückwirkend abgeschätzt. Mit der vorliegenden Studie wurde eine sehr detaillierte Erfassung dieser beiden Bereiche durch die telefonische Befragung der Anlagenbetreiber durchgeführt, sodass die aktuellen Ergebnisse belastbar sind. Gewerbliche Kläranlagen wurden teilweise, je nach Rohstoffbasis, nach dem EEG als Biomasseanlagen eingestuft und wurden daher dann den Biogasanlagen zugeordnet.

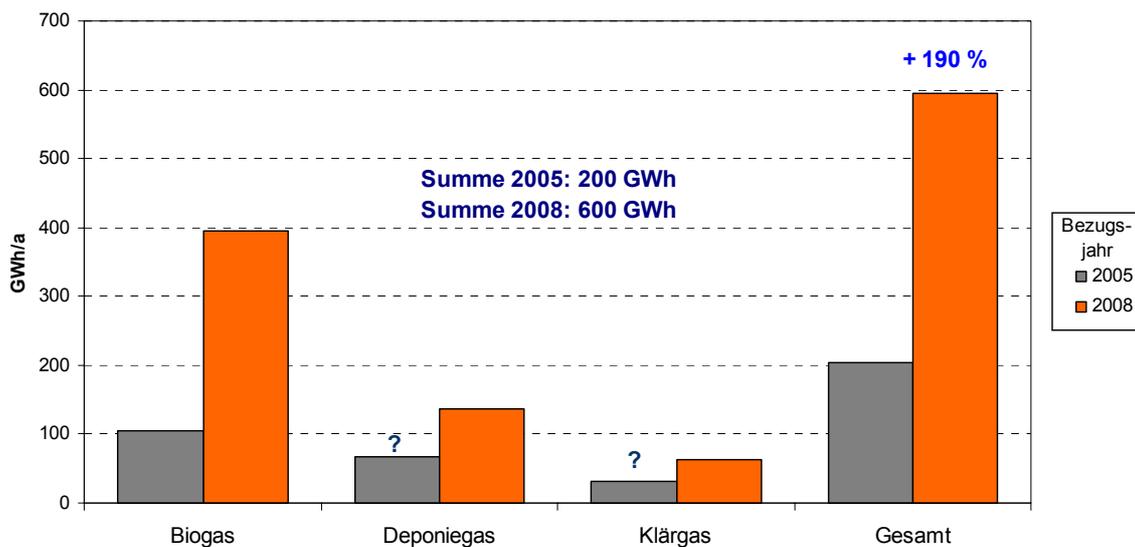


Abb. 18: Vergleich der Energieerzeugung aus biogenen Gasen in Hessen im Jahr 2005 und 2008

4.4 Perspektiven für die Nutzung biogener Gase

Neben der Verstromung im BHKW am Ort der Gasproduktion und der Nutzung der Abwärme in der näheren Umgebung der Biogasanlagen bieten sich noch weitere, teilweise relativ neue Lösungen für die Biogasverwertung an.

Eine wichtige Entwicklung bei der Nutzung von biogenen Gasen ist ein Ausbau der Wärmenutzung. Zum jetzigen Zeitpunkt erfolgt nur bei einigen Anlagen eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle und weitgehend vollständige Wärmenutzung. Es kann von einer durchschnittlichen Verwertung von rund 30 % der extern nutzbaren Wärme ausgegangen werden. Die genutzte Wärmemenge sollte durch die Entwicklung von guten Kraft-Wärme-Kopplungskonzepten gesteigert werden, sodass im Jahr 2020 durchschnittlich 70 % der extern anfallenden Wärme genutzt werden.

In diesem Zusammenhang wird u. a. eine ausgelagerte Nutzung des Biogases favorisiert. Dieses Konzept bietet die Vorteile, dass das entstandene Biogas an Orten mit besseren Wärmenutzungsmöglichkeiten effizienter genutzt werden kann. Während bei größeren Anlagen eine Aufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz infrage kommt, können bei kleineren Anlagen Biogasleitungen in nahegelegene Gebäude (Umkreis von bis zu fünf Kilometer) verlegt werden, in denen die Verstromung des Biogases mittels dort installiertem BHKW erfolgt und eine bessere Wärmenutzung möglich ist.

In Hessen wurde 2008 die erste Biogasanlage in Betrieb genommen, die Biomethan in das Erdgasnetz einspeist. Es wird erwartet, dass die Biogasaufbereitung und -einspeisung erst ab einem Leistungsbereich von 1 MW_{Biomethan} einsetzbar ist [97]. Diese erwartete Anlagenkapazität entspricht einer Einspeisemenge von etwa 770.000 Nm³ Biomethan im Jahr [97] bzw. rund 200 m³ Rohgas/h oder einer elektrischen Leistung von rund 400 kW_{el.}. Perspektivisch wird davon ausgegangen, dass es zu einer Weiterentwicklung bei der Aufbereitungstechnik für Biomethan kommt [97]. Das eingespeiste Biomethan kann neben der üblichen Gasnutzung in KWK-Anlagen auch in gasbetriebenen Fahrzeugen eingesetzt werden. Dabei werden dem Biogas im Vergleich zu anderen biogenen flüssigen Energieträgern bessere Umwelteigenschaften aufgrund einer sehr effizienten Flächennutzung sowie einer hohen CO₂-Einsparquote zugeschrieben [124].

Neben den derzeit standardmäßig eingesetzten Blockheizkraftwerken können andere Konversionstechniken zur Anwendung kommen. Dabei gelten vor allem Mikrogasturbinen und Brennstoffzellen als zukunftssträftig [113]. Mikrogasturbinen haben zwar einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad (ca. 30 %) als BHKW; allerdings weisen die Abgase eine höhere Temperatur (ca. 280 °C) auf, sodass sich damit beispielsweise auch Absorptionskältemaschinen antreiben lassen [113]. Zudem gelten Mikrogasturbinen als wartungsärmer als BHKW [113]. Brennstoffzellen sind dagegen erst in der Entwicklungsphase: es werden jedoch elektrische Wirkungsgrade von bis zu 50 % erwartet bei gleichzeitig wartungsextensiverem Betrieb [113].

Neben den Entwicklungsperspektiven bei der Aufbereitung und Nutzung der biogenen Gase kann auch die Technik zur Biogaserzeugung noch verbessert werden. So wird erwartet, dass sich die Biogausbeute (bezogen auf die organische Trockensubstanz) in den nächsten Jahren um rund 20 % steigern lässt sowie die Verluste um über 5 % gesenkt werden können [113]. Diese Ziele können beispielsweise mit einem Aufschluss der eingesetzten Substrate mittels Ultraschall erreicht werden [113].

Abb. 19 verdeutlicht die verfügbaren Gesamtpotenziale sowie die von diesem Potenzial genutzten Anteile grafisch.

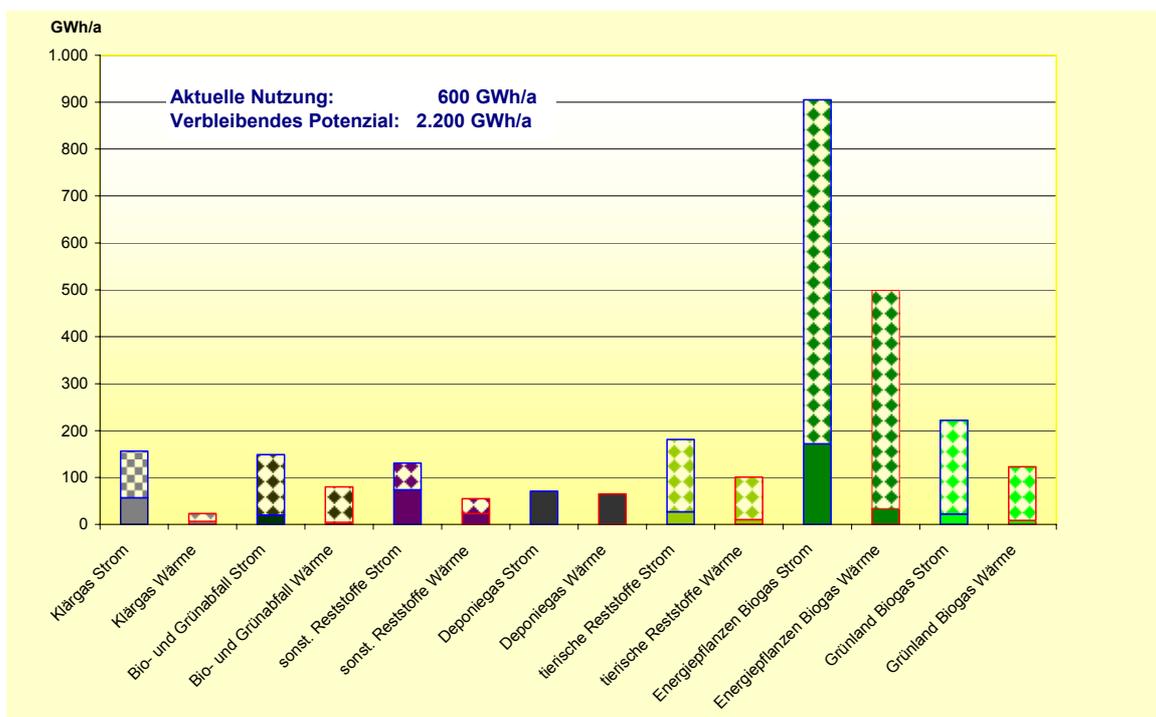


Abb. 19: Übersicht über genutzte und verfügbare Anteile biogener Gase

5 Biogene flüssige Energieträger

Zu den biogenen flüssigen Energieträgern zählen Pflanzenöl, Biodiesel und -ethanol sowie hydrierte Pflanzenöle und synthetische flüssige Energieträger, wie zum Beispiel BtL (Biomass-to-liquid). Dabei gelten die ersten drei genannten biogenen flüssigen Energieträger als markteingeführt [42]. Biogene flüssige Energieträger können sowohl als Kraftstoff im Mobilitätssektor als auch als Brennstoff zur Betrieb von BHKW zur Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt werden.

Zum Verständnis der aktuellen Entwicklungen im Bereich der biogenen flüssigen Energieträger, besonders bei den Biokraftstoffen, wird zunächst ein Überblick über aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen in Deutschland gegeben. Die daraus entstehenden Entwicklungen wirken sich auf Hessen aus.

Das Energiesteuergesetz sieht eine Steuerbegünstigung für Biokraftstoffe vor. Reine Biokraftstoffe erhalten eine Steuerbegünstigung gegenüber fossilen Kraftstoffen. Für land- und forstwirtschaftliche Betriebe ist die Nutzung von biogenen Kraftstoffen steuerfrei. Die Höhe der Steuersätze für biogene Kraftstoffe wurde in jüngster Vergangenheit mehrmals angepasst. Besonders seit dem hohen Anstieg der Besteuerung Anfang 2008 herrschen Verunsicherungen und Absatzschwierigkeiten in der Biokraftstoffbranche. Andererseits profitieren biogene flüssige Energieträger von der Beimischungspflicht, die im Biokraftstoffquotengesetz geregelt ist. Im Rahmen der Beimischungspflicht gibt es Einzelquoten für biogene Kraftstoffe, die entweder Diesel- oder Otto-Kraftstoffe ersetzen sollen. In diesem Gesetz wird die Mineralölwirtschaft verpflichtet, einen steigenden Mindestanteil von Biokraftstoffen, bezogen auf den Energiegehalt der jährlichen Gesamtabsatzmenge eines Unternehmens an Otto- und Dieselmotorkraftstoff, in Verkehr zu bringen. Zugleich wird mit diesem Gesetz die Richtlinie 2003/30/EG umgesetzt. Bis Ende 2014 liegt die Beimischungsquote für Diesel bei 4,4 % und für Benzin bei 2,8 % bezogen auf den Energiegehalt der Kraftstoffmischung. Darüber hinaus wird seit dem 1. Januar 2009 eine Gesamtquote gefordert. Die Gesamtquote legt den Mindestanteil von biogenen Kraftstoffen an der Gesamtkraftstoffmenge fest. Für die Erfüllung der Gesamtquote an der Gesamtkraftstoffmenge hat der jeweilige In-Verkehr-Bringer zu sorgen. Neben den beigemischten biogenen Kraftstoffe kann die Quote auch über den Verkauf von reinen biogenen Kraftstoffen sowie über die Zumischung von Biogasmethan zu Erdgaskraftstoff erfüllt werden. Die Gesamtquote liegt 2009 bei 5,25 % und im Zeitraum 2010–2014 bei 6,25 %.

Die Qualitätsanforderungen an Treibstoffe sind durch entsprechende DIN-Normen festgelegt. Für Ottokraftstoff gilt die DIN EN 228, für Dieselmotorkraftstoff auch mit einer Beimischung von bis zu 5 % Biodiesel gilt die DIN EN 590. Ab einer kennzeichnungspflichtigen Beimischung von 7 % Biodiesel müssen die Anforderungen der DIN EN 51628 erfüllt werden. Die Eigenschaften von reinem Biodiesel werden in der DIN EN 14214 geregelt, wohingegen Rapsölkraftstoff in der DIN V 51605 definiert ist.

Des Weiteren unterliegen biogene flüssige Energieträger ab Juli 2010 den Nachhaltigkeitsverordnungen für Biokraftstoffe und Biomassestrom. Dies bedeutet, dass deren Anbau an die Einhaltung von definierten Nachhaltigkeitskriterien gebunden ist. Eine Übersicht der Standard-Treibhausgas-Emissionen bei Anbau, Transport und Verarbeitung im Zusammenhang mit den Grenzwerten der Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe gibt Abb. 20. Es ist bereits absehbar, dass die meisten in Deutschland hergestellten biogenen flüssigen Energieträger die Kriterien bezüglich der Treibhausgas-Emissionen mittelfristig nur durch Anpassungen beim Anbau erfüllen können (vgl. Abb. 20).

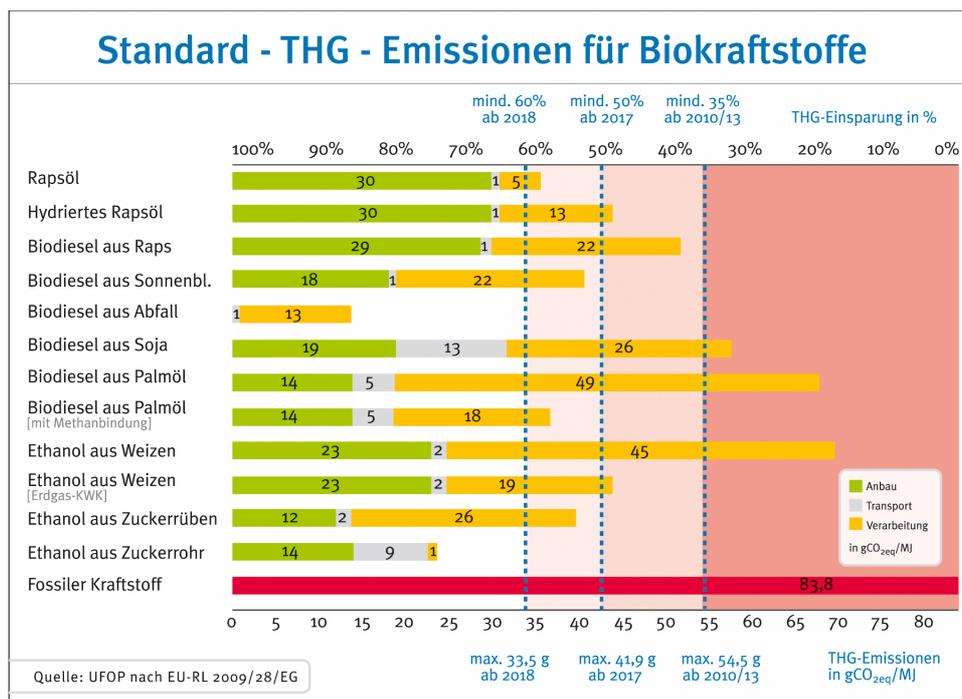


Abb. 20: Standard-Treibhausgas-Emissionen bei Anbau, Transport und Verarbeitung von Biokraftstoffen [132]

5.1 Biogene flüssige Energieträger auf Basis pflanzlicher Öle

Generell sind alle Pflanzen, die einen relativ hohen Anteil an Fett haben, für die Produktion von pflanzlichen Ölen geeignet. Beispielsweise können Rapssaat, Sojabohnen und Ölpalmenfrüchte als Grundlage dienen. In Hessen entstehen biogene flüssige Energieträger auf der Basis pflanzlicher Öle in der Regel aus Raps oder importierten Ölfrüchten. Weitere ölhaltige Pflanzensamen, wie zum Beispiel Sonnenblumen, Disteln und Lein, werden fast ausschließlich für die Erzeugung von Pflanzenölen für die menschliche Ernährung bzw. stoffliche Nutzung angebaut.

Der Stand der Erzeugung biogener flüssiger Energieträger sowie die Potenziale für Hessen wurden auf Basis des Rapsanbaus berechnet. Weder die in Hessen stehenden Anlagen zur Biodieselerzeugung noch die aufgrund der Beimischungspflicht im verkauften Kraftstoff befindlichen biogenen Anteile spiegeln den hessischen Beitrag zur regenerativen Kraftstofferzeugung realitätsnah wider. Die Abschätzung der eingesetzten Mengen biogener Brennstoffe in hessischen BHKW war ebenfalls nicht möglich. Dementsprechend wurden die nach Hessen importierten Pflanzenöle zur Biodieselherstellung oder für den Einsatz in BHKW in der Potenzialermittlung für Hessen nicht berücksichtigt. Die genaue Vorgehensweise wird bei den einzelnen biogenen flüssigen Energieträgern näher erläutert.

5.1.1 Pflanzenölkraftstoff

Pflanzenölkraftstoffe sind in der Regel naturbelassene Rohstoffe. Die Qualitätsanforderungen werden jedoch durch die Vornorm DIN V 51605, die allerdings nur für Rapsöl gilt, detailliert geregelt. In Hessen werden Pflanzenöle, die für den Betrieb von Fahrzeugen oder BHKW verwendet werden sollen, in der Regel aus Rapssaat hergestellt. Für den Betrieb von Fahrzeugen mit Pflanzenölen ist eine Anpassung des Motors erforderlich.

5.1.1.1 Stand der Nutzung

Zurzeit wird in Hessen auf rund 65.840 ha Raps angebaut [68]. Zur Ermittlung des Raps-ertrags wurde im Rahmen dieser Untersuchung für jedes Verwaltungsgebiet aus dem durchschnittlichen Raps-ertrag der letzten drei Jahre (2005–2007) sowie dem hessenweiten Raps-ertrag 2008 ein Mittelwert gebildet. Dieser liegt im hessenweiten Durchschnitt bei 3,7 t/ha; mit Schwankungen zwischen 3,2 t/ha und 3,9 t/ha [66] [70]. Die geerntete Rapssaat wird i. d. R. zu Rapsöl weiterverarbeitet. Ungefähr 70 % der Raps-ernte wird einer energetischen Nutzung zugeführt [30]. Davon dürften etwa 5 % in die Pflanzenöl-herstellung gehen, die restlichen 65 % werden zur Herstellung von Biodiesel verwendet [30]. Dabei gilt, dass dies ein Richtwert für Hessen ist. In bestimmten Regionen kann sich diese Menge auch anders aufteilen. Dennoch wurde in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass dieser Richtwert für ganz Hessen gilt. Bei einem Ölgehalt von 40 % werden in Hessen rund 4.700 t Pflanzenöle für die energetische Nutzung auf der Basis von Raps erzeugt [70]. Die Mengen, die in den drei Regierungsbezirken anfallen, sind in Abb. 21 aufgeführt.

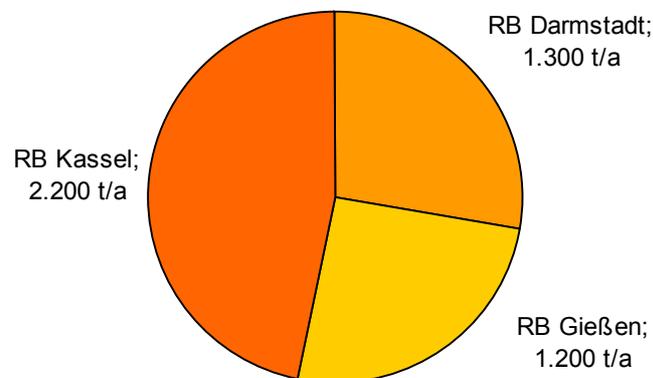


Abb. 21: Produktion von Pflanzenölen zur energetischen Nutzung in den drei Regierungsbezirken

In Hessen bestanden 2008 mindestens 22 dezentrale Herstellungsanlagen für Pflanzenöl [127] [130]. Allerdings ist aufgrund der aufgetretenen wirtschaftlichen Schwierigkeiten unklar, wie viele der hessischen Anlagen vorübergehend bzw. komplett stillgelegt worden sind [42] [130]. Die produzierenden Anlagen klagen über Auslastungs- und Absatz-schwierigkeiten. So beträgt deutschlandweit die durchschnittliche Auslastung 40 %, das Hauptabsatzprodukt ist nicht mehr das produzierte Öl, sondern der Presskuchen, der als Eiweißfutter in die Tierernährung geht [121] [127]. Das erzeugte Rapsöl wird stellenweise eingelagert, um so die Nachfrage nach den Presskuchen decken zu können. Es ist anzunehmen, dass diese Situation von Deutschland auf Hessen übertragbar ist, da sie durch die bundesdeutsche Gesetzgebung hervorgerufen wurde. Aus diesem Grund ist die erzeugte und tatsächlich energetisch genutzte Menge an Pflanzenöl in Hessen schwierig abzuschätzen [121].

Weder für die Anzahl der Fahrzeuge, die mit Pflanzenöl betrieben werden, noch für die mit Pflanzenöl beschickten BHKW liegen Datenbestände vor. Es ist davon auszugehen, dass im PKW-Bereich noch einige ältere Fahrzeuge in Betrieb sind. Ebenso ist von einer Nutzung von Pflanzenöl in landwirtschaftlichen Maschinen auszugehen. Auch einige BHKW werden weiterhin mit Pflanzenöl betrieben. Eine Mengenabschätzung, wie viel Pflanzenöl eingesetzt wird und insbesondere ob das eingesetzte Pflanzenöl aus heimischer Produktion stammt oder importiert wurde, ist nicht möglich.

5.1.1.2 Potenziale

Das Potenzial des Rapsanbaus zur Erzeugung flüssiger Energieträger ist von der zur Verfügung stehenden Fläche für den Energiepflanzenanbau abhängig und tritt bezüglich dieser Fläche in Konkurrenz mit einjährigen Energiepflanzen für die Biogasnutzungen und den langfristig angelegten Kulturen von Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen für die thermische Nutzung.

Die Ermittlung der maximal für die Energiepflanzenproduktion verfügbaren Fläche wird in Kapitel 4.1.2 näher beschrieben. Es wird in der Modellrechnung davon ausgegangen, dass auf 30 % der für den Energiepflanzenanbau verfügbaren Fläche Raps zur Erzeugung von biogenen flüssigen Energieträgern angebaut wird. Raps, der mit dem Ziel der Speiseölerzeugung angebaut wird, wird hier nicht betrachtet. Damit steht hessenweit ein Flächenpotenzial von 32.800 ha zur Verfügung. In Bezug auf das angenommene Modell bedeutet dies im Vergleich zu der aktuellen Situation, dass mittelfristig eine Reduktion der Rapsanbaufläche zur Energieerzeugung um ca. 13.000 ha zu erwarten ist. Bei einer durchschnittlichen Ertragssteigerung von 1 % im Jahr, ebenfalls an die regionalen Durchschnittserträge angepasst, werden im Jahr 2020 im hessenweiten Durchschnitt rund 4,1 t Rapssaat je Hektar geerntet [5]. Daraus ergibt sich eine Energierapsernte von 136.000 t im Jahr 2020. Analog zu einer Ertragssteigerung wird bis 2020 auch mit einer Steigerung des Ölgehaltes der Rapskörner gerechnet. Eine Erhöhung auf 45 % wird als realistisch angesehen [135], sodass 2020 rund 60.700 t Rapsöl zur energetischen Nutzung erzeugt werden könnten. Davon werden schätzungsweise rund 7 %, entsprechend etwa 4.200 t, direkt als chemisch unverändertes Rapsöl energetisch genutzt. Mit einer Tonne Rapsöl können 10,5 MWh Energie erzeugt werden, woraus sich eine Energiemenge von 42.000 MWh aus der direkten Nutzung von Pflanzenöl ergibt.

Die folgende Tabelle stellt den Vergleich zwischen der modellhaften Berechnung für 2020 und der aktuellen Situation dar.

Tab. 43: Vergleich zwischen der aktuellen Situation und der modellhaften Berechnung für 2020

	2008		Ergebnis 2020 (modellhafte Berechnung)
Anbaufläche für Raps zur Produktion biogener flüssiger Energieträger	46.100 ha	30 % der verfügbaren Anbaufläche für Energiepflanzen (Herleitung s. Kapitel 4.1.2) stehen für den Anbau von Raps zur Erzeugung biogener flüssiger Energieträger zur Verfügung	32.800 ha
Ertragspotenzial Raps	3,7 t/ha	ausgehend von regionalen Durchschnittserträgen wird mit einem 1%igen Ertragszuwachs pro Jahr gerechnet	4,1 t/ha
jährlicher Rapsertag für die Energiegewinnung	168.300 t		134.900 t
Ölgehalt der Saat	40%	Steigerung des Ölgehaltes durch züchterische Verbesserungen	45%
Ölertrag	67.300 t		60.700 t
davon für Pflanzenöl	7%		7%
Menge	4.700 t	keine Mengenverschiebungen	4.200 t
davon für Biodiesel	93%		93%
Menge	62.600 t	keine Mengenverschiebungen	56.500 t

5.1.1.3 Entwicklungsperspektiven

Mit Auslaufen der steuerlichen Förderung wird die breite Verwendung von Rapsöl als Kraftstoff enden [43]. Die Nutzung in der Land- und Forstwirtschaft wird vermutlich weiterhin attraktiv bleiben, da diese zum einen steuerfrei möglich ist [43] und zum anderen, besonders in den ökologisch sensiblen Einsatzbereichen, als sinnvoll zu erachten ist. Zudem bieten einige Landmaschinenhersteller pflanzenöлтаugliche Motoren an, sodass Pflanzenölkraftstoff ohne die sonst anfallenden Umrüstungskosten genutzt werden kann.

Im Bereich des Einsatzes in PKW und mittelfristig auch in LKW ist die Nutzung aufgrund der strengen Emissionsanforderungen und der dadurch notwendigen aufwendigen Motorenentwicklungen nicht zu erwarten [43]. Somit ist mit einer Steigerung der Verwendung, die über die Nische Agrar- und Forstbereich hinausgeht, nicht zu rechnen [43].

Die Chancen für hydrierte Pflanzenöle (auch HVO genannt) werden als aussichtsreich eingeschätzt [43]. Sie können sowohl separat als auch gemeinsam mit Erdölkomponenten hydriert werden. Der Einsatz in Dieselmotoren ist problemlos möglich, die geringere Dichte und die schlechteren Kälteeigenschaften müssen allerdings berücksichtigt werden. [43]

Die Pflanzenöl-BHKW, die erst in den letzten Jahren in Betrieb genommen worden sind, werden vermutlich weiter betrieben werden. Aus welchen Quellen der Rohstoff (nachhaltig erzeugtes) Pflanzenöl für die Energieerzeugung kommen wird, ist allerdings noch nicht abschätzbar. Im 2009 novellierten EEG ist die Gewährung des NawaRo-Bonus bei Verwendung flüssiger Bioenergieträger (mit Ausnahme von Stützfeuerungen) nur bis zu einer elektrischen Leistung des BHKW von 150 kW vorgesehen.

5.1.2 Biodiesel

Als Biodiesel wird ein Fettsäuremethylester-Gemisch bezeichnet, das bei der chemischen Umsetzung von Fetten und Ölen mit Methanol entsteht. In Deutschland wird Biodiesel üblicherweise aus Rapsöl sowie importierten Pflanzenölen hergestellt. Der Einsatz von Biodiesel erfolgt als Reinkraftstoff in dafür zugelassenen Motoren oder als Beimischung zu fossilem Diesel.

5.1.2.1 Stand der Nutzung

Analog zu Kapitel 5.1.1.1 wird die Rapserzeugung für die Biodieselproduktion in Hessen abgeschätzt. Bei einem Ölgehalt von 40 % werden somit hessenweit rund 62.600 t Rapsöl erzeugt, welches als Rohstoff für die Biodieselproduktion genutzt wird. Die Werte der drei Regierungsbezirke sind in Abb. 22 aufgeführt.

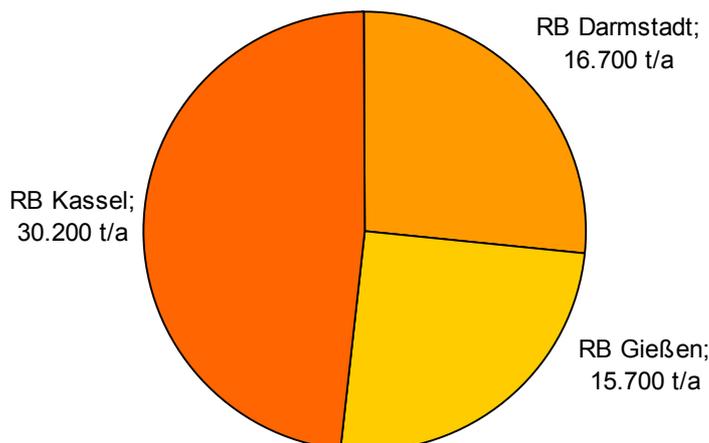


Abb. 22: Rapsölproduktion für die Biodieselproduktion in den drei Regierungsbezirken

Der abgesetzte reine Biodiesel in Hessen ist stark rückläufig. 2008 wurden rund 2,7 Mio. t Biodiesel in Deutschland abgesetzt, davon knapp die Hälfte als Beimischung für fossilen Diesel. Dies entspricht einem Rückgang im Gesamtabsatz um fast 20 %. Deutschlandweit haben über 40 % der Biodieselhersteller die Produktion eingestellt bzw. Insolvenz angemeldet. Weitere 15 % der Hersteller produzieren stark eingeschränkt [136]. Insgesamt wurden lediglich 55 % der Produktionskapazitäten ausgelastet [136]. Welche Menge des produzierten Biodiesels aus heimischem Raps stammen, ist offen.

Genaue Zahlen für Hessen liegen nicht vor. Aufgrund der gleichen politischen Rahmenbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Situation in Hessen vergleichbar ist. Die in Hessen ansässigen Biodieselproduzenten in Kaufungen und Frankfurt haben die Produktion von Biodiesel eingeschränkt.

Während der Markt für reinen Biodiesel, der als Reinkraftstoff der Norm DIN EN 14214 entsprechen muss, stark rückläufig ist, wird ein Anteil des erzeugten Biodiesels zur Beimischungen zu fossilem Diesel benötigt. Für die Beimischungen kommen allerdings auch erhebliche Mengen importierten Biodiesels zum Einsatz. Vorgeschrieben ist der Anteil von 4,4 %, gemessen am Energiegehalt des Kraftstoffs. Dieser entspricht mit dieser Beimischung weiterhin der Norm für Diesel DIN EN 590. Seit dem 01.02.2009 ist auch die Beimischung von 7 % Biodiesel mit gesonderter Kennzeichnung (B7) erlaubt. Der Kraftstoff muss dann der Norm DIN EN 51628 entsprechen.

5.1.2.2 Potenziale

Als Rohstoff aus Hessen für die Herstellung von Biodiesel kommt, neben geringe Anteilen Altstoffe, nur Rapsöl zum Einsatz. Die Anbaubedingungen sind vergleichbar mit denen von Pflanzenöl zur energetischen Nutzung. Die Herleitung der potenziellen Anbaufläche in Hessen sowie der erzielbaren Erträge erfolgt analog zu Kapitel 5.1.1.2 (vgl. Tab. 43). Für die Produktion von Biodiesel 2020 wird angenommen, dass 93 % der erzeugten Energierapsmenge für die Kraftstoffproduktion verwendet werden. Daraus folgt, dass 2020 rund 56.500 t Rapsöl in die Biodieselproduktion gehen werden. Daraus können ca. 51.300 t Biodiesel mit einem Energiegehalt von 528.300 MWh erzeugt werden.

5.1.2.3 Entwicklungsperspektiven

Während Biodiesel im Jahr 2005 als „breit markteingeführt“ galt und ihm große Entwicklungspotenziale zugesprochen wurden [18], ergibt sich im Jahr 2008 ein anderes Bild:

bedingt durch die politischen Rahmenbedingungen sowie günstige Importe ist der heimische Markt für reinen Biodiesel deutlich geschrumpft.

Zukünftig wird erwartet, dass aufgrund der Beimischungspflicht weiterhin eine Produktion von Biodiesel stattfindet. Woher die dafür eingesetzten Rohstoffe kommen, dürfte allerdings, in Abhängigkeit vom weltweiten Preisgefüge, schwanken. Aufgrund der Marktentwicklung ist davon auszugehen, dass ein gewisser Anteil importierter Rohware eingesetzt wird, aber ebenso ein Import von Biodiesel erfolgt. So wird nach derzeitigen Markteinschätzungen die Erzeugung und Nutzung von Biodiesel bis 2020 zurückgehen [48]. Wie die Vergangenheit gezeigt hat, ist die Entwicklung des Biodieselmektes stark von den politischen Rahmenbedingungen abhängig. Neben der Besteuerung des Biodiesels werden auch Auswirkungen durch die Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe erwartet. So kann Biodiesel aus Rapsöl unter den jetzigen Anbau- und Produktionsbedingungen, wie fast alle anderen biogenen Kraftstoffe der ersten Generation, die ab 2017 geforderten Einsparungen an Treibhausgas-Emissionen nicht einhalten (vgl. Abb. 20).

5.2 Biogene flüssige Energieträger auf Zucker- und Stärkebasis

Aus Zucker und Stärke kann der biogene flüssige Energieträger Bioethanol hergestellt werden. Bioethanol gehört chemisch zur Gruppe der Alkohole und ist auch unter dem Namen Ethylalkohol bekannt. Ein Liter Bioethanol ersetzt ungefähr 0,65 Liter Ottokraftstoff. Die Herstellung von Bioethanol erfolgt aus zucker- oder stärkehaltiger Biomasse. In Deutschland werden in der Regel Getreide (Weizen, Roggen) oder Zuckerrüben eingesetzt, in Brasilien und Indien wird Bioethanol aus Zuckerrohr erzeugt, in den USA aus Maiskörnern. Unter deutschen Anbauverhältnissen können aus einem Hektar Getreide rund 2.530 Liter Bioethanol erzeugt werden [44]. Ebenso kann mit Gewinnungsverfahren für biogene flüssige Energieträger der zweiten Generation Bioethanol prinzipiell aus zellulosehaltigen Materialien, wie Stroh und Holz, produziert werden. Weitere Informationen dazu sind in Kapitel 5.3 zu finden.

5.2.1 Stand der Nutzung

Deutschlandweit wurden 2008 auf ca. 250.000 ha Rohstoffe für die Ethanolgewinnung angebaut, aus denen rund 0,5 Mio. t Bioethanol produziert wurden [4]. In Deutschland praxisrelevant sind Zuckerrüben und Getreide; so wird 63 % des Bioethanols aus Getreide und 33 % aus Rüben bzw. Rübenstoffen hergestellt [4]. In Hessen gibt es keine Produktionsanlagen für Bioethanol. Allerdings werden in Hessen rund 50.000 t Bioethanolrüben angebaut [25]. Diese werden allerdings nicht direkt zu Bioethanol verarbeitet, sondern nach buchhalterischen Grundlagen mit Rüben verrechnet, die in einem Werk in Sachsen-Anhalt durch die Südzucker AG zu Bioethanol verarbeitet werden [25]. Bei einem Durchschnittsertrag von rund 60,5 t/ha*a (gemittelter hessischer Durchschnittsertrag 2003–2008; [70]) werden demzufolge rund 830 ha Ackerfläche mit Bioethanolrüben bestellt. In Hessen erzeugte Getreidechargen, die für die Ethanolherzeugung genutzt werden, sind nicht bekannt [30].

In Hessen hatten 2008 rund 20 Tankstellen eine Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer Zapfanlage für Bioethanol E 85 (besteht zu 85 % aus Bioethanol) [4] [127]. Somit ist davon auszugehen, dass ein gewisser Anteil von hessischen Fahrzeugen mit Bioethanol betrieben werden kann. Allerdings wurden 2008 lediglich 1,4 % des in Deutschland abgesetzten Ethanols (rund 8.500 t) als E 85 verbraucht [44]. Die übrige Menge wird in der Raffinerie dem Ottokraftstoff zugemischt. Erwähnenswert sind an dieser Stelle auch das Regierungspräsidium Gießen sowie hessische Landesbetriebe, deren Fahrzeugflotte teilweise aus Flexifuel-Fahrzeugen, also aus Fahrzeugen, die sowohl mit Bioethanol E 85 als auch mit Ottokraftstoff betrieben werden können, besteht.

5.2.2 Potenziale

Die Erzeugung von Bioethanol aus Zuckerrüben und Getreide ist technisch ausgereift [42]. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, dass Verarbeitungskapazitäten für Bioethanol in Hessen gebaut werden. Es ist, bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen, zu erwarten, dass ein gewisser Teil Zuckerrüben, die für die Südzucker AG produziert werden, auch weiterhin mittels buchhalterischer Grundsätze zu Bioethanol verarbeitet wird. Es ist allerdings nicht von einer Mengensteigerung auszugehen, sodass mit rund 800 bis 1.000 ha Zuckerrüben (ca. 5 % der hessischen Zuckerrübenanbaufläche) gerechnet werden kann, die zu Ethanol verarbeitet werden.

5.2.3 Entwicklungsperspektiven

Die Entwicklungsperspektiven der Bioethanolerzeugung in Deutschland und somit auch in Hessen sind im hohen Maße von den weiteren politischen Entwicklungen, insbesondere von der Besteuerung, der gesetzlichen Beimischungsquote sowie den Welthandelsbedingungen, abhängig. So ist derzeit nach der Ottokraftstoffnorm (DIN EN 228) eine Beimischung von bis zu 5 % möglich, die gesetzlich geforderte Beimischungsquote liegt bei 2,8 %.

Die Herstellung von Bioethanol aus Getreide und Zuckerrüben in Deutschland ist im Vergleich mit der Bioethanolherstellung aus Zuckerrohr wirtschaftlich im Nachteil. So können aus einem Hektar angebautem Zuckerrohr rund 6.400 l Bioethanol erzeugt werden [44]. Bezüglich des Massenertrags erzielt die Zuckerrübe zwar vergleichbare Ergebnisse (6.250 l/ha) [44], die Produktionskosten liegen jedoch weitaus höher. Die Produktionskosten werden von vielen Faktoren beeinflusst; angefangen mit den Produktionskosten der eingesetzten Rohstoffe gefolgt von Energie-, Lohn- und Transportkosten. Die Ethanolproduktion ist in Brasilien für Produktionskosten von ca. 0,22 €/l möglich [44]. Die Produktionskosten in Deutschland liegen dagegen zwischen 0,47 und 0,57 €/l [44]. Betrachtet man die Herstellungskosten je Energieeinheit, so liegt Bioethanol aus Zuckerrohr bei 10,39 €/GJ, aus Getreide bei 21,97 €/GJ und aus Zuckerrüben sogar bei 27,00 €/GJ [44]. So ist brasilianisches Bioethanol aus Zuckerrohr selbst inklusive der Transportkosten und den in der EU erhobenen Transportzöllen (0,109 €/l für vergälltes Bioethanol) billiger zu beziehen als in Deutschland hergestelltes Bioethanol. Die Perspektiven für die Bioethanolherstellung in Nordhessen wurden bereits erarbeitet [144].

Mit einer Herstellung von Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Pflanzen ist erst mittelfristig zu rechnen, sie gilt aber als vielversprechend (vgl. hierzu Kapitel 5.3) [42].

5.3 Biogene flüssige Energieträger aus Ganzpflanzen

Biogene flüssige Energieträger aus Ganzpflanzen werden aus Biomasse mittels verschiedener Verfahren hergestellt. Für die Herstellung eignen sich verschiedene Ausgangsstoffe, wie zum Beispiel Holz und Stroh. Die eingesetzten Ganzpflanzen können zu synthetischen Brenn- und Kraftstoffen umgewandelt werden. Diese Energieträger sind bisher in der Praxis nicht verfügbar. Ob diese Energieträger zukünftig als Kraftstoffe oder als Brennstoffe zur Strom- und Wärmeengewinnung genutzt werden, ist dabei zunächst von untergeordneter Bedeutung.

5.3.1 Stand der Nutzung

Die Herstellung von biogenen flüssigen Energieträgern aus Ganzpflanzen ist zurzeit noch im Forschungs- und Entwicklungsstatus angesiedelt [45]. Es sind lediglich einige Pilot-

und Demonstrationsanlagen in Betrieb, sodass eine Nutzung der erzeugten synthetischen Kraft- und Brennstoffe nur im Rahmen von Forschungsprojekten stattfindet.

5.3.2 Potenziale

Die Potenziale der biogenen flüssigen Energieträger aus Ganzpflanzen basieren auf anfallenden Reststoffen und Rohstoffen aus der Land- und Forstwirtschaft. Der Einsatz dieser Stoffströme ist auf der einen Seite von der Weiterentwicklung der Technik zur Erzeugung der synthetischen Kraft- und Brennstoffe sowie den alternativen Techniken zur Energieerzeugung (Vergasung in Biogasanlage, Verbrennung) abhängig und auf der anderen Seite von den Preisen, die Anlagenbetreiber bereit sind, für die benötigten Rohstoffe zu entrichten. Ein weiterer Punkt, der die Potenzialbestimmung beeinflusst, ist, dass die Rest- und Rohstoffe in der Regel dezentral anfallen und somit entsprechende Logistikkonzepte für die Bereitstellung der Rohstoffe bzw. bereits aufbereiteter Rohstoffe erarbeitet werden müssen.

Für Nordhessen wurden bereits Konzepte erarbeitet, die die Optionen der Biokraft- und -brennstoffherstellung aus regionalen Potenzialen bewerten und die logistischen Rahmenbedingungen der Rohstoffbereitstellung und -aufbereitung differenziert darstellen [144] [145].

Die Potenzialermittlung von Stroh wurde in Kapitel 3.2.1 beschrieben. Ein Teil des energetisch verfügbaren Strohs kann auch zur Herstellung von synthetischen Kraft- und Brennstoffen zur energetischen Nutzung verwendet werden. Ebenso verhält es sich mit den Grünlandbiomassen, deren Potenziale in Kapitel 4.1.3 hergeleitet wurden.

5.3.3 Entwicklungsperspektiven

Für 2010 werden die ersten kleineren Mengen an BtL-Kraftstoffen aus Demonstrationsanlagen erwartet. Es ist erst mittel- bis langfristig mit größeren Anlagen zu rechnen, die synthetische Kraft- und Brennstoffe der zweiten Generation in einem industriellen Maßstab produzieren [131]. Langfristig wird erwartet, dass mit synthetischen Biokraftstoffen – auch aus Importen – rund 20 % des Kraftstoffbedarfs Deutschlands gedeckt werden kann [27].

Vorteil der biogenen flüssigen Energieträger aus Ganzpflanzen ist, dass für die Produktion Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden können und die Produktion somit nicht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion tritt [123]. Zum Einsatz kann jedwede Form von trockener Biomasse (TS-Gehalt 85 %) kommen. Zudem kann eine hohe Kraft- und Brennstoffqualität erzeugt werden, die die entsprechenden DIN-Normen erfüllt [123]. Grundsätzlich werden biogenen flüssigen Energieträgern aus Ganzpflanzen gute Perspektiven bescheinigt.

Für die Verarbeitung von Stroh wurden für Nordhessen bereits Optionen aufgezeigt, die die Nutzung des Reststoffes Stroh in einem Zwischenschritt auf dem Weg zur BtL-Herstellung ermöglichen. Mit Hilfe der Schnellpyrolyse kann Stroh in den biogenen flüssigen Energieträger BioLiq umgewandelt werden, der eine wesentlich höhere Energiedichte als Stroh aufweist und damit zur Problemlösung bei der Lager- und Transportlogistik für die BtL-Herstellung beiträgt. Aufgrund dieser Vorteile ist BioLiq zudem als Brennstoff in technisch angepassten Industrieheizkraftwerken auch langfristig geeignet und bietet somit unabhängig von den Fortschritten bei der Kraftstoffherstellung einen Absatzmarkt für das Zwischenprodukt und damit auch für das verfügbare Strohpotenzial [145].

5.4 Anlagenbestand zur Erzeugung und Nutzung biogener Kraftstoffe

In Hessen gibt es mindestens 22 dezentrale Ölmühlen zur Erzeugung von Rapsöl [127] [130]. Die Kapazitäten der Anlagen sind nicht bekannt. Des Weiteren sind zwei Anlagen zur Produktion von Biodiesel in Kaufungen und Frankfurt bekannt. Darüber hinaus ist die Hessische Erzeugergemeinschaft für nachwachsende Rohstoffe w. V. (EZG) an der Biodieselproduktionsstätte in Neuss beteiligt und liefert Rapssaat dorthin. Anlagen, die der Bioethanolproduktion oder der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen dienen, sind in Hessen keine bekannt. Einen Überblick gibt Tab. 44.

Tab. 44: Anlagenbestand zur Erzeugung biogener flüssiger Energieträger in Hessen [130]

		Ölmühlen	Biodieselproduktion	
		Anzahl	Anzahl	Verarbeitungs- kapazität
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt			
	Frankfurt/Main		1	250.000 t
	Stadt Offenbach			
	Wiesbaden			
	Bergstraße	2		
	Darmstadt-Dieburg			
	Groß-Gerau			
	Hochtaunuskreis	1		
	Main-Kinzig-Kreis			
	Main-Taunus-Kreis			
	Odenwaldkreis	1		
	Landkreis Offenbach	1		
	Rheingau-Taunus-Kreis			
	Wetteraukreis	1		
	Regierungsbezirk Darmstadt	6	1	250.000 t
RB Gießen	Gießen			
	Lahn-Dill-Kreis			
	Limburg-Weilburg	1		
	Marburg-Biedenkopf			
	Vogelsbergkreis	2		
Regierungsbezirk Gießen	3	0	0 t	
RB Kassel	Stadt Kassel			
	Fulda	2		
	Hersfeld-Rotenburg	2		
	Landkreis Kassel		1	35.000 t
	Schwalm-Eder-Kreis	2		
	Waldeck-Frankenberg	4		
	Werra-Meißner-Kreis	3		
Regierungsbezirk Kassel	13	1	35.000 t	
Hessen GESAMT	22	2	285.000 t	

Biogene flüssige Energieträger können auf der einen Seite als Reinkraftstoff bzw. Bioethanol als Mischung (85 % Bioethanol und 15 % Ottokraftstoff) getankt werden. Auf der anderen Seite werden sie verpflichtend als Beimischung zu fossilen Kraftstoffe verwendet. Eine Übersicht der Tankstellen in Hessen, die reine Biokraftstoffe bzw. Bioethanol

E 85 anbieten, gibt Tab. 45. Es ist anzunehmen, dass die Anzahl der Tankstellen, die Biodiesel und Pflanzenöl als reine Biokraftstoffe anbieten, zurückgegangen ist. Dagegen ist die Anzahl der Tankstellen, die Bioethanol E 85 anbieten, tendenziell steigend. So waren Ende 2009 bereits 30 hessische Tankstellen bekannt, die Bioethanol E 85 vertrieben haben.

Tab. 45: Tankstellen für biogene Kraftstoffe in Hessen

		Pflanzenöl*	Biodiesel*	Bioethanol (E85)
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	1		
	Frankfurt/Main	1	3	2
	Stadt Offenbach		1	
	Wiesbaden			
	Bergstraße	4	1	
	Darmstadt-Dieburg		1	
	Groß-Gerau	3	1	
	Hochtaunuskreis		2	2
	Main-Kinzig-Kreis		4	1
	Main-Taunus-Kreis		1	1
	Odenwaldkreis		1	
	Landkreis Offenbach	1	1	2
	Rheingau-Taunus-Kreis			
	Wetteraukreis	2	9	
	Regierungsbezirk Darmstadt	12	25	8
RB Gießen	Gießen		4	2
	Lahn-Dill-Kreis	1		3
	Limburg-Weilburg	1	1	
	Marburg-Biedenkopf	1	3	1
	Vogelsbergkreis	2	3	1
	Regierungsbezirk Gießen	5	11	7
RB Kassel	Stadt Kassel	1	2	1
	Fulda	4	3	3
	Hersfeld-Rotenburg	1	3	
	Landkreis Kassel		4	1
	Schwalm-Eder-Kreis	4	8	
	Waldeck-Frankenberg	2	4	1
	Werra-Meißner-Kreis	1	4	
	Regierungsbezirk Kassel	13	28	6
Hessen GESAMT	30	64	21	

* Stand Ende 2007

5.5 Perspektiven für die Erzeugung und Nutzung biogener flüssiger Energieträger

Die Perspektiven für die Erzeugung und Nutzung biogener flüssiger Energieträger in Hessen können in drei Fallbetrachtungen unterschieden werden. Dies sind die biogenen Kraftstoffe, die zum einen als Reinkraftstoffe eingesetzt werden können und zum anderen im Rahmen der Beimischungspflicht fossilen Kraftstoffen zugegeben werden. Dazu kommen biogene flüssige Energieträger, die als Brennstoffe in BHKW zur Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt werden können.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen bezüglich der Nutzung biogener flüssiger Energieträger als Kraftstoffe sowie ein kurzer Überblick über die Nachhaltigkeitsverordnungen für Biokraftstoffe und Biomassestrom wurde bereits in der Einführung dieses Kapitels gegeben. In der Erläuterung der Perspektiven für die Erzeugung und Nutzung biogener flüssiger Energieträger wird darauf verwiesen.

5.5.1 Biogene Reinkraftstoffe

Die zeitliche Entwicklung bei der Verwendung von Reinkraftstoffen als Dieselerersatz (Biodiesel, Pflanzenöl) ist unter technischen Gesichtspunkten differenziert zu betrachten:

1. Biodiesel:

- Im PKW-Bereich gab es in der Vergangenheit von einigen Herstellern Freigaben für den Fahrzeugbetrieb mit Biodiesel. Gegenwärtig sind nur noch sehr wenige Modelle, meist nur mit entsprechender technischer Sonderausstattung bei Verwendung von Biodiesel auf Rapsölbasis, für diesen Kraftstoff zugelassen.
- Für die Nutzung von Biodiesel in Landmaschinen (insbesondere Traktoren) haben die meisten Hersteller Freigaben für Neumaschinen erteilt, z. T. auch für ältere Modelle.
- Im Nutzfahrzeug-Bereich (LKW) können je nach Freigabe einiger Hersteller entsprechende Modelle bzw. Motortypen mit Biodiesel betrieben werden, wenn entsprechende Vorgaben zum Betrieb erfüllt sind.

2. Pflanzenöl:

- Der Betrieb mit Pflanzenölkraftstoff ist in der Regel nur in umgerüsteten Motoren möglich.
- Sehr wenige Modelle (landwirtschaftliche Zugmaschinen) können ab Werk mit dieser Betriebsoption geordert werden.

Durch die Besteuerung ist der Einsatz der oben genannten Bioreinkraftstoffe als Dieselerersatz in den ohnehin stark eingeschränkten Motoren- und Modellangeboten der Hersteller wenig attraktiv. Bei zeitweise hohen Agrarpreisen (z. B. 2008) wurde vor allem die Produktionen für Pflanzenölkraftstoff aus Rapsöl stark zurückgefahren. Das zwischenzeitlich relativ hohe Preisniveau von Biodiesel ließ das Tankstellennetz nicht unwesentlich schrumpfen. Daher dürften künftig die Bioreinkraftstoffe als Dieselerersatz auf Rapsölbasis vornehmlich für den Einsatz von Maschinen der Land- und Forstwirtschaft Verwendung finden, da diese Bereiche weiterhin steuerbefreit sind. Preislich konkurrenzfähig hingegen können günstige Biodieselimporte sein, entsprechende Qualitäten vorausgesetzt.

Bioethanol in Form eines Reinkraftstoffs ist nur in Motoren mit entsprechend technischer Anpassung einsetzbar. Marktreif hingegen sind sogenannte Flex-Fuel Motoren, die sowohl mit E 85 Ethanolkraftstoff als auch mit Ottokraftstoff betrieben werden können, allerdings in Deutschland kaum angeboten werden.

Als weiterer Biokraftstoff ist der sogenannte BtL-Kraftstoff als Dieselerersatz zwar in kleineren Anlagen hergestellt worden, er dürfte jedoch in naher Zukunft noch keine bedeutende Rolle bei der Kraftstoffversorgung spielen. Die langfristig gesicherte Bereitstellung von großen Mengen an Biomassen zur effizienten Herstellung dieses Kraftstoffs zweiter Generation dürfte im Inland ein besonderes Hemmnis darstellen, Anlagen entsprechenden Ausmaßes zu etablieren. Im Rahmen einer Studie wurden jedoch bereits alternative Modelle für Nordhessen aufgezeigt, die eine Konditionierung des Rohstoffes Stroh zur Verbesserung der Transport- und Lagerlogistik in Anlagen ermöglichen, die an die regionalen Strukturen angepasst sind [145].

Auf die Nutzung von aufbereitetem Biogas als Ersatz für fossile Kraftstoffe ist bereits in Kapitel 4.4 eingegangen worden.

Ein nennenswerter Ausbau des Tankstellenetzes ist vorerst nur regional bei Ethanol (E 85) zu erwarten, wenn aufgrund von Fahrzeugflotten eine Nachfrage besteht. Dagegen dürften Biodieseltankstellen, die aufgrund des hohen Preisgefüges ihren Betrieb eingestellt haben, nur schwer zu überzeugen sein, bei nachlassenden Preisen diesen Kraftstoff wieder in die Produktpalette mit aufzunehmen.

5.5.2 Biogene Kraftstoffe in der Beimischung zu fossilen Kraftstoffen

Eine deutlich andere Entwicklung hat sich in den letzten fünf Jahren bei der Beimischung von Biokraftstoffen zu fossilen Kraftstoffen gezeigt: Bereits im Jahr 2004 erfolgte erstmals die Zulassung für eine maximal 5%-ige Beimischung von Biodiesel zu herkömmlichem Diesel. Derzeit muss Dieselkraftstoff mindestens 4,4 % und darf bis zu 7 % Biodieselan-teile enthalten. In Benzin muss mindestens 2,8 % Ethanol enthalten sein. Hier liegt der Höchstwert bei einem 5%-igen Ethanolanteil.

Allerdings ist der Biokraftstoffanteil an den jeweiligen fossilen Kraftstoffen nicht beliebig erhöhbar, da sich in den Bereichen Kraftstoff- und Motormanagement einige technische Schwierigkeiten ergeben würden und die europäischen Kraftstoffnormen dem deshalb entgegen stehen.

Um beim Ottokraftstoff den Biokraftstoffanteil erhöhen zu können, wird seitens der Kraftstoffbranche eine Beimischung von Biobutanol erwogen [47]. Hierbei handelt es sich, chemisch betrachtet, um einen höherwertigen Alkohol, der aus den gleichen Grundstoffen wie Bioethanol hergestellt und dem Benzin bis zu einem Anteil von 15 % zugemischt werden kann, ohne die in der Norm DIN EN 228 geforderten Eigenschaften des Produktes zu verschlechtern. Der Anteil von biogenen flüssigen Energieträgern bei Dieselkraftstoffen kann durch den Zusatz von hydrierten Ölen (HVO) zusätzlich erhöht werden. Die hydrierten Öle werden von der Automobilindustrie bevorzugt, da in ihnen hochwertige Kraftstoffbestandteile, wie Paraffine und Isoparaffine, enthalten sind [43].

Was den Kraftfahrzeugbestand (mit amtlichem Kennzeichen) betrifft, konnte seit 2007 bis heute (Stand 2009) in Hessen ein Rückgang von über 10 % festgestellt werden [67] [69], was auch dem bundesweiten Trend entspricht. Insgesamt ist anzunehmen, dass der Kraftstoffbedarf aufgrund des veränderten Kraftfahrzeugbestands und der zunehmend verbesserten Effizienz etwas geringer werden wird, sodass sich daraus ein leicht verminderter Bedarf an Biokraftstoffen für die Beimischung ergibt.

5.5.3 Biogene Brennstoffe zum Einsatz in BHKW

Biogene flüssige Energieträger können auch zur Verfeuerung in BHKW eingesetzt werden. Der Haupteinsatzstoff derzeit ist Pflanzenöl. Zukünftig könnten auch synthetische Biokraftstoffe bei entsprechender Preiswürdigkeit eine Rolle spielen.

Der Einsatz von Pflanzenölen zum Betrieb von BHKW wird voraussichtlich in den bereits betriebenen BHKW fortgesetzt werden. In diesem Bereich ist zu beachten, dass ab 2009, wie in 5.1.1.3 begründet, die Stromeinspeisung nur noch durch Kleinanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 150 kW finanziell attraktiv sein dürfte. Zudem können die meisten der in diesem Bereich eingesetzten biogenen flüssigen Energieträger bei unveränderten Anbau- und Produktionsbedingungen die Kriterien der Nachhaltigkeitsverordnung für Biomassestrom nicht erfüllen. Es ist somit nicht zu erwarten, dass in diesem Bereich große Mengensteigerungen auftreten werden.

Eine weitere interessante Nutzungsoption für den Einsatz biogener flüssiger Energieträger könnte sich aus der Nutzung von Zwischenprodukten der synthetischen Biokraftstoff-

herstellung ergeben. Das aus der Schnellpyrolyse nach dem sogenannten „BioLiq“-Verfahren vom Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) und der Firma Lurgi entstehende sogenannte „Bio-Syncrude“, eine Mischung aus Pyrolyseöl und –koks, könnte für spezielle Biomassekraftwerke ein interessanter Brennstoff sein, wie Vorstudien [145] gezeigt haben. Anstelle des Einsatzes der Mischung besteht auch die Option, das Pyrolyseöl über dezentrale BHKW und den Koks in Biomassekraftwerken einzusetzen und so die Stromerzeugung und die Wärmeverwertung weiter zu optimieren. Allerdings sind für diese Konzepte noch erhebliche Entwicklungsarbeiten notwendig.

5.5.4 Entwicklung der Nutzung biogener flüssiger Energieträger in Hessen

Gegenüber dem Jahr 2004 ist die Erzeugung biogener flüssiger Energieträger aus hessischen Rohstoffen im Jahr 2008 zwar um rund 50 % angestiegen, gegenüber den Jahren 2005/06 jedoch wieder gesunken. Der Anstieg ist hauptsächlich auf die verstärkte Verwendung von Raps zur Herstellung von Biodiesel zurückzuführen. Die Erzeugung von Pflanzenöl und Bioethanol hat sich nur sehr geringfügig erhöht (vgl. Abb. 23).

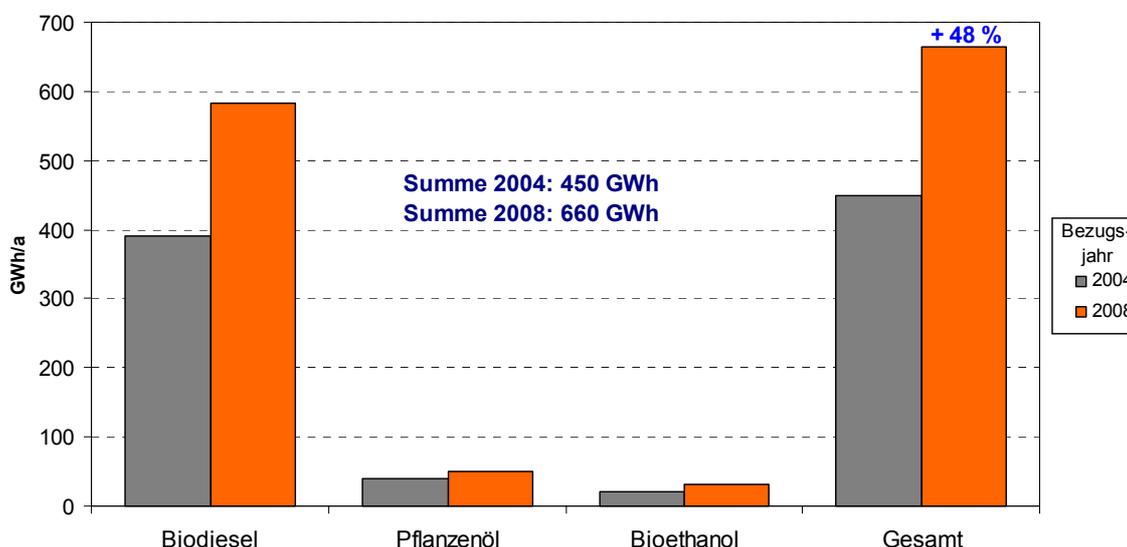


Abb. 23: Vergleich der Energieerzeugung aus biogenen Kraftstoffen in Hessen im Jahr 2004 und 2008

6 Zwischenfazit energetische Nutzung und Potenziale von Biomasse

Im Vergleich zum Jahr 2004/05 ist die Erzeugung von regenerativer Energie aus biogenen Rohstoffen im Jahr 2008 um gut 60 % angestiegen (vgl. Abb. 24). Einen bedeutenden Anteil daran hat die verstärkte Nutzung biogener Festbrennstoffe einschließlich der Nutzung des regenerativen Anteils im Restabfall durch Müllheizkraftwerke und Anlagen zur Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Hessen. Daneben tragen auch die Bemühungen der durch die hessische Landesregierung geförderten Projekte der BioRegio Holz zu einem Anstieg der Heizwerke bei. Aber auch bei der energetischen Nutzung biogener Gase sind erhebliche Erfolge zu verzeichnen. Auch in diesem Bereich konnte die Energiebereitstellung fast verdreifacht werden. Rund 34 % der regenerativ erzeugten Bioenergie stammen aus der Nutzung von Abfallstoffen, 66 % wurden über die Bereitstellung von NawaRo erzeugt.

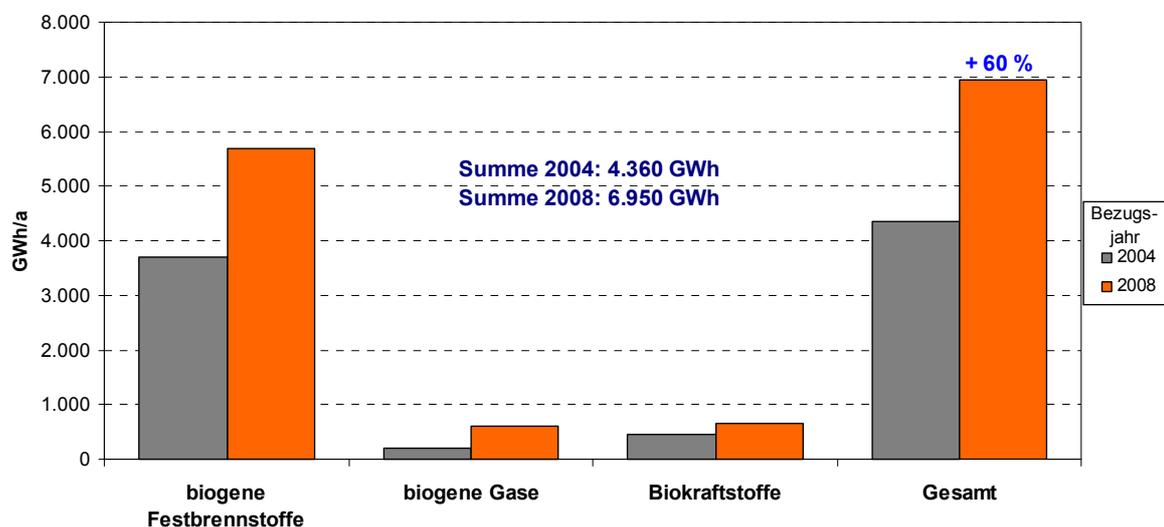


Abb. 24: Vergleich der Energieerzeugung aus Biomasse in Hessen im Jahr 2004 und 2008

Der aktuellen energetischen Nutzung von Biomasse mit einer Gesamtenergieerzeugung von 6.950 GWh/a steht ein verbleibendes Potenzial in vergleichbarer Höhe von rund 6.500 GWh/a gegenüber (Abb. 25). Ein Potenzialschwerpunkt von rund 4.300 GWh/a liegt dabei auf den biogenen Festbrennstoffen. Wie bereits in Kapitel 3.5 ausgeführt, ergeben sich dabei insbesondere bei den Stoffströmen, für deren Nutzung technische Anpassungen bzw. Weiterentwicklungen erforderlich sind oder deren Mobilisierung mit erhöhtem logistischen Aufwand verbunden ist, interessante Entwicklungsperspektiven.

Dem zurzeit genutzten Anteil biogener Gase von rund 600 GWh/a steht ein verbleibendes technisches Potenzial von rund 2.200 GWh/a gegenüber. Hier stellen insbesondere die landwirtschaftlichen Rohstoffe und Reststoffe mit rund 1.700 GWh/a den Hauptstoffstrom dar.

Bei den Biokraftstoffen ergibt sich zumindest für die so genannte 1. Generation kein weiteres Potenzial in Hessen. Es wird davon ausgegangen, dass die verfügbare Energiepflanzenfläche nicht für eine Ausweitung der Rapsproduktion oder des Ethanolrübenaubaus verwendet wird. Eine Weiterentwicklung scheint eher im Bereich der synthetischen

Kraftstoffe wie BtL möglich. Erste Entwicklungsansätze für Nordhessen zur Nutzung einer Synthesewegstufenstufe, des BioLiq aus der Schnellpyrolyse von Stroh, in Industriekraftwerken wurden bereits erarbeitet [145].

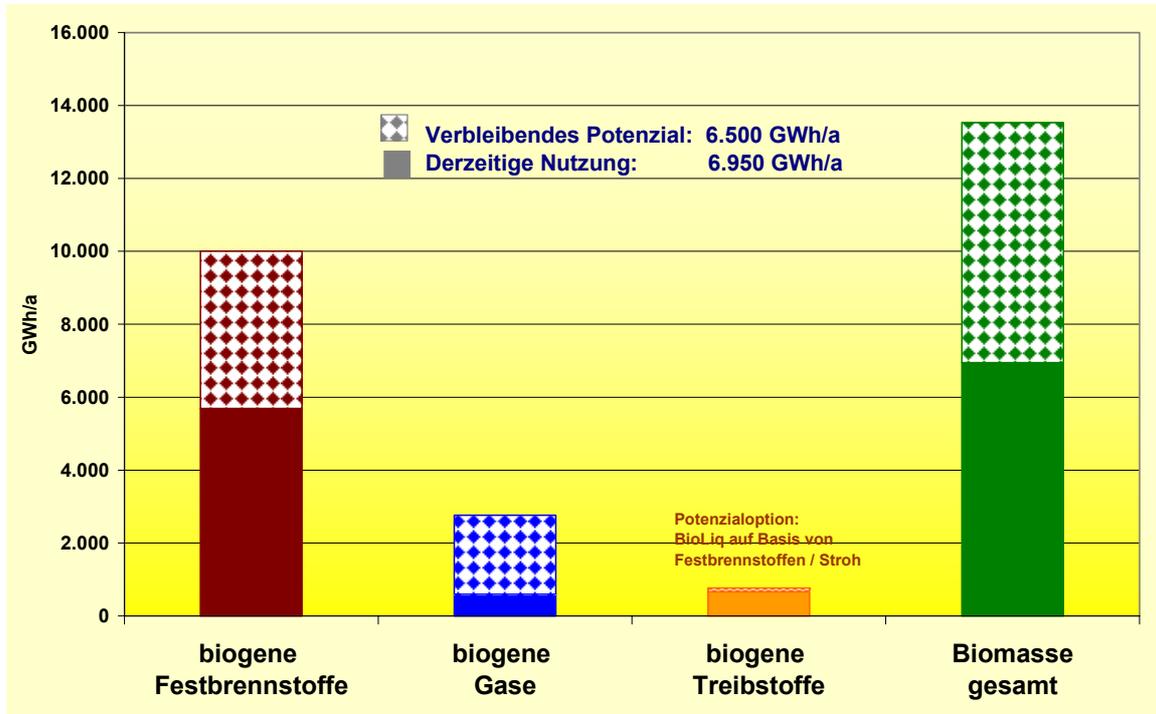


Abb. 25: Derzeitige Nutzung und verbleibende technische Biomassepotenziale in Hessen

7 Stand der sonstigen erneuerbaren Energien

Mit Ausnahme der Bereiche Solarthermie und Geothermie dienen die weiteren Techniken zur regenerativen Energieerzeugung der Stromproduktion. Die Angaben zu installierter Leistung und erzeugter Energiemenge in den Bereichen Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft in den folgenden Kapiteln beziehen sich demnach auf diese Energieart, ohne dass dies jeweils zusätzlich vermerkt wird.

Für die anderen erneuerbaren Energien erfolgt lediglich eine Erfassung des derzeitigen Nutzungsstand. Eine Potenzialberechnung wird im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt.

7.1 Windkraft

Nach den Erhebungen des Fraunhofer-Instituts IWES waren im Jahr 2007 insgesamt 566 Windkraftanlagen mit einer Leistung von 499 MW installiert, deren geleistete Arbeit mit 701,7 [128] bzw. 748,5 MWh/a [141] abgeschätzt wurde. Wie in Tab. 46 dargestellt, konnte nach Angaben der Regierungspräsidien in Hessen bis zum Sommer 2009 eine Zunahme der Anlagenanzahl und der installierten Leistung verzeichnet werden.

In Hessen sind gegenwärtig 580 Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von 513 MW installiert. Im Mittel entspricht dies einer Nennleistung von rund 0,9 MW je Anlage. Hinzu kommen 39 Anlagen, die zum Großteil bereits genehmigt sind oder sich im Genehmigungsverfahren befinden. Die mittlere Nennleistung dieser Anlagen liegt bei 1,7 MW, was die technische Entwicklung hin zu größeren bzw. höheren Windkraftanlagen auch in den Mittelgebirgsregionen belegt. Die jährlich produzierte und eingespeiste Strommenge wird auf 880 GWh geschätzt [108]. Vom Hessischen Statistischen Landesamt wurde für das Jahr 2008 eine Einspeisemenge von 681 GWh angegeben [76].

Der Schwerpunkt der Windenergienutzung liegt mit einer installierten Leistung von rund 226 MW gegenwärtig im Bereich des Regierungsbezirks Kassel, gefolgt von Mittelhessen mit rund 202 MW. In Südhessen ist eine vergleichsweise geringe Leistung von rund 85 MW installiert.

Bei einem mittleren Flächenbedarf von 5 ha je installiertem MW³ ergibt sich eine gegenwärtig genutzte Fläche von rund 2.560 ha. Werden die bereits genehmigten bzw. noch im Verfahren befindlichen Anlagen hinzugerechnet, ergibt sich ein Flächenbedarf von etwa 2.900 ha, der einem prozentualen Anteil an der Gesamtfläche Hessens von ca. 0,14 % entspricht.

Die Angabe zum Flächenbedarf von Windkraftanlagen bezieht die erforderlichen Mindestabstände zwischen den Anlagen mit ein. Bis auf die Flächenanteile, die direkt für bauliche Anlagen wie Zufahrtswege, Fundamente und Versorgungsanlagen oder sonstige technische Bauten benötigt werden, kann diese Fläche weiterhin landwirtschaftlich wie bisher genutzt werden. Für die Errichtung von Windkraftanlagen in Waldgebieten (z. B. auf bewaldeten Höhenzügen) gilt dies ebenfalls, ggf. müssen zusätzliche Sicherheitsabstände zwischen Baumbestand und Windkraftanlage eingehalten werden.

³ Pro MW installierter Leistung einer Windkraftanlage werden 5 ha Gesamtfläche angesetzt, um sämtliche Abstandsregelungen einhalten zu können.

Tab. 46: Bestand an Windkraftanlagen, Anlagen im Genehmigungsverfahren und in Planung nach Regionalplan 2000 bzw. 2001, Bestand und Planung Stand Sommer 2009 [108]

		Bestand, Anlagen im Genehmigungsverfahren und in Planung nach Regionalplan 2000 bzw. 2001								
		Anlagen Bestand (errichtet) 2009				Anlagen genehmigt, im Genehmigungsverfahren und in Planung				Summe Bestand und in Planung
		Anzahl Anlagen Stück	Fläche ¹⁾ ha	Inst. Leistung MW	Progn. Ertrag ²⁾ GWh/a	Anzahl Anlagen Stück	Fläche ¹⁾ ha	Inst. Leistung MW	Progn. Ertrag ²⁾ GWh/a	Fläche ¹⁾ ha
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	0				0				
	Stadt Frankfurt *	0				0				
	Stadt Offenbach *	0				0				
	Wiesbaden	0				0				
	Bergstraße	0				0				
	Darmstadt-Dieburg	5	19	3,8	5	4	40	8,0	14	59
	Groß-Gerau **	0			0	0				
	Hochtaunuskreis *	0			0	0				
	Main-Kinzig-Kreis **	41	247	49,3	89	12	120	24,0	43	367
	Main-Taunus-Kreis *	0			0	0				
	Odenwaldkreis	4	30	6,0	14	1	15	3,0	5	45
	Landkreis Offenbach *	0			0	0				
	Rheingau-Taunus-Kreis	12	29	5,8	9	2	12	k. A.	k.A.	41
Wetteraukreis **	23	102	20,4	37	3	23	4,5	8	125	
Regierungsbezirk Darmstadt und PV Frankfurt		85	427	85,3	153	22	210	39,5	71	636
RB Gießen	Gießen	4	17	3,4	6	4	16,0	3,2	5,4	33
	Lahn-Dill-Kreis	25	85	16,9	29	0				85
	Limburg-Weilburg	8	40	7,9	13	0				40
	Marburg-Biedenkopf	26	111	22,1	38	0				111
	Vogelsbergkreis	175	756	151,2	257	4	34,0	6,8	11,6	790
Regierungsbezirk Gießen		238	1.007	201,5	343	8	50	10,0	17	1.057
RB Kassel	Stadt Kassel	0			0	0				
	Fulda	2	9	1,7	3	0				9
	Hersfeld-Rotenburg	23	144	28,7	49	0				144
	Landkreis Kassel	99	373	74,7	127	0				373
	Schwalm-Eder-Kreis	27	127	25,4	43	0				127
	Waldeck-Frankenberg	100	443	88,5	150	9	85	17,0	29	528
	Werra-Meißner-Kreis	6	36	7,2	12	0				36
Regierungsbezirk Kassel		257	1.131	226,2	385	9	85	17,0	29	1.216
Hessen GESAMT		580	2.565	513,0	880	39	345	66,5	117	2.909

* Planungsverband Frankfurt

** Gebiet teilweise im Planungsverband Frankfurt

¹⁾ Die bebaute Fläche wurde im Mittel mit 5 ha je installiertem MW Leistung in Ansatz gebracht

²⁾ Der prognostizierte Jahresertrag wurde falls nicht angegeben (RP Gießen, RP Kassel) mit 1.700 Jahresstunden je installiertem MW hochgerechnet

7.2 Wasserkraft

Die installierte Leistung der Wasserkraftanlagen in Hessen wurden anhand der nach § 52 EEG veröffentlichungspflichtigen Einspeisedaten der Netzbetreiber (35 Netzbetreiber in Hessen [3]) und aus einer Datenbank zu den Wanderhindernissen in hessischen Fließgewässern des HLUG [57] ermittelt. Die produzierte Strommenge der Anlagen wurde ebenfalls aus den Einspeisedaten der Netzbetreiber recherchiert. Darüber hinaus wurde die produzierte Strommenge der Wasserkraftwerke aus den Erhebungen des Hessischen Statistischen Landesamtes [72] abgefragt.

In Tab. 47 sind die Ergebnisse der Bestandsaufnahme zusammenfassend dargestellt. Aus den verschiedenen Quellen konnte ermittelt werden, dass an den Flüssen und Seen in Hessen annähernd 500 Wasserkraftanlagen mit einer Nennleistung von insgesamt ca. 87 MW installiert sind. Mit rund 60 % befinden sich die meisten Anlagen im Regierungsbezirk Kassel, etwa 25 % liegen im Regierungsbezirk Gießen und rund 16 % im Regierungsbezirk Darmstadt. Hinsichtlich der installierten Leistung befindet sich der Schwerpunkt mit etwa 45 MW ebenfalls in Nordhessen (RB Kassel), gefolgt von Südhessen (RB

Darmstadt) mit rund 30 MW und Mittelhessen (RB Gießen) mit rund 11 MW. Nach den erhobenen Daten wurden in diesen Anlagen im Jahr 2008 in Hessen etwa 352.000 MWh Strom aus Wasserkraft produziert.

Tab. 47: Installierte Leistung und Stromertrag der Wasserkraftanlagen in Hessen (Stand Ende 2008)

		Wasserkraftanlagen Stromnetzbetreiber / HLUg	
		Leistung [MW]	Stromertrag [MWh/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	0,02	100
	Frankfurt/Main	4,9	23.500
	Stadt Offenbach	4,1	19.800
	Wiesbaden	0,0	0
	Bergstraße	8,9	39.900
	Darmstadt-Dieburg	0,2	500
	Groß-Gerau	0	0
	Hochtaunuskreis	0,0	100
	Main-Kinzig-Kreis	6,0	34.000
	Main-Taunus-Kreis	5,1	20.300
	Odenwaldkreis	0,6	1.000
	Landkreis Offenbach	0	0
	Rheingau-Taunus-Kreis	0,1	200
	Wetteraukreis	0,6	3.500
Regierungsbezirk Darmstadt	30,4	142.900	
RB Gießen	Gießen	0,2	800
	Lahn-Dill-Kreis	5,0	11.600
	Limburg-Weilburg	3,4	10.400
	Marburg-Biedenkopf	1,0	3.000
	Vogelsbergkreis	1,6	3.500
Regierungsbezirk Gießen	11,1	29.300	
RB Kassel	Stadt Kassel	0,6	3.000
	Fulda	1,8	4.800
	Hersfeld-Rotenburg	4,4	13.500
	Landkreis Kassel	7,0	30.900
	Schwalm-Eder-Kreis	3,5	10.500
	Waldeck-Frankenberg	25,5	104.900
	Werra-Meißner-Kreis	2,5	12.200
Regierungsbezirk Kassel	45,3	179.800	
Hessen GESAMT		86,9	352.000
Hessisches Stat. Landesamt		116,1	447.000

Die Erhebungen der Autoren werden durch die Angaben des Hessischen Statistischen Landesamtes [72] ergänzt, das von einer installierten Leistung von 116 MW und einer Stromproduktion von 447.000 MWh im Jahr 2008 für ganz Hessen ausgeht. Diese Daten setzen sich zusammen aus eigenen Erhebungen des Landesamtes in Anlagen größer 1 MW installierter Leistung, die teilweise nicht über das EEG erfasst werden und gegenüber dem Landesamt monatlich auskunftspflichtig sind, sowie den Angaben der vier Übertragungsnetzbetreiber, die die gesamten nach EEG eingespeisten Strommengen in Deutschland erfassen und auf die Bundesländer zurückrechnen. Aus Datenschutzgrün-

den können die Angaben des Hessischen Statistischen Landesamtes vom Auftragnehmer nicht eingesehen werden, sodass auch in einem Gespräch mit der Bereichsleitung nicht abgeklärt werden konnte, in welchen Regionen die Daten abweichen bzw. zusätzliche Mengen zu verzeichnen sind.

Für die weiteren Berechnungen in der Studie wird von einer mittleren jährlichen Stromproduktion durch Wasserkraft in Hessen von rund 440 GWh/a ausgegangen.

7.3 Photovoltaik

Zur Ermittlung der durch Photovoltaikanlagen in Hessen eingespeisten Strommenge wurden die Daten ausgewertet, die von den Stromnetzbetreibern nach § 52 EEG zu veröffentlichen sind. Die Auswertung dieser veröffentlichungspflichtigen Daten ermöglicht zum einen die Erfassung der im Jahr 2008 in den einzelnen hessischen Landkreisen durch Solarenergie eingespeisten Strommenge, zum anderen die Erfassung der in den Landkreisen installierten Anlagenleistung.

Die folgende Tab. 48 gibt eine Übersicht über die bis zum Jahresende 2008 in Hessen installierten Leistung zur solaren Stromerzeugung sowie die im Jahr 2008 eingespeiste Strommenge aus solarer Nutzung.

Insgesamt wurden in Hessen im Jahr 2008 laut Veröffentlichung der Stromnetzbetreiber rund 217,7 GWh Strom aus der Nutzung solarer Strahlungsenergie eingespeist. Unter Berücksichtigung der installierten Leistung von gut 312 MWp ergibt sich eine Jahresertragsmenge von rund 700 kWh je kWp und Jahr. Dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, dass die im Laufe des Jahres 2008 installierten Anlagen noch nicht mit der vollen jährlichen Ertragsmenge berücksichtigt wurden, sodass die durchschnittliche Jahresertragsmenge als höher einzustufen ist. Bei einer benötigten Fläche von 8 m²/kWp liegt die in Hessen bereits installierte Fläche bei knapp 2,5 Mio. m².

Die durchschnittliche Leistung pro Anlage liegt hessenweit bei 11 kWp, in den einzelnen Landkreisen schwankt dieser Wert zwischen 6 kWp je Anlage (Hochtaunuskreis) und 18 kWp je Anlage (Hersfeld-Rotenburg). Die eingespeiste Strommenge pro Einwohner im Jahr 2008 ist im Regierungsbezirk Kassel mit 80 kWh am höchsten, gefolgt vom Regierungsbezirk Gießen mit 50 kWh. Im Regierungsbezirk Darmstadt wurden rund 18 kWh/EW eingespeist.

Tab. 48: Übersicht Stromspeisung durch Photovoltaikanlagen in Hessen 2008

		Photovoltaik		
		Leistung [kWp]	Arbeit [MWh]	Anlagen [Anzahl]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	2.246	1.285	222
	Frankfurt/Main	2.958	2.051	364
	Stadt Offenbach	528	284	53
	Wiesbaden	1.392	878	169
	Bergstraße	14.144	8.347	1.290
	Darmstadt-Dieburg	14.932	8.472	1.462
	Groß-Gerau	7.997	4.668	793
	Hochtaunuskreis	1.879	1.178	320
	Main-Kinzig-Kreis	23.011	15.188	2.302
	Main-Taunus-Kreis	3.302	1.915	355
	Odenwaldkreis	6.771	3.757	670
	Landkreis Offenbach	5.254	8.161	590
	Rheingau-Taunus-Kreis	3.776	2.349	436
	Wetteraukreis	11.376	7.743	1.196
	Regierungsbezirk Darmstadt	99.567	66.276	10.222
RB Gießen	Gießen	16.461	11.996	1.493
	Lahn-Dill-Kreis	17.298	12.003	1.814
	Limburg-Weilburg	8.732	5.761	913
	Marburg-Biedenkopf	16.517	11.777	1.507
	Vogelsbergkreis	14.176	10.721	1.106
	Regierungsbezirk Gießen	73.184	52.258	6.833
RB Kassel	Stadt Kassel	4.491	3.220	472
	Fulda	29.917	22.272	2.190
	Hersfeld-Rotenburg	15.251	11.297	856
	Landkreis Kassel	26.156	18.655	2.657
	Schwalm-Eder-Kreis	30.961	20.669	2.625
	Waldeck-Frankenberg	21.072	14.557	2.145
	Werra-Meißner-Kreis	11.773	8.466	1.073
	Regierungsbezirk Kassel	139.620	99.138	12.018
Hessen GESAMT	312.372	217.671	29.073	

7.4 Solarthermie

Deutschlandweit sind insgesamt 11,3 Mio. m² solarthermische Kollektorfläche, verteilt auf rund 1,24 Mio. Anlagen, installiert. Dies entspricht einer durchschnittlichen Anlagengröße von 9 m². Die thermische Gesamtleistung liegt bei 7.900 MW [19].

Die Installation einer thermischen Solaranlage wird über das Marktanzreizprogramm bundesweit seit 2001 durch einen Zuschuss gefördert. Die Förderanträge werden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAfA) zentral bearbeitet. Die Daten zur Anzahl und Größe der geförderten Anlagen liegen beim BAfA somit seit Beginn des Förderprogramms vor. Die Daten zur Gesamtfläche wurden dem Auftragnehmer für alle hessischen Orte anonym bzw. gekennzeichnet durch die Postleitzahl zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der in diesem Zeitraum installierten Anlagen über die Antragstellung für die Bewilligung der Förderung erfasst wurde, da zum einen die Installationsbetriebe als Werbemaßnahme auf die Fördermög-

lichkeit hinweisen und teilweise sogar die Antragstellung mit übernehmen und zum anderen die Antragstellung an sich mit geringem Aufwand durchgeführt werden kann.

Der Bundesverband Solarwirtschaft gibt an, dass lediglich 20 % der bestehenden Anlagen ohne Förderantrag installiert wurden. Betroffen sind Anlagen, die noch vor Einführung der Fördermöglichkeiten durch das Marktanzreizprogramm installiert wurden oder sehr kleine Anlagen, deren Besitzer den Aufwand für die Fördermittelbeantragung höher als den Nutzen einschätzten. Für die Berechnung der Anlagen in Hessen wurde ein entsprechender Korrekturfaktor in Ansatz gebracht, um diesen nicht dokumentierten Anteil zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung der Wärmemenge, die durch die solarthermischen Anlagen bereitgestellt wird, wurde davon ausgegangen, dass unter den hessischen Klimabedingungen pro m² Kollektorfläche ein jährlicher Energieertrag von rund 375 kWh möglich ist [19][20].

In Hessen waren Ende 2008 rund 488.000 m² solarthermische Anlagen installiert, die einen nutzbaren Wärmeertrag von rund 183.000 MWh jährlich ermöglichen. Im hessischen Durchschnitt wurden pro 1.000 Einwohner 80 m² Solarthermie genutzt. Mit 138 m² je 1.000 Einwohner ist die Nutzungsintensität im Regierungsbezirk Kassel am höchsten, gefolgt vom Regierungsbezirk Gießen mit 103 m² je 1.000 Einwohner und dem Regierungsbezirk Darmstadt mit 55 m² je 1.000 Einwohner (vgl. Tab. 49).

Tab. 49: Bestand an Solaranlagen in den hessischen Städten und Landkreisen und deren durchschnittliche Energieerzeugung im Jahr 2008

	Solarthermie	Einwohner	Kollektor- fläche [m ²]	Kollektor- fläche / 1.000 Einwohner [m ² /1.000 EW]	durchschnittl. Energie- erzeugung [MWh/a]
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	141.471	2.527	18	947
	Frankfurt/Main	654.172	6.405	10	2.402
	Stadt Offenbach	117.923	1.462	12	548
	Wiesbaden	274.771	3.358	12	1.259
	Bergstraße	264.622	28.938	109	10.852
	Darmstadt-Dieburg	289.087	18.288	63	6.858
	Groß-Gerau	252.421	9.296	37	3.486
	Hochtaunuskreis	226.453	13.755	61	5.158
	Main-Kinzig-Kreis	408.546	41.490	102	15.559
	Main-Taunus-Kreis	224.713	6.925	31	2.597
	Odenwaldkreis	99.280	10.716	108	4.019
	Landkreis Offenbach	336.518	9.855	29	3.696
	Rheingau-Taunus-Kreis	184.077	11.849	64	4.443
	Wetteraukreis	299.135	42.529	142	15.948
Regierungsbezirk Darmstadt	3.773.189	207.393	55	77.772	
RB Gießen	Gießen	255.797	22.962	90	8.611
	Lahn-Dill-Kreis	258.693	19.824	77	7.434
	Limburg-Weilburg	174.219	15.575	89	5.841
	Marburg-Biedenkopf	252.355	30.388	120	11.396
	Vogelsbergkreis	114.187	20.217	177	7.581
	Regierungsbezirk Gießen	1.055.251	108.966	103	40.862
RB Kassel	Stadt Kassel	193.248	6.442	33	2.416
	Fulda	219.209	33.255	152	12.471
	Hersfeld-Rotenburg	125.758	18.749	149	7.031
	Landkreis Kassel	241.590	34.127	141	12.798
	Schwalm-Eder-Kreis	187.847	35.035	187	13.138
	Waldeck-Frankenberg	166.612	28.442	171	10.666
	Werra-Meißner-Kreis	107.721	15.476	144	5.804
	Regierungsbezirk Kassel	1.241.985	171.525	138	64.322
Hessen GESAMT	6.070.425	487.884	80	182.957	

7.5 Geothermie

Die Geothermie wird in oberflächennahe und in Tiefengeothermie unterschieden, wobei die abgrenzenden Tiefen nicht exakt definiert sind.

Von Tiefengeothermie spricht man im Allgemeinen ab Bohrtiefen von etwa 400 m. Sie dient der Wärmeproduktion, die bereits Sonden bis zu einer Tiefe von 1.000 m nutzt. Die Stromproduktion ist ab 2.000 m möglich. Für Hessen wird unterschieden in

- a) tiefe Erdwärmesonden mit Bohrtiefen zwischen 2.000 und 3.000 m,
- b) hydrothermale Systeme mit Bohrtiefen zwischen 2.000 und 4.000 m und
- c) petrothermale Systeme mit Bohrtiefen ab 3.000 m.

Oberflächennahe Geothermie dient ausschließlich der Wärmeproduktion. Sie unterscheidet im Wesentlichen folgende technische Lösungen zur Erdwärmeentnahme:

- a) Erdwärmekollektoren sind flach in der Erde liegende Kollektorrohre (1–2 m tief), ähnlich der Anordnung einer Fußbodenheizung im Haus.
- b) Erdwärmesonden werden i. d. R. in 60–200 m tiefen Bohrungen senkrecht eingelassen und mit einer Bentonit-Zement-Suspension im Bohrloch fest vergossen, um einen optimalen Wärmeübergang von der Energiequelle Gestein zum Wärmeüberträger Sole zu ermöglichen.
- c) Brunnenanlagen kommen nur in Gebieten mit ergiebigen und oberflächennahen Grundwasservorkommen in Frage. Hier wird im Anstrom des Grundwassers ein Brunnen eingerichtet, der das etwa 10 °C warme Grundwasser nach oben fördert, dem Wasser über einen Wärmetauscher die Wärmeenergie entzieht und das abgekühlte Wasser im Grundwasserabstrom wieder in den Untergrund einleitet.

Die Daten zur Nutzung von Erdwärme in Hessen werden seit 2005 im Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie in einem zentralen Verzeichnis geführt. In dieser Datenbank werden die technischen Daten der in Hessen errichteten Erdwärmesonden und -kollektoren sowie geothermischen Brunnenanlagen zusammengeführt, soweit diese dem HLOG im Rahmen von Genehmigungsverfahren oder durch die Bohranzeige bekannt werden. Darüber hinaus werden Daten aus dem Genehmigungsverfahren, z. B. Ergebnisse von Einzelfallprüfungen oder Lage in Schutzgebieten etc., geführt. Durch den regelmäßigen Datenabgleich wird davon ausgegangen, dass der überwiegende Anteil der in Hessen genehmigten Erdwärmesondenanlagen und geothermischen Brunnenanlagen in das Erdwärmeverzeichnis eingehen [115]. Erdwärmekollektoren sind nicht genehmigungspflichtig und bleiben deshalb in den folgenden Ausführungen unberücksichtigt.

Die folgenden Ausführungen stützen sich gänzlich auf die Daten des zentralen Verzeichnisses des HLOG mit Stand vom 27.05.2009 [56].

Wie in Tab. 50 zusammenfassend dargestellt, waren im Frühjahr 2009 in Hessen insgesamt 5.158 oberflächennahe Erdwärmesondenanlagen mit einer Entzugsleistung von rund 56.000 kW installiert. Die höchste Dichte an Anlagen befindet sich im Regierungsbezirk Gießen mit einer mittleren installierten Entzugsleistung von 12,3 kW je 1.000 Einwohner. In den Landkreisen Odenwaldkreis und Fulda sind mit 23,2 kW je 1.000 Einwohner die höchsten spezifischen Entzugsleistungen installiert.

Bei einer mittleren Leistung von rund 11 kW je Sonde und einer jährlichen Volllastzeit von 1.800 h werden aus **oberflächennaher Geothermie** in Hessen gegenwärtig ungefähr 100.000 MWh Wärme pro Jahr produziert.

Tiefengeothermische Anlagen gibt es in Hessen gegenwärtig keine.

Tab. 50: Gesamtanzahl beantragter Sondenanlagen

	Anzahl Sonden	installierte Entzugsleistung [kW]	Entzugsleistung [kW/1.000 EW]	durchschnittl. Energieerzeugung [MWh/a]	
Regierungsbezirk Darmstadt	Darmstadt	60	700	4,6	1.200
	Frankfurt/Main	119	1.300	2,0	2.300
	Stadt Offenbach	24	300	2,2	500
	Wiesbaden	91	1.000	3,6	1.800
	Bergstraße	298	3.200	12,2	5.800
	Darmstadt-Dieburg	371	4.000	14,0	7.300
	Groß-Gerau	149	1.600	6,4	2.900
	Hochtaunuskreis	262	2.800	12,6	5.100
	Main-Kinzig-Kreis	392	4.300	10,4	7.700
	Main-Taunus-Kreis	103	1.100	5,0	2.000
	Odenwaldkreis	212	2.300	23,2	4.100
	Landkreis Offenbach	189	2.100	6,1	3.700
	Rheingau-Taunus-Kreis	161	1.800	9,5	3.200
Wetteraukreis	310	3.400	11,3	6.100	
Regierungsbezirk Darmstadt	2.741	29.900	7,9	53.700	
RB Gießen	Gießen	236	2.600	10,0	4.600
	Lahn-Dill-Kreis	378	4.100	15,9	7.400
	Limburg-Weilburg	163	1.800	10,2	3.200
	Marburg-Biedenkopf	323	3.500	13,9	6.300
	Vogelsbergkreis	93	1.000	8,9	1.800
Regierungsbezirk Gießen	1.193	13.000	12,3	23.300	
RB Kassel	Stadt Kassel	50	500	2,8	1.000
	Fulda	468	5.100	23,2	9.200
	Hersfeld-Rotenburg	175	1.900	15,1	3.400
	Landkreis Kassel	139	1.500	6,3	2.700
	Schwalm-Eder-Kreis	104	1.100	6,0	2.000
	Waldeck-Frankenberg	227	2.500	14,8	4.400
	Werra-Meißner-Kreis	61	700	6,2	1.000
Regierungsbezirk Kassel	1.224	13.300	10,7	23.700	
Hessen GESAMT	5.158	56.200	9,2	100.700	

7.6 Zwischenfazit Energieerzeugung sonstiger regenerativer Energien

Die Erzeugung von regenerativer Energie aus Wind- und Wasserkraft, Photovoltaik, Solarthermie und oberflächennaher Geothermie ist seit dem Jahr 2005 bis zum Jahr 2008 um 49 % angestiegen. Einen bedeutenden Anteil haben dabei die Windkraft und die Photovoltaik.

Stand der sonstigen erneuerbaren Energien

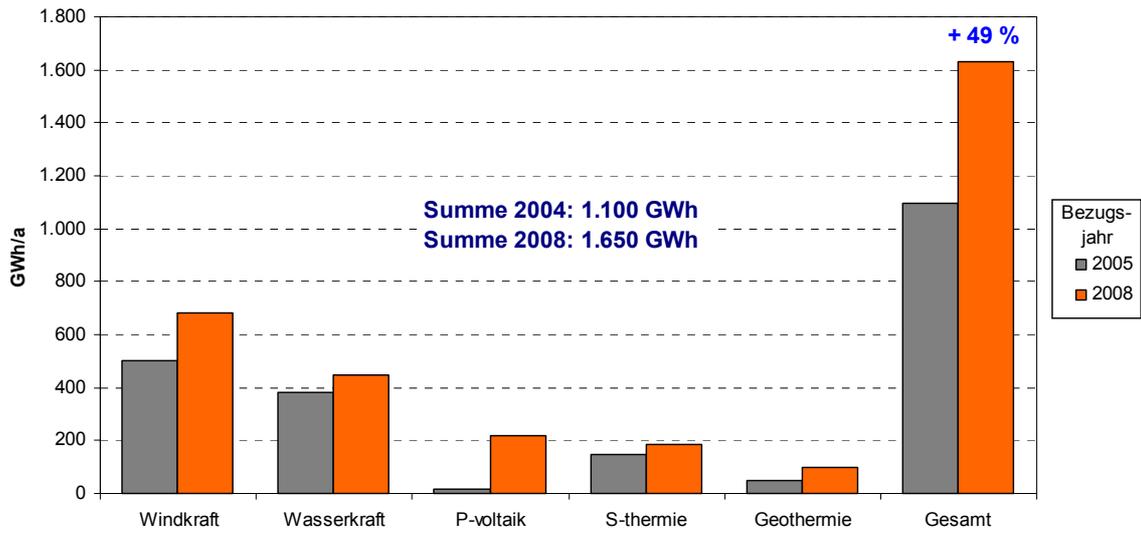


Abb. 26: Vergleich der Erzeugung sonstiger erneuerbarer Energien in Hessen im Jahr 2004 und 2008

8 Stand und Potenziale erneuerbarer Energien

8.1 Stand der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien

Die Energieerzeugung aus regenerativen Energien ist in Hessen seit dem Jahr 2005 bis zum Jahresende 2008 von rund 5.450 GWh/a auf rund 8.600 GWh/a gestiegen. Dies entspricht einer Steigerung um 57 %. Den Hauptbeitrag zu dieser Entwicklung leistete die Energiebereitstellung aus Biomasse (vgl. Abb. 27).

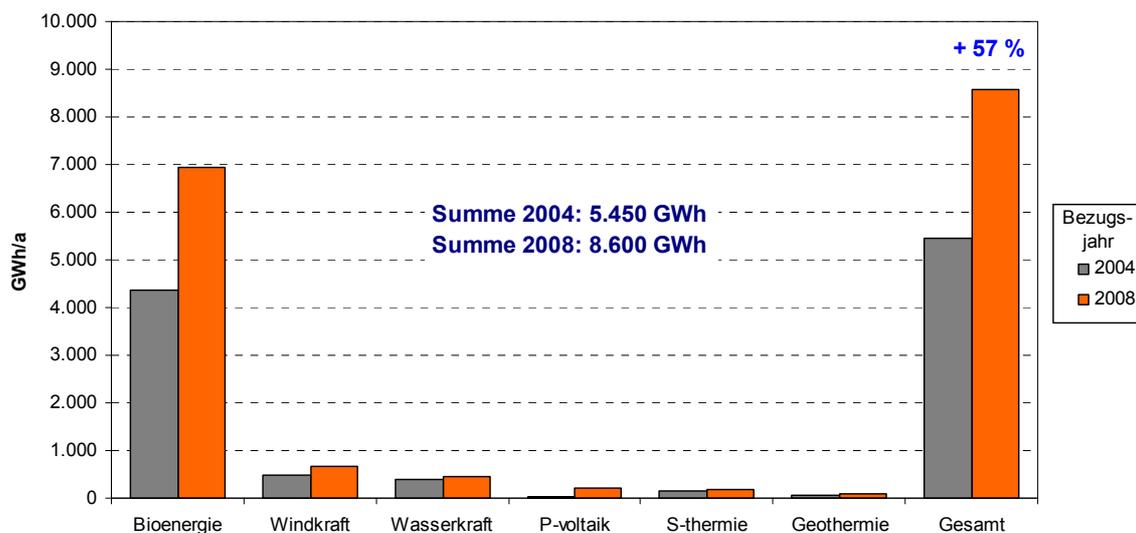


Abb. 27: Vergleich der Erzeugung erneuerbarer Energien in Hessen im Jahr 2004 und 2008

Auch im Jahr 2008 sind biogene Rohstoffe mit 81 % die Hauptquelle bei der Bereitstellung regenerativer Energien in Hessen, wie Abb. 28 verdeutlicht. Als weitere bedeutende Energiequelle trägt die Windkraftnutzung rund 8 % zur Erzeugung regenerativer Energie bei, gefolgt von Wasserkraftnutzung mit rund 5 %. Die Stromerzeugung aus Photovoltaik ergänzt diesen Bereich nochmals mit 3 %. Solarthermie und oberflächennahe Geothermie liefern insgesamt nochmals 3 % der regenerativen Energie in Hessen im Wärmebereich.

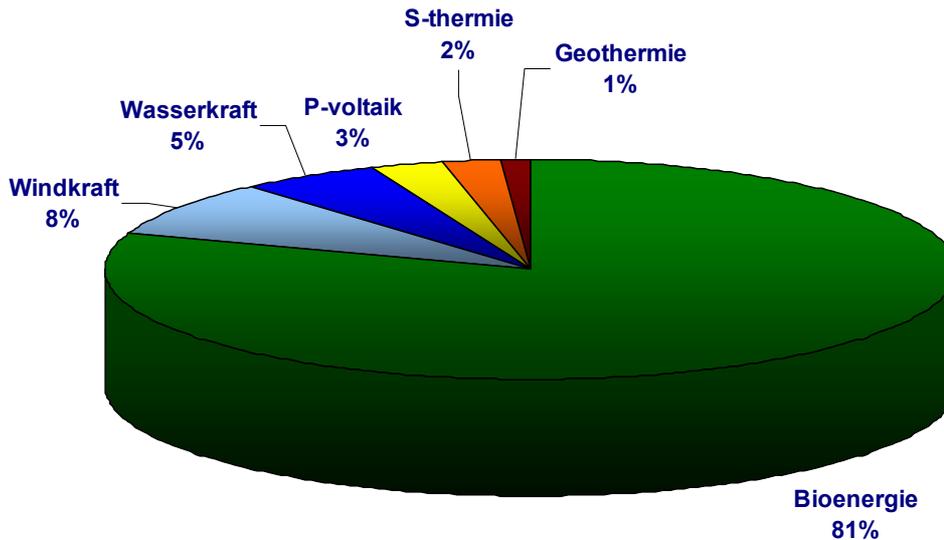


Abb. 28: Anteile der unterschiedlichen Energiequellen an der Bereitstellung von regenerativer Energie im Jahr 2008 in Hessen

Die Gesamterzeugung regenerativer Energie in Hessen beläuft sich auf rund 8.580 GWh im Jahr 2008 (vgl. Tab. 51). Davon werden 26 % in Form von Strom bereitgestellt, 66 % werden als Wärmeenergie genutzt und 8 % werden in Form von Kraftstoffen erzeugt.

Im Strombereich beruht 40 % der Erzeugung auf biogenen Rohstoffen, 60 % der Energiemenge stammen aus der Wind- und Wasserkraftnutzung sowie der Photovoltaik. Im Bereich der Wärmenutzung werden 92 % der Energiemenge aus fester Biomasse (einschließlich biogener Anteil des Restabfalls) bereitgestellt, 3 % stammen aus der Wärmenutzung biogener Gase und 5 % werden durch Nutzung von Solarthermie und oberflächennaher Geothermie erzeugt.

Vom gesamten Endenergieverbrauch Hessens (ohne Flugverkehr), der bei 184.000 GWh lag [62][10][11], decken die regenerativen Energien 4,7 % ab. Wird der gesamte Verkehrsbereich ausgenommen und diesem Energiebedarf, der dann bei knapp 130.000 GWh lag, die regenerative Energiebereitstellung (inklusive Biokraftstoffe) gegenübergestellt, liegt der Beitrag der regenerativen Energien bei 6,6 %. Es sollte jedoch auch auf Seiten der Erzeugung regenerativer Energie die Biokraftstoffproduktion unberücksichtigt bleiben, wodurch sich ein Beitrag der regenerativen Energien von 6,1 % zum Endenergieverbrauch (ohne Verkehr) ergibt. Dieser Wert lag 2004 bei 4,3 %. Im Bereich des Strombedarfs werden 5,6 % regenerativ erzeugt. Im Wärmebereich liegt der regenerative Beitrag bei 6,3 %, im Verkehrsbereich (ohne Flugverkehr) lediglich bei 1,2 %.

Tab. 51: Beitrag der erneuerbaren Energien zum Endenergieverbrauch in Hessen in 2008

	Bereitstellung Endenergie	Anteil Endenergie- verbrauch
Stromerzeugung	[GWh]	%
Wasserkraft	447	1,1%
Windenergie	681	1,7%
Photovoltaik	218	0,5%
feste biogene Brennstoffe	248	0,6%
Biogas	315	0,8%
Klärgas	57	0,1%
Deponiegas	71	0,2%
biogener Anteil des Abfalls	208	0,5%
Summe Stromerzeugung	2.244	5,6%
Wärmerzeugung	[GWh]	%
biogene Festbrennstoffe (Haushalt)	3.023	3,4%
biogene Festbrennstoffe (Industrie)	583	0,6%
biogene Festbrennstoffe (Heizwerke + Heizkraftwerke)	1.018	1,1%
Biogas	81	0,1%
Klärgas	6	0,0%
Deponiegas	65	0,1%
Solarthermie	183	0,2%
Geothermie	100	0,1%
biogener Anteil des Abfalls	611	0,7%
Summe Wärmeerzeugung	5.671	6,3%
Kraftstoffe	[GWh]	%
Biodiesel	584	1,1%
Pflanzenöl	50	0,1%
Ethanol	30	0,1%
Summe Kraftstoffherzeugung	665	1,2%
Beitrag EE zum Endenergiebedarf ohne Flugverkehr	8.580	4,7%
Beitrag EE zum Endenergiebedarf ohne Verkehr	7.915	6,1%
Beitrag EE (incl. Biokraftstoff) zum Endenergiebedarf ohne Verkehr	8.580	6,6%

8.2 Technische Bioenergiepotenziale

Die Rahmenbedingungen für die Nutzbarmachung der Bioenergiepotenziale werden in Kapitel 9.1 und 9.2 näher erläutert. Sofern die Weltmärkte für Energie und Rohstoffe sich wie allgemein erwartet entwickeln und die Rahmenbedingungen für die Bioenergieerzeugung in Deutschland und Hessen im Besonderen weiterhin positiv bleiben, kann von einer weitgehenden Umsetzung des ermittelten technischen Potenzials bis zum Jahr 2020 ausgegangen werden. Insbesondere im Bereich der biogenen Festbrennstoffe werden, wie bereits in der Vergangenheit zu beobachten war, zügige Entwicklungen erwartet, aber auch zur Mobilisierung biogener Gase sind zurzeit umfangreiche Projekte in Hessen in der Umsetzungsphase.

Die folgende Abb. 29 stellt die technischen Potenziale und die aktuelle Nutzung für den Bereich Bioenergie nochmals differenziert dar. Im Segment der festen Brennstoffe bietet das Waldholz noch ein hohes technisches Potenzial, für das sich über bestehende Anlagentechnik und logistische Strukturen zügige Mobilisierungsmöglichkeiten ergeben dürften. Die Nutzung des technischen Energiepotenzials bei Kurzumtriebshölzern setzt die Anlage der entsprechenden Kulturen voraus, die Nutzung des Produktes erfordert dagegen vergleichsweise geringe technische Anpassungen der Verwertungsanlagen. Im Gegensatz dazu erfordert die Nutzung des technischen Energiepotenzials, das mit den halmartigen Biomassen Stroh und Miscanthus zur Verfügung steht, noch Weiterentwicklungen in der Konversionstechnik sowie eine Optimierung der Logistik- und Lagerkonzepte. Für Nordhessen wurden dabei bereits vielversprechende Ansätze erarbeitet [145]. Die Mobilisierung der landwirtschaftlichen Biogaspotenziale kann unter Nutzung bereits etablierter Techniken zur Vergärung und auch zur Gasaufbereitung und -einspeisung erfolgen und erfordert ggf. die Entwicklung logistischer Konzepte, die eine umfangreiche Verwertung der extern nutzbaren Wärme sicherstellen. Zukunftsweisend ist hier zum einen die Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität mit Einspeisung in das Erdgasnetz, zum anderen auch die Verlegung von Mikrogasleitungen, die das Biogas zu BHKW-Standorten transportieren, an denen ein Verbraucher mit entsprechendem Wärmebedarf angesiedelt ist.

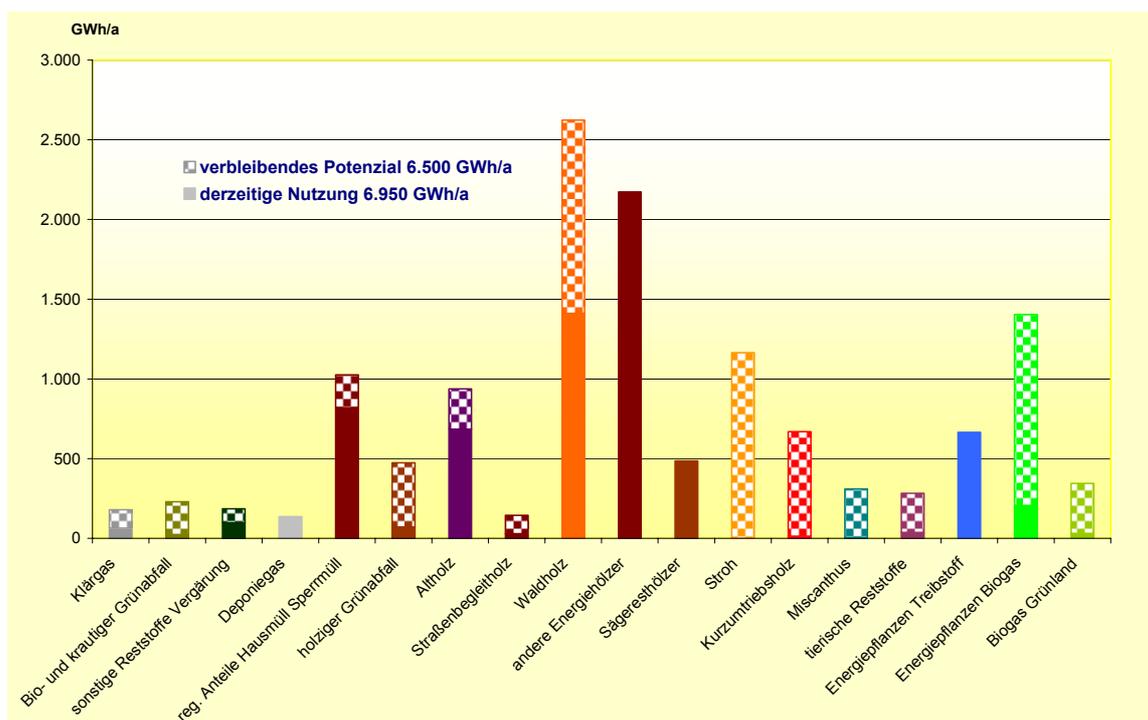
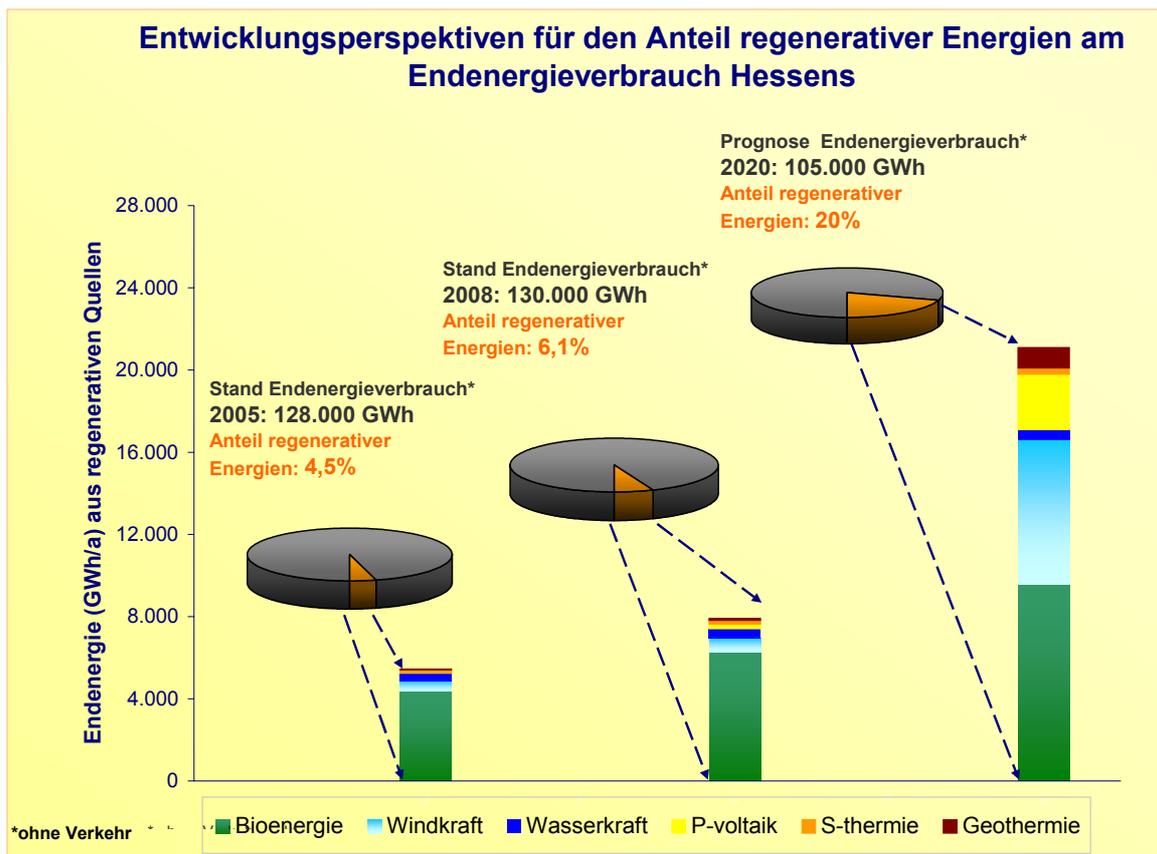


Abb. 29: Technische Potenziale zur Erzeugung von Biomasseenergie in Hessen sowie in 2008 bereits genutzter Anteil differenziert nach Stoffströmen

8.2.1 Beitrag der Bioenergie zur regenerativen Energieerzeugung

Die prognostizierten Entwicklungsperspektiven für regenerative Energien bis zum Jahr 2020 zeigt Abb. 30 im Vergleich zum Stand in den Jahren 2004 und 2008 auf. Für den Bereich Bioenergie wurde von einer durchschnittlich 75%-igen Ausnutzung der ermittelten technischen Potenziale ausgegangen, was dem Wert des als „Business as usual“ erläuterten Umsetzungsszenario (vgl. 9.2.1) entspricht.

Analog zu bundesweiten Studien (vgl. Kapitel 9.1) wurde von einem Rückgang des Endenergieverbrauchs bis 2020 von rund 10 % ausgegangen. Hessen strebt jedoch durch eine verstärkte Effizienzsteigerung eine Senkung des Endenergieverbrauchs bis 2020 um rund 20 % an [35]. Diese Annahme wurde in der Grafik dargestellt. Die Umsetzungsraten für die sonstigen regenerativen Energien Wasser-, Wind- und Solarenergie sowie Geothermie für das Jahr 2020 wurden dem Bericht des Energie-Forums Hessen [35] entnommen, um so einen Gesamtüberblick zu erhalten. Mit 45 % stellt die Bioenergie in dieser Entwicklungsperspektive die bedeutendste Einzelkomponente dar, gefolgt von der Windenergie, die im Jahr 2020 rund 33 % zur erzeugten regenerativen Energien beiträgt.



Prognose Endenergieverbrauch sowie Anteile sonstiger regenerativer Energie 2020 nach [35]
Anteil Bioenergie rund 75 % des technischen Potenzials, entsprechend Szenario „Business as usual“, vgl.. Kap. 9.2.1

Abb. 30: Stand und Entwicklungsperspektiven für den Anteil regenerativer Energien am Endenergieverbrauch Hessens

In der folgenden Tab. 52 sind die technischen Endenergiepotenziale der erneuerbaren Energien (bzw. im Bereich der Windkraft der zur Erreichung des 20 %-Ziels notwendige Ausbau) mit Blick auf das Jahr 2020 aufgeführt. Dabei wurden die unterschiedlichen Energieträger den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoff zugeordnet und dem erwarteten Endenergieverbrauch des Landes Hessen im Jahr 2020 gegenübergestellt. Zudem wurde zum einen ein 10 %-iger Rückgang des Endenergiebedarfs (vgl. Kapitel 9.1) berücksichtigt, zum anderen die Annahmen nach [35], also ein Rückgang um 20 %, zugrunde gelegt.

Stand und Potenziale erneuerbarer Energien



Tab. 52: Gegenüberstellung des technischen Potenzials zur regenerativen Energieerzeugung mit dem erwarteten Endenergieverbrauch im Jahr 2020

	technisches Endenergiepotenzial	Anteil am Endenergieverbrauch im Jahr 2020	
		Analog zu Bundesstudien	Annahmen hess. Energieforum
	[GWh]	%	%
Stromerzeugung			
Wasserkraft *	500	1,3%	1,4%
Windenergie **	7.000	18,1%	19,6%
Photovoltaik *	2.700	7,0%	7,6%
Geothermie *	500	1,3%	1,4%
festе biogene Brennstoffe	390	1,0%	1,1%
Biogas	1.310	3,4%	3,7%
Bioabfall / Klärgas	440	1,1%	1,2%
Deponiegas	70	0,2%	0,2%
biogener Anteil des Abfalls	340	0,9%	1,0%
Summe Stromerzeugung	13.250	34,2%	37,2%
Wärmerzeugung			
	[GWh]	%	%
biogene Festbrennstoffe (Haushalt)	3.300	4,4%	4,8%
biogene Festbrennstoffe (Industrie)	1.610	2,1%	2,3%
biogene Festbrennstoffe (Heizwerke + Heizkraftwerke)	3.530	4,7%	5,1%
Biogas	720	1,0%	1,0%
Bioabfall / Klärgas	160	0,2%	0,2%
Deponiegas	65	0,1%	0,1%
Solarthermie *	300	0,4%	0,4%
Geothermie *	500	0,7%	0,7%
biogener Anteil des Abfalls	850	1,1%	1,2%
Summe Wärmeerzeugung	11.035	14,6%	15,9%
Kraftstoffe			
	[GWh]	%	%
Biodiesel	530	1,0%	1,1%
Pflanzenöl	40	0,1%	0,1%
Ethanol	40	0,1%	0,1%
Summe Kraftstoffherzeugung	610	1,1%	1,2%
Potenzial EE (incl. Biokraftstoff) am Endenergiebedarf ohne <u>Flugverkehr</u>	24.895	14,8%	16,2%
Potenzial EE am Endenergiebedarf ohne Verkehr	24.285	21,3%	23,1%
Potenzial EE (incl. Biokraftstoff) am Endenergiebedarf ohne <u>Verkehr</u>	24.895	21,8%	23,7%

* Angaben Hessisches Energie-Forum, 2009 [35];

** Windenergie: notwendiger Wert [35] zur Erreichung des Klimaziels, kein technisches Potenzial

Wird der Verkehrsbereich sowohl bei der Potenzialbetrachtung als auch beim Verbrauch ausgespart, könnten mit der Mobilisierung der gesamten technischen Bioenergiepotenziale, wie sie im „Best-Case“ Szenario (vgl. 9.2.3) dargestellt wurde, gut 21 % bzw. 23 %

des für das Jahr 2020 erwarteten Endenergieverbrauchs in Hessen abgedeckt werden. Unter Berücksichtigung des Verkehrs (ohne Flugverkehr) könnten 2020 unter den oben beschriebenen Voraussetzungen (vgl. Tab. 52) rund 15 % bzw. 16 % des Endenergieverbrauchs in Hessen abgedeckt werden.

Der Schwerpunkt der Energiepotenziale liegt dabei auf der Stromerzeugung. Über 34 % bzw. 37 % des erwarteten Stromverbrauchs könnten mit den dargestellten Umsetzungsraten abgedeckt werden. Dabei würden 81 % über Wasserkraft, Windenergie, Photovoltaik und Geothermie sowie 19 % über Bioenergie erzeugt.

Von dem im Jahr 2020 erwarteten Wärmebedarf des Landes Hessen könnten die regenerativen Energien 14,5 % bzw. 16 % abdecken. Etwa 83 % der Menge beruht dabei auf den festen Biobrennstoffen, rund 8 % tragen Solarthermie und Geothermie bei, der Rest beruht auf der Nutzung biogener Gase.

Da keine bedeutenden Veränderungen bei der Biokraftstoffherzeugung bis 2020 erwartet werden, bewegt sich der durch Biokraftstoffe aus hessischen Rohstoffen zukünftig abzudeckende Anteil weiterhin in der Größenordnung von rund 1 % des Bedarfs. Die Entwicklung der Elektromobilität im Laufe des Jahrzehnts ist derzeit schwer absehbar und noch nicht berücksichtigt.

9 Szenarien zur Weiterentwicklung der Bioenergie

Nachfolgend werden Szenarien zur Weiterentwicklung des Einsatzes von Bioenergie in Hessen dargestellt. Dabei werden ausschließlich technische Parameter zugrunde gelegt. Die Erarbeitung einer Strategie zur Umsetzung dieser Szenarien ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Für den Ausbau der Bioenergie in Hessen unter gleichzeitiger Ausnutzung der Potenziale im Bereich der Energieeffizienzsteigerung und zur Einbindung der anderen regenerativen Energieträger ist die Entwicklung geeigneter Strategien jedoch wesentlich und sollte forciert werden. Die in dieser Studie zusammengestellten Ergebnisse und Daten können als Grundlage dienen, eine sachgerechte Entwicklung für das komplexe Themengebiet zu initiieren. Weiterhin wird deutlich, dass die verschiedenen Bereiche einer Koordinierung bedürfen, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Die dargestellten Analysen beruhen auf der ermittelten aktuellen Nutzung biogener Energieträger sowie den darüber hinaus noch verfügbaren Bioenergiepotenzialen (Kapitel 3, 4 und 5). Letztere berücksichtigen bereits die Anforderungen der Nahrungsmittel- und Tierfutterproduktion, Flächenreserven zum Anbau von Grundstoffen für Heil- und Arzneipflanzen sowie den Bedarf für die absehbaren stofflichen Nutzungen nachwachsender Rohstoffe in Hessen. In einem der erarbeiteten Szenarien, dem sogenannten „Best-Case-Szenario“ wird zusätzlich zur Nutzung der hessischen Potenziale ein gewisser internationaler Import von biogenen Festbrennstoffen sowie von Bioerdgas nach Hessen berücksichtigt.

Die hessische Landesregierung hat sich das Ziel gesetzt, bis 2020 einen Anteil von 20 % des hessischen Endenergieverbrauchs (ohne Verkehr) aus regenerativen Quellen zu decken. Dieses ambitionierte Ziel entspricht in seinem regenerativen Anteil weitgehend bundesweiten Ansprüchen bzw. den Zielen anderer Bundesländer. Zu berücksichtigen ist dabei, dass diese relativen Größenordnungen in Flächenländern mit vergleichsweise geringerer Bevölkerungsdichte und weniger industrieller Produktion einfacher umzusetzen sind als im eher dicht bevölkerten Hessen, dessen hohes Bruttosozialprodukt zudem auf eine intensive wirtschaftliche Tätigkeit mit entsprechendem Energiebedarf schließen lässt (vgl. hierzu exemplarisch Tab. 53). Insofern sind in Hessen zum Erreichen des Zieles besondere Anstrengungen notwendig.

Tab. 53: Vergleich hessischer Rahmenbedingungen mit einem weiteren Flächenbundesland und Deutschland insgesamt (Stand 2006)

		Hessen	S-Anhalt	Deutschland
Fläche	km ²	21.115	20.447	357.114
Einwohner	Mio.	6,07	2,41	82,20
BIP	Mrd €	203	47	2.245
Endenergieverbrauch	GWh/a	234.000	81.399	2.936.000
erneuerbare Energien	GWh/a	6.552	3.093	187.904
	%	2,8	3,8	6,4

Kennziffern

erneuerbare Energien pro Einwohner	MWh/Ew	1,08	1,28	2,29
erneuerbare Energien pro Fläche	MWh/km ²	310	151	526
€ BIP pro GWh Endenergieverbrauch	€/GWh	867.521 €	577.403 €	764.646 €

9.1 Allgemeine Rahmenbedingungen

Die Wirkungen einer Effizienzstrategie zur besseren Nutzung vorhandener Energieträger werden im Rahmen der bundesweiten Leitstudie 2008 [10] und auch in der Aktualisierung durch das Leitszenario 2009 [11] sowie in den aktuellen Daten des INKLIM Updates 2008 [61] für Hessen ähnlich bewertet. Es wird von einem Rückgang des gesamten Endenergieverbrauchs von gut 10 % bis zum Jahr 2020 ausgegangen. Das Land Hessen strebt an, durch eine umfassende Effizienzstrategie zusätzliche Energieeinsparungen zu erzielen und bis zum Jahr 2020 eine Senkung des Endenergieverbrauchs um 20 % zu erreichen. Die Rahmenbedingungen und Grundannahmen für dieses Vorgehen sind im Bericht des Energie-Forums Hessen 2020 [35] dargelegt. Beide Annahmen hinsichtlich der bis 2020 erreichbaren Energieeffizienzsteigerung werden in den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt.

Im Rahmen der hier vorgelegten Szenarien zur Weiterentwicklung der Bioenergienutzung in Hessen wird der Verkehrssektor nicht berücksichtigt – weder bei der Entwicklung des Endenergieverbrauchs noch bei der Erzeugung von Bioenergie. Der Kraftstoffverbrauch Hessens ist so stark vom Flugverkehr und Transitverkehr beeinflusst, dass der regionale Bezug in den Hintergrund tritt und eine Berücksichtigung dieses Sektors im Rahmen der vorliegenden Szenarientwicklung zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen würde. Bei der Bewertung der Bioenergieerzeugung wird allerdings von einem Fortbestehen der Ölpflanzenproduktion für die Erzeugung von Biokraftstoffen (vgl. Kapitel 5.1.1 und 5.1.2) ausgegangen, sodass die hierdurch belegte landwirtschaftliche Fläche nicht für andere Energiepflanzen zur Verfügung steht. Darüber hinaus wurde für den nordhessischen Bereich [145] die Produktion von „BioSyncrude“ als Vorprodukt für synthetische Biokraftstoffe berücksichtigt. Da die entsprechenden Techniken zur Herstellung von BtL noch in der Entwicklungsphase sind, wird dieses Vorprodukt jedoch vorerst für die Nutzung in Industriekraftwerken verplant und somit in der Szenarientwicklung berücksichtigt.

Wie Abb. 31 veranschaulicht, kann in Hessen mit einem Rückgang des Endenergieverbrauchs, außerhalb des Verkehrssektors, zwischen 2008 und 2020 von 12 % bis 20 % ausgegangen werden. Dies geht nicht zu Lasten der Produktivität – die Studien gehen von einer Zunahme des BIP um real 28% in diesem Zeitraum aus.

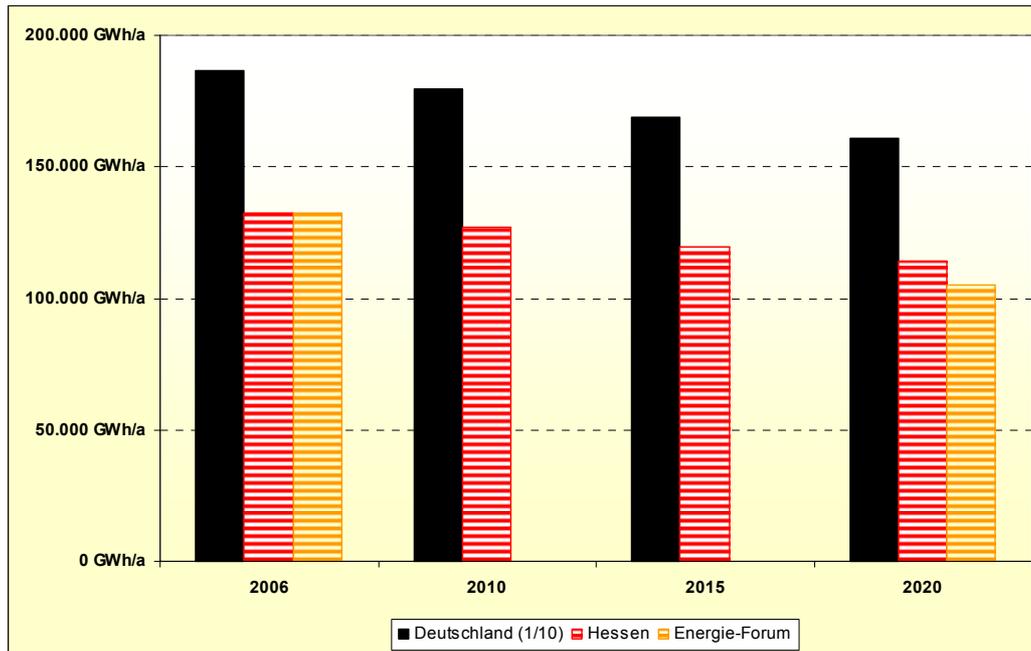


Abb. 31: Abschätzung der Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehrssektor) in Anlehnung an die bundesweiten Erwartungen (zum Vergleich nicht maßstabsgerecht mit $\frac{1}{10}$ dargestellt) der Leitstudie 2008 [10] sowie den Abschätzungen des Energie-Forums Hessen [35]

9.2 Szenarien

Auf Basis der ermittelten Daten zur Nutzung von Bioenergie in Hessen sowie der bisher ungenutzten Potenziale werden nachfolgend Szenarien für den Ausbau der Bioenergie entwickelt.

Es werden drei Szenarien diskutiert:

- (1) „Business as usual“ Szenario, bei dem im Wesentlichen die Trends aus der Zeit zwischen der letzten Erhebung (Stand 2004) und der vorliegenden (Stand 2008) fortgeschrieben werden.
- (2) „Mid-Case“ Szenario, das von einem ambitionierten Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen ausgeht und die ermittelten Biomassepotenziale weitgehend, aber nicht vollständig, ausnutzt.
- (3) Im „Best-Case“ Szenario wird davon ausgegangen, dass die ermittelten hessischen Potenziale zur Bioenergieerzeugung nahezu vollständig (im Durchschnitt zu 96 %) ausgenutzt werden. Zusätzlich wird von einem Biomasseimport bei Festbrennstoffen und Bioerdgas ausgegangen.

Alle Berechnungen der Anteile, die mit aus Biomasse erzeugten Energiemengen abgedeckt werden können, erfolgen auf der Basis „ohne Berücksichtigung des Verkehrs“ und „ohne Berücksichtigung von Biokraftstoffen“.

9.2.1 Business as usual Szenario

Dieses in Abb. 32 veranschaulichte Szenario beruht auf der Fortschreibung der Trends (siehe Kapitel 3.5, 4.4 und 6), die sich bei der energetischen Nutzung von Biomasse

zwischen 2004 (erste Biomassepotenzialstudie) und 2008 (aktuelle Biomassepotenzialstudie) feststellen lassen. Es basiert damit auf dem bisherigen Zubau an Anlagen zur Nutzung von Biomasse. Begrenzender Faktor für die Fortschreibung der Trends sind in einigen Bereichen die ermittelten Potenziale, wobei bereits technische Fortschritte mit einkalkuliert wurden. Zudem wurde davon ausgegangen, dass bei der Mobilisierung schwierigerer Stoffströme, deren Nutzung noch technische Weiterentwicklungen erfordert, sowie bei der Aktivierung ungünstigerer Standorte mit Verzögerungen in der Fortentwicklung zu rechnen ist.

Zudem führen in einigen Bereichen die technischen Innovationen zu Nutzungsänderungen. Dies ist beispielsweise bei den Festbrennstoffen im privaten Bereich der Fall, wo der festgestellte Trend hin zu Zentralheizungsanlagen auf Basis von Holzbrennstoffen zu einem Rückgang der Scheitholznutzung durch Einzelöfen in dem Szenario führt.

Eine weitere Voraussetzung dieses Szenarios ist die Mobilisierung und Erschließung bestimmter Potenziale, so z. B. in den Bereichen erweiterte Bio- und Grünabfallerfassung einschließlich ihrer Aufbereitung oder bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen. Der Einsatz von Miscanthus und Stroh wird nur in geringem Umfang einkalkuliert, da für die Nutzung dieses Stoffstroms noch technische und logistische Fortschritte erforderlich sind. Für die fortgeschriebene Entwicklung der Biogaserzeugung aus dem landwirtschaftlichen Bereich wird das ermittelte Potenzial nur zu knapp 50 % genutzt. Das gesamte Biomassepotenzial wäre nach diesem Szenario dann im Jahr 2020 zu 73 % ausgenutzt. Bei einem geschätzten Rückgang des Endenergieverbrauchs um 10 % könnten mit der Biomasse rund 8,3 % abgedeckt werden. Bei einem Rückgang des Endenergieverbrauchs um 20 % könnte der Anteil der Biomasse etwa 9 % betragen. Die Berechnung der Anteile der Biomasse erfolgt jeweils auf der Basis „ohne Verkehr“.

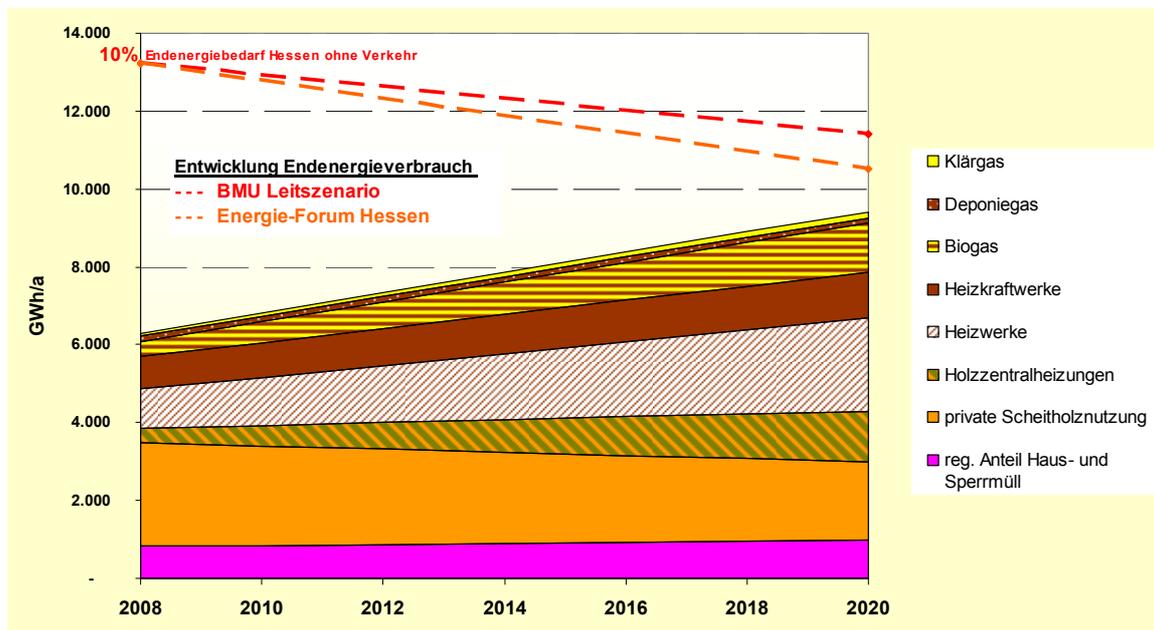


Abb. 32: „Business as usual“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr)

9.2.2 Mid-Case Szenario

Dieses Szenario geht von einer Steigerung der Nutzung hessischer Biorohstoffe über die Fortsetzung der bisher erreichten Steigerungsraten hinaus aus und erwartet auch eine zunehmende Nutzung schwieriger Brennstoffe wie z. B. Stroh, das dann sowohl zur direkten thermischen Nutzung als auch indirekt über Schnellpyrolyseanlagen verwertet wird. Die einzelnen Ausnutzungsgrade der Potenziale sind in der Legende von Abb. 33 vermerkt, wobei sich eine Gesamtausnutzung des Biomassepotenzials von 88 % ergibt. Die Bioenergieerzeugung in Hessen erhöht sich dadurch um 92 % gegenüber dem Stand 2008. Abb. 33 zeigt weiterhin, dass mit der in diesem Szenario skizzierten Entwicklung knapp ein Zehntel (9,5 %) des für 2020 erwarteten hessischen Endenergieverbrauchs (ohne Verkehr und ohne Berücksichtigung der Erzeugung biogener Kraftstoffe in Hessen) aus Biomasse erzeugt würde.

Abb. 34 veranschaulicht weitere Aspekte dieses Szenarios und zeigt, dass auch langfristig die thermische Nutzung fester Brennstoffe mit etwa 75 % den überwiegenden Anteil der Bioenergieerzeugung in Hessen ausmachen wird. Mit 28 % stellen in diesem Szenario die Rest- und Abfallstoffe einen erheblichen Anteil im Vergleich zu den NawaRo-Materialien.

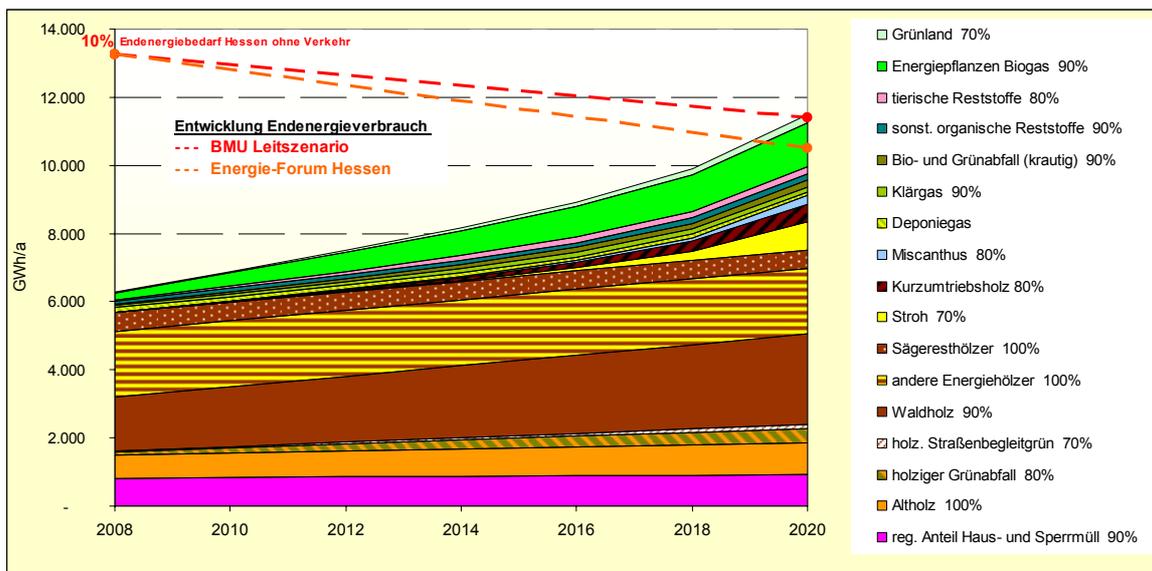


Abb. 33: „Mid-case“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr)

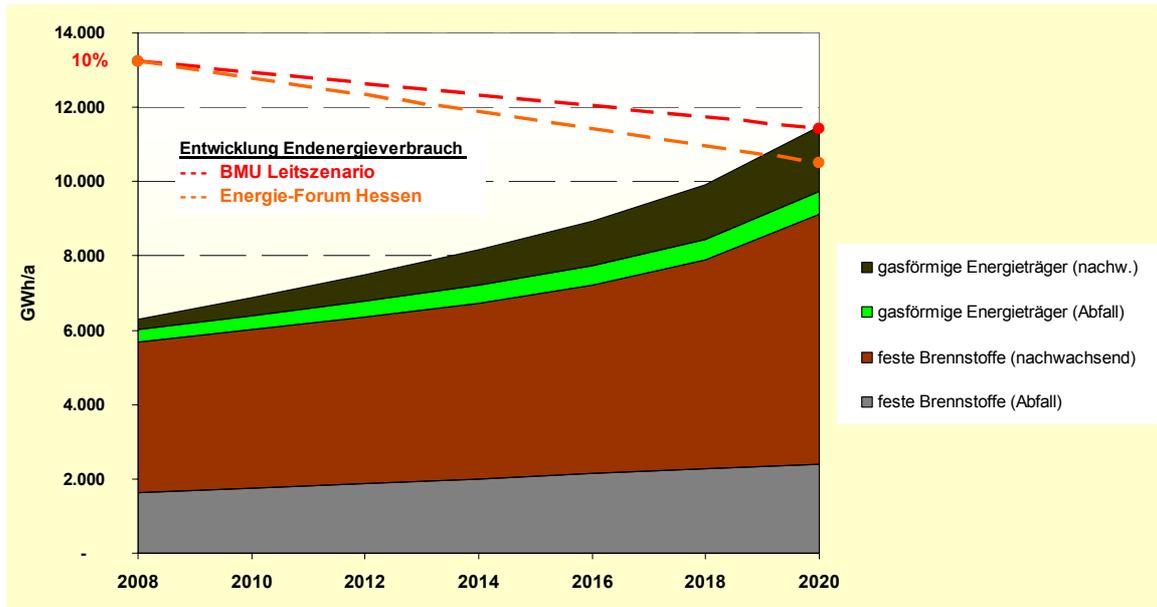


Abb. 34: Zusammenfassung des „Mid-case“ Szenarios für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen hinsichtlich der Biomasseherkunft

9.2.3 Best-Case Szenario

Das Best-Case Szenario geht wie viele andere Studien [10][11][35] davon aus, dass die in dieser Studie ermittelten hessischen Biomassepotenziale weitgehend, nämlich durchschnittlich zu 96 %, ausgenutzt werden. Eine Ausweitung wäre nur noch durch die Nutzung zusätzlicher landwirtschaftlicher Flächen (mit Rückgang der Nahrungs- und Futtermittelproduktion) bzw. zusätzlicher Waldholzsortimente (z. B. beim Industrieholz) sowie durch Effizienzsteigerungen bei der Rohstoffherzeugung und den Konversionstechniken erzielbar.

Zusätzlich wird in diesem Szenario von Bioenergieimporten in Form von:

- Festbrennstoffen (Annahme: entsprechend 25 % des hessischen Energieholzpotenzials aus dem Wald) und
- Bioerdgas (Annahme: entsprechend 25 % des hessischen landwirtschaftlichen Energiepflanzenpotenzials)

ausgegangen. Der Anteil dieser importierten Bioenergieströme macht an der abgebildeten Bioenergieerzeugung 10 % aus, wohingegen die Rest- und Abfallströme 25 % und die hessischen NawaRo 65 % ausmachen. Weiterhin würden etwa drei Viertel der Bioenergie aus biogenen Festbrennstoffen gewonnen (vgl. Abb. 36). Insgesamt ergibt sich eine Erhöhung der Bioenergieerzeugung um 110 % gegenüber dem Stand von 2008 und eine Abdeckung von 10,5 % des hessischen Endenergieverbrauchs (ohne Verkehr) aus biogenen Energieträgern bei einem Rückgang des Endenergieverbrauchs von 10 % und von 11,5 % bei einem Rückgang um 20%. Die Annahmen sind in Abb. 35 dargestellt. Die Ausnutzungsgrade sind in der Legende detailliert dargestellt. Der Import von regenerativ erzeugtem Strom dürfte darüber hinaus im Jahr 2020 eine erhebliche Rolle spielen. Untersuchungen für diese Themenfeld waren nicht Gegenstand dieser Studie.

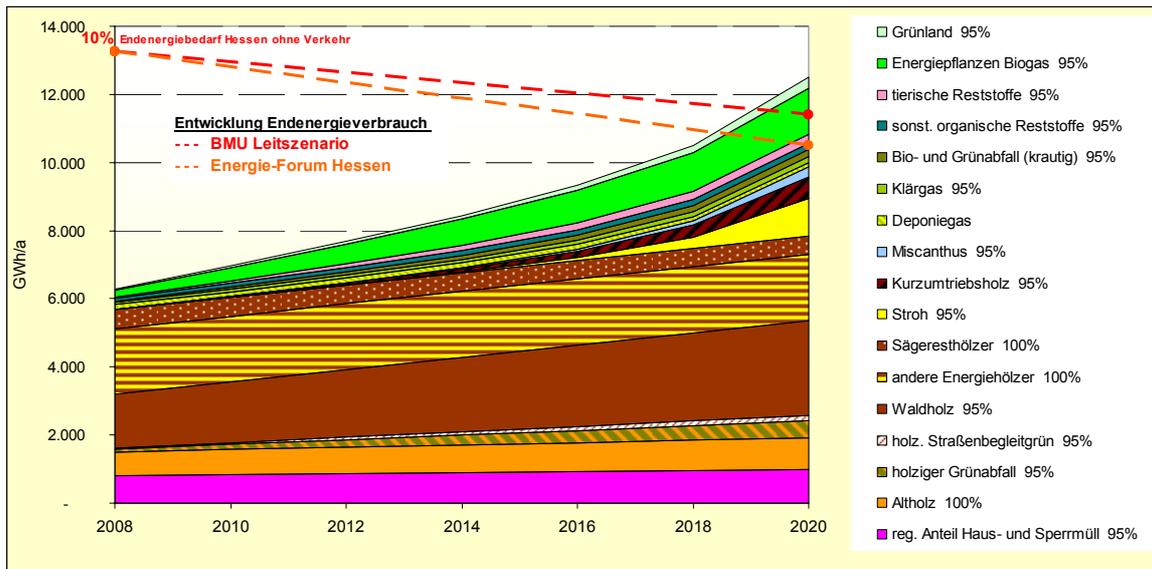


Abb. 35: „Best-case“ Szenario für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen sowie erwarteter Rückgang des Endenergieverbrauchs in Hessen (ohne Verkehr)

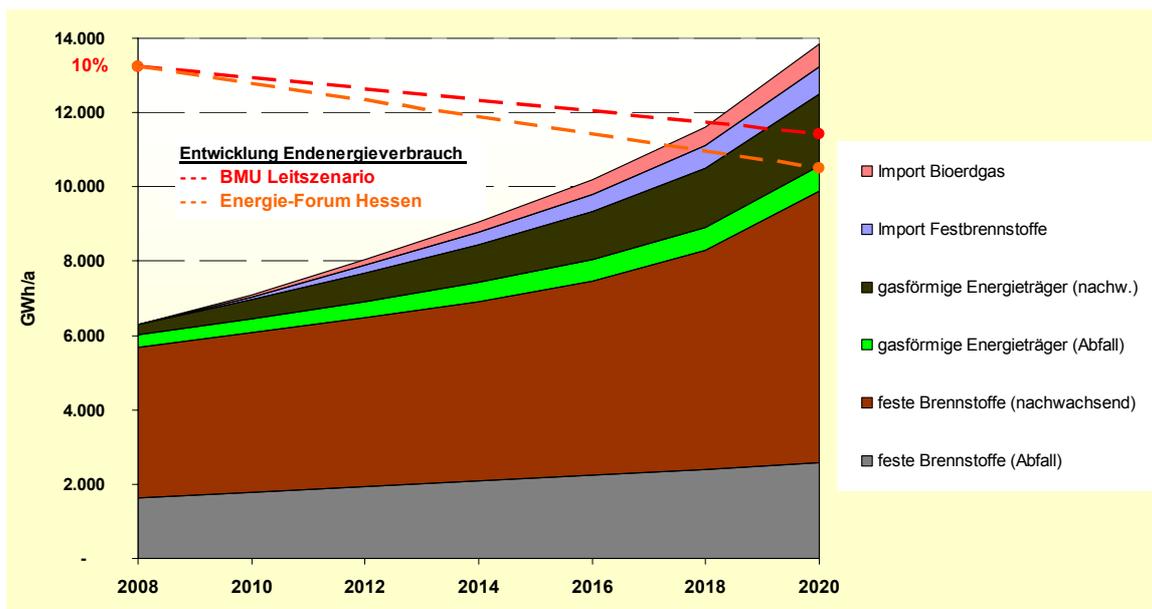


Abb. 36: Zusammenfassung des „Best-case“ Szenarios für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen

9.2.4 Zwischenfazit

Insgesamt zeigt das Best-Case Szenario, dass Bioenergie in Verbindung mit anderen regenerativen Energieträgern in der Perspektive 2020 durchaus erhebliche Anteile des hessischen Endenergieverbrauchs abdecken kann. Aus technischer Sicht sind diese Ansätze umsetzbar. Für die Realisierung sind die Grundlagen gelegt, wie das gute Abschneiden der Bioenergie im „Business as usual“ Szenario im Vergleich zum „Best-Case“ Szenario zeigt (vgl. Abb. 37). Die Abbildung zeigt, dass eine Fortschreibung des Trends zwischen 2004 und 2008 dem erforderlichen Ausbaustand für Bioenergie schon recht nahe kommt. Allerdings ist eine weitere Dynamik in diesem Prozess erforderlich,

insbesondere da davon auszugehen ist, dass die einfacheren Umsetzungen, wie diejenigen für herausragende Standorte, besonders geeignete Stoffströme etc., bereits umgesetzt sind bzw. zur Umsetzung anstehen. Dahingegen benötigen die aufwendigere Umsetzungen (z. B. Strohnutzung oder Anbau und Nutzung von Kurzumtriebsplantagen oder Miscanthus) einen An Schub durch entsprechende Rahmenbedingungen (allgemeines Energiepreinsniveau, Förderlandschaft etc.), um realisiert zu werden.

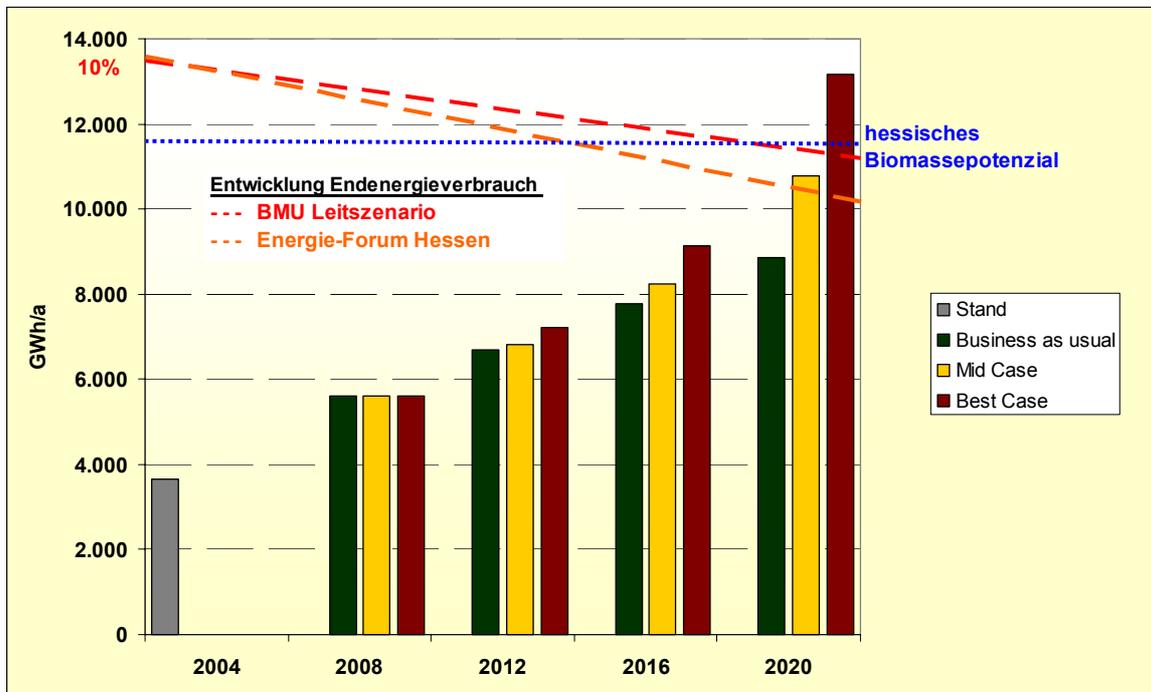


Abb. 37: Zusammenfassender Vergleich der Szenarien für den Ausbau der Bioenergienutzung in Hessen

9.3 Sozioökonomische Effekte der Szenarien

Aus energie- und umweltpolitischer Sicht ist der bisherige und künftige Ausbau der Bioenergie in Hessen weitgehend unumstritten. Wegen der teilweise noch notwendigen Unterstützung dieses Energiezweigs und der Bindung investiver Mittel ist eine Betrachtung der sozioökonomischen Auswirkungen sinnvoll.

Aussagen zu ökonomischen und sozialen Effekten, die sich aus den beschriebenen Szenarien zum Ausbau der Bioenergie ergeben können, beruhen auf Durchschnittswerten und zeigen lediglich Tendenzen auf. Um detailliertere Aussagen treffen zu können, ist eine vertiefte Bearbeitung dieses Themenbereiches nötig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Annahmen über zukünftige Entwicklungen bei den Analysen eine wesentliche Rolle spielen. In Abhängigkeit vom Zeithorizont lassen diese Annahmen Spielraum für Interpretationen in unterschiedliche Richtungen [8].

Den Szenarien liegen Annahmen zur Umsetzung der verbleibenden Biomassepotenziale durch folgende Anlagentypen zu Grunde: Biomasseheizkraftwerke, Heizwerke, Nahwärmeseln, Hofbiogasanlagen, Biogaseinspeiseanlagen, Anlagen zur Schnellpyrolyse und Kraftwerke zur Nutzung der Pyrolyseprodukte. Darüber hinaus wurden die ökonomischen Effekte der Installation zentraler Biomasseheizanlagen in Wohngebäuden berücksichtigt. Für diese sind keine zusätzlichen Biomassepotenziale anzusetzen, da es sich um eine Substitution bestehender Heizanlagen durch moderne Technik handelt.

Abb. 38 zeigt die Anteile der unterschiedlichen Anlagentypen der Nutzung der verbleibenden Biomassepotenzial am Beispiel des „mid-case“ Szenarios, das die verbleibenden Potenziale bis 2020 zu 88 % ausnutzt.

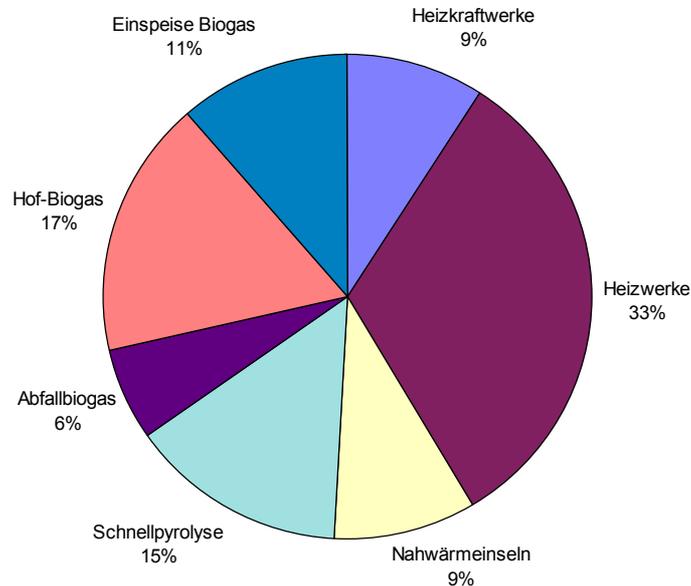


Abb. 38: Mid-case Szenario: Energieerzeugung aus den verbleibenden Biomassepotenzialen durch unterschiedliche Konversionstechniken

Die folgende Tab. 54 gibt einen Überblick über die zur Umsetzung der verschiedenen Szenarien erforderlichen Gesamtinvestitionssummen, die am Ende der Umsetzungsphase erzielbaren jährlichen Umsätze aus der Energieerzeugung sowie die zu erwartende Anzahl entstehender direkter und indirekter Arbeitsplätze (AK). Die 2008 bereits bestehenden Bioenergieanlagen sind in diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Tab. 54: Zusammenfassende Abschätzung sozioökonomischer Effekte der beschriebenen Szenarien

		Szenarien		
		Business as usual	Mid-Case	Best-Case
Invest	[Mio €]	2.000	2.200	2.600
Umsatz	[Mio €/a]	590	660	770
Arbeitskräfte	[direkt]	1.160	1.290	1.530
Arbeitskräfte	[indirekt]	1.150	1.320	1.520

Nicht berücksichtigt wurde ferner das Herstellen von Anlagenkomponenten sowie große Produktionsstätten (z. B. Viessmann), die in Hessen produzieren, aber ihre Produkte überwiegend außerhalb Hessens bzw. Deutschlands absetzen. Insofern unterschätzen sowohl die Indikatoren zu den monetären Bereichen als auch zu den Arbeitplatzeffekten

die tatsächliche Situation deutlich. Andererseits konnten auch nur Bruttoeffekte abgeschätzt werden (siehe 9.3.1 und 9.3.2).

9.3.1 Investitionen und Umsatz

Die kalkulierten Investitionen in den Szenarien beruhen auf den in Abb. 38 dargestellten Umsetzungswegen für die bestehenden Biomassepotenziale. Abb. 39 zeigt exemplarisch die Verteilung der für die Umsetzung des mid-case Szenarios insgesamt notwendigen Investitionen bis 2020 in Höhe von ca. 2,2 Mrd. €, entsprechend durchschnittlichen Investitionen von etwa 185 Mio. €/Jahr.

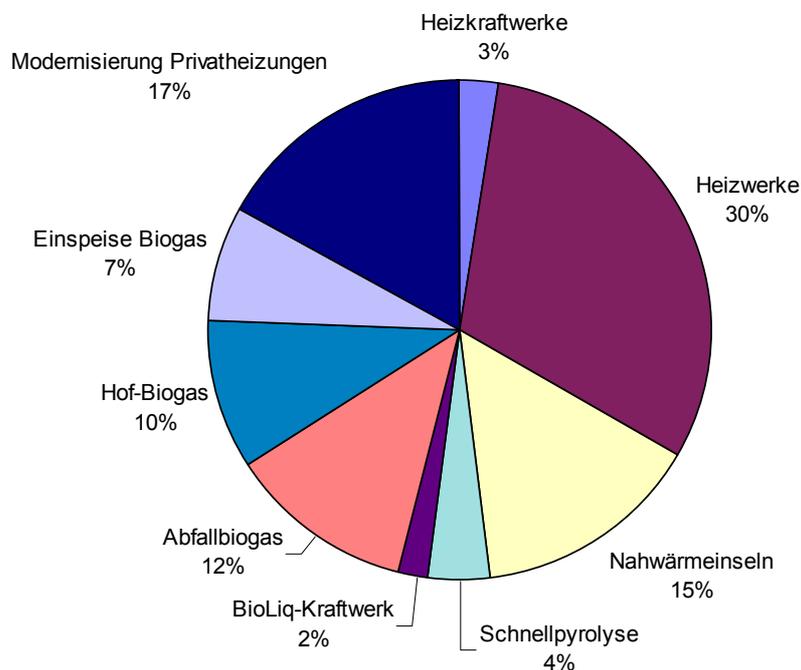


Abb. 39: Mid-case Szenario: Erforderliche Anteile an Investitionen in unterschiedliche Konversionstechniken

Mit diesen Investitionen wird im Jahr 2020 ein Umsatz von 660 Mio. €/Jahr (zu Preisen und Vergütungen des Jahres 2008) erzielt. Der Gesamtumsatz besteht neben den genannten Investitionen (28%) aus Einnahmen aus der Energieerzeugung (72%) von über 470 Mio. €/Jahr.

9.3.2 Arbeitsplätze

Tab. 54 fasst die im Rahmen der Szenarien ermittelten zusätzlichen Arbeitsplätze zusammen. So ist im mid-case Szenario mit gut 2.600 zusätzlichen Arbeitsplätzen zu rechnen, wobei diese etwa zur Hälfte aus direkter Beschäftigung durch Herstellung und Betrieb der Anlagen und im anderen Teil auf indirekte Arbeitsplätze im Bereich der Wartung und insbesondere der vorgelagerten Biomasselogistik beruhen. Nicht zu den indirekten Arbeitsplätzen hinzugerechnet wurden übergeordnete Bereiche wie Forschung, Beratung sowie Finanz- und Versicherungswesen. Würden diese Bereiche hinzu

gezählt, würde sich das im Bereich erneuerbarer Energien eher typische Verhältnis von 1:2 für direkte und indirekte Arbeitsplätze einstellen [8]. Die Angaben lägen dann für indirekte Arbeitsplätze etwa beim Doppelten der in Tab. 54 angegebenen Werte und damit insgesamt bei etwa 4.000 Arbeitsplätzen im mid-case Szenario. Dieser Wert liegt in einer Größenordnung, die einem hessischen Anteil für bundesweite Annahmen [8][9] hinsichtlich zusätzlicher Arbeitsplätze im Bereich Bioenergie entspricht.

Die Summe der direkten und indirekten Arbeitsplätze ergibt die sogenannte Bruttobeschäftigung, die mögliche negative Effekte auf andere Bereiche, beispielsweise Arbeitsplatzverluste im Bereich konventioneller Energien, nicht berücksichtigt. Die Bestimmung von Nettobeschäftigungseffekten würde die Analyse zweier oder mehrerer divergierender Zukunftsszenarien voraussetzen, wobei die Differenz in den Arbeitsplatzeffekten dann den Nettobeschäftigungseffekt ausmacht.

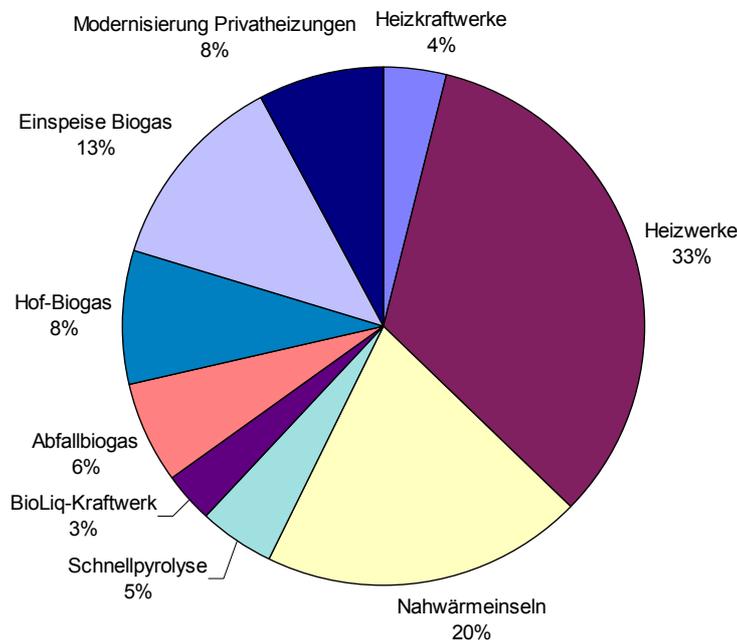


Abb. 40: Verteilung der direkten und indirekten Arbeitsplatzeffekte im mid-case Szenario in Bezug auf die verschiedenen Konversionstechniken

10 Fazit und Empfehlungen

In der vorliegenden Studie wird die Bioenergie in allen Facetten für sämtliche hessische Landkreise und kreisfreien Städte dargestellt. Die Datenermittlung erfolgte unter umfassender Beteiligung der jeweiligen Fachdienste und regionalen Fachkräfte in den einzelnen Landkreisen sowie in Abstimmung und Diskussion mit hessischen Fachstellen. Ergänzend wurde für ein Gesamtbild die Bioenergie im Verhältnis zu den weiteren regenerativen Energieträgern landkreisscharf in Hessen dargestellt.

Die Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen in Hessen steigerte sich zwischen 2004 und 2008 um knapp 57 % auf nunmehr 8.600 GWh/a. Den Löwenanteil stellt dabei mit 81 %, entsprechend nahezu 7.000 GWh, die Bioenergie. Im bundesweiten Vergleich (Anteil Bioenergie: 70 %) ist Bioenergie in Hessen von besonderer Bedeutung. Die Rohstoffe der Bioenergie Hessens entstammen zu einem Drittel dem Bereich der Rest- und Abfallstoffe und zu zwei Dritteln dem Bereich nachwachsender Rohstoffe, wobei Energieholz aus den Wäldern der wichtigste nachwachsende Rohstoff ist. Überwiegend, nämlich zu 75 % wird Bioenergie in Hessen in Wärme konvertiert. Strom- und Kraftstofferzeugung folgen mit 14 % bzw. 11 %.

Dass der Weg steigender Bioenergieproduktion bei Weitem noch nicht abgeschlossen ist, zeigen die dargestellten technischen Potenziale, die im zweiten Teil der Studie bestimmt werden und die nahezu eine Verdopplung der hessischen Bioenergieerzeugung (zusätzlich 6.400 GWh/a) in Aussicht stellen. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen wurden die Potenziale tendenziell eher konservativ und unter Einbeziehung regionaler Besonderheiten und Schwerpunkte in den einzelnen Landkreisen bestimmt. Wesentlichen Einfluss auf die Realisierung dieser Potenziale können mittelfristig allerdings die kaum prognostizierbaren Entwicklungen auf den weltweiten Energie-, Agrar- und Rohstoffmärkten nehmen.

Die Untersuchungen zeigen insgesamt, dass es der Dreiklang aus

- Steigerung der Bioenergieerzeugung,
- gesteigerte Nutzung anderer erneuerbarer Energien und
- deutlich gesteigerter Energieeffizienz

ermöglicht, über 20 % des für 2020 erwarteten hessischen Endenergieverbrauchs in den Bereichen Strom und Wärme regenerativ zu erzeugen. Dazu ist eine weitgehende Ausnutzung der ermittelten Bioenergiepotenziale erforderlich. Die vorgestellten Szenarien zeigen, dass dies möglich ist und mit den Entwicklungen Arbeitsplätze und Investitionen initiiert werden. Zudem zeigt die Analyse, dass der für den zurückliegenden Zeitraum zwischen 2004 und 2008 ermittelte Zuwachs im Bereich Bioenergie dem zur Erreichung der hessischen Klimaziele bis 2020 notwendigen Ausbau des Bioenergiebereichs schon recht nahe kommt.

Um diesen notwendigen Trend auch in die Zukunft fortschreiben zu können, werden für den Ausbau der Bioenergie in Hessen, basierend auf den im Rahmen dieser Studie untersuchten Bereichen, folgende Maßnahmen empfohlen:

1. Die Umsetzung von Vorhaben zur Bioenergieerzeugung sollte auch zukünftig gefördert werden. Die Schwerpunktsetzungen in den Bereichen Beratung/Information, Investitionszuschüsse, Optimierung von Rahmenbedingungen etc. sind periodisch anzupassen. Die zur Mitte des laufenden Jahrzehnts erforderliche Realisierung aufwendigerer Bioenergieanlagen, z.B. im Bereich der Konversion „schwierigerer Inputstoffe“, sollte frühzeitig besonders gefördert werden.

2. Darüber hinaus ist wissenschaftliche Arbeit in allen Bereichen von der Biomassegewinnung über Logistik, Konversion bis hin zur Reststoffnutzung und den begleitenden ökologischen und sozioökonomischen Themen notwendig und erstreckt sich über Grundlagenforschung und umsetzungsorientierte Arbeiten bis hin zum Monitoring technischer und sozialer Aspekte. Bei diesen Arbeiten können hessische Akteure in vielen Bereichen die bundesweiten Forschungsanstrengungen ergänzen und voranbringen sowie insbesondere die Umsetzungsfaktoren im Bundesland Hessen untersuchen und optimieren.
3. Wenngleich die Öffentlichkeit der Bioenergie grundsätzlich positiv gegenüber steht, lassen die Szenarien erwarten, dass der notwendige erweiterte Energiepflanzenanbau sowie die Umsetzung eines breiten Mixes aus Kleinanlagen, aber auch einigen Großanlagen, sowie weitere Aspekte des Ausbaus der Bioenergie eine sachgerechte Information und Akzeptanzschaffung in der Öffentlichkeit erfordern. Die Darstellung und Verbreitung der Ergebnisse dieser Studie, sowohl in ihrer Gesamtbedeutung als auch hinsichtlich regionaler Besonderheiten, kann einen wesentlichen Beitrag zu sachgerechten Diskussionen und zielgerichteten Umsetzungsplanungen leisten.
4. An einem jährlichen Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf Ebene der hessischen Landkreise besteht seitens der vielfältigen Akteure im Bereich regenerativer Energien großes Interesse. Diese Daten, die bundesweit und in einigen Bundesländern bereits jährlich erhoben werden, können darüber hinaus wesentliche Grundlagen für die Optimierung des weiteren Ausbaus erneuerbarer Energien in Hessen sein. Für die Neubewertung der Biomassepotenziale dürfte hingegen ein drei- bis fünfjähriger Rhythmus ausreichend sein.

11 Anhang

11.1 Glossar

a	Jahr		kW	Kilowatt
BA	Biogasanlage		kW _{el}	Kilowatt elektrische Leistung
BHKW	Block-Heiz-Kraftwerk		kW _{th}	Kilowatt thermische Leistung
BlmSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung		kW _{FL}	Kilowatt Feuerungsleistung
BioAbfV	Bioabfallverordnung		kWh	Kilowattstunde
EBS	Ersatzbrennstoffe		Mg	Megagramm (= 1.000 kg)
EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien		MW	Megawatt (= 1.000 kW)
Efm	Erntefestmeter (= 1 m ³ Holz ohne Rinde)		MWh	Megawattstunde (= 1.000 kWh)
FM	Frischmasse		NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe, z. B. Energiepflanzen wie Mais
GuV Rechnung	Gewinn- und Verlustrechnung		NawaRo-Bonus	Bonus, nach dem EEG für Strom aus Energiepflanzen u. a.
GV	Großvieheinheit (Rechengröße festgelegt auf Tier(e) mit 500 kg Lebendgewicht)		Nm ³	Norm-m ³
ha	Hektar (= 10.000 m ²)		oTM	organische Trockenmasse
HHS	Holzhackschnitzel		ÖrE	Öffentlich rechtlicher Entsorgungsträger
KMS	Kohlenstoffmolekularsieb			
KUP	Kurzumtriebsplantage		TM	Trockenmasse
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung		Vfm	Vorratsfestmeter (= 0,8 Efm)
			WG	Wassergehalt

11.2 Literatur

- [1] Agentur für erneuerbare Energien (2009): Biokraftstoffe – Daten und Fakten. Berlin.
- [2] Arbeitsgemeinschaft Bio-Rohstoffe Witzenhausen (2006): Potenziale und Perspektiven einer regionalen Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse in Nordhessen.
- [3] Auswertung und Zusammenstellung der Daten für Hessen aus Veröffentlichungen der Übertragungsnetzbetreiber nach § 52 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Transpower-Stromübertragungs GmbH, EnBW Transportnetze AG, Amprion GmbH, Vattenfall Europe Transmission.
- [4] BDBe – Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V. (2009). Abrufbar unter: www.bdbe.de (Stand 26.11.2009)
- [5] Becker, H. (2006): Energie aus Biomasse – Nationale und internationale Perspektiven der Züchtung. Vortrag.
- [6] Benecke, R. (2009): Grünland in der Landwirtschaft – Grünland im Umbruch. Vortrag auf der BfN-Tagung 27.–30. April 2009 „Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog – Grünland im Umbruch“.
- [7] BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): Anteil am Gesamt-Holzeinschlag bei den Waldbesitzarten in Hessen (2008).
- [8] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte. Kurzfassung der Studie: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Berlin
- [9] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung.
- [10] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2008): Weiterentwicklung der Ausbaustrategie erneuerbare Energien – Leitstudie 2008.
- [11] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2009): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009.
- [12] Böck, T. (2009): Mündliche Mitteilung am 11.11.2009.
- [13] Böse, S. (2009): Stroh oder Stroh? Praxisnah – Fachinformation für die Landwirtschaft 4. S. 2–3.
- [14] Braunert, O. (2008): Pflegemaßnahmen am holzigen Schienenbegleitgrün. Mündliche Mitteilung. DB-Fahrwegdienste GmbH, Berlin.
- [15] Brüggemann, C. (2008): Strohverbrennung als Verwertungsbeispiel. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Hannover.
- [16] Bafa – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Veröffentlichung geförderter Anlagen, <http://www.biomasseatlas.de/index.php?id=9>
- [17] Bafa – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Förderung von Biomasseverfeuerungsanlagen – Richtlinien zur Förderung erneuerbarer Energien. http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/biomasse/index.html.

- [18] BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005): Biokraftstoffe – Strategie für morgen. Berlin.
- [19] Bundesverband Solarwirtschaft e. V. (2009): Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Internetveröffentlichung unter http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/Faktenblatt_ST_Aug09.pdf).
- [20] Bundesverband Solarwirtschaft e. V. (2009): Informationen zur Solarwärme, Internetveröffentlichung unter http://www.solartechnikberater.de/technik_css/
- [21] Buschmann, M. (2008): Mündliche Mitteilung über Maßnahmen am Gewässerbegleitgrün – Bereich Binnenschifffahrt. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte. Hannover.
- [22] BVSE – Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. (2008): Überblick über die Recycling- und Entsorgungsbranche – Zahlen, Daten, Fakten.
- [23] C.A.R.M.E.N. – Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e. V. (2009): Glossar – Altholz.
- [24] Choren Industries, Internetauftritt http://www.choren.com/de/energy_for_all/biomasse/anbaukonzepte/
- [25] Corell, G. (2009): Mündliche Auskunft über Anbauumfang von Bioethanolrüben.
- [26] Cremer, T. (2007): Energieholznutzung aus der freien Landschaft – Potenziale und Nutzung. Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Der Forstbetrieb als professioneller Lieferant von Bioenergie“ am 20./21.09.2007. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- [27] DEPI – Deutsches Pelletinstitut (2010): Gesamtbestand an Pelletheizungen in Deutschland. In: Neue Energie – Das Magazin für erneuerbare Energien.
- [28] Deutsche Energie-Agentur GmbH (2006): Biomass to Liquid – BtL Realisierungsstudie – Zusammenfassung. Fkz 22013105-A. Berlin.
- [29] Die zweite Bundeswaldinventur – BWI2 (2004): Das Wichtigste in Kürze. Hrsg. BMELV, Bonn.
- [30] Dierschke, G. (2009): Telefonische Auskunft.
- [31] Dobers, K., Opitz, S. (2007): BioLogio – Entwicklung und Ausbau regionaler Logistikstrukturen für Holzbrennstoffe (Endbericht). Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik.
- [32] DWA Landesverband Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland (2008/2009): Kläranlagen-Nachbarschaften; Fortbildung des Betriebspersonals, DWA, Mainz.
- [33] Ehrhardt, I., Schenk, M. (2008): Ressourceneffiziente Rohstoffbereitstellung. Vortrag beim „Workshop Holzlogistik 2008“. Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung. Magdeburg.
- [34] Eigene Auswertungen auf Grundlage der Netzeinspeisestatistiken und sonstiger Internetrecherche.
- [35] Energie-Forum Hessen (2010): Bericht des Energie-Forums Hessen 2020 – Ziele und Eckpunkte des Hessischen Energiekonzepts für die Bereiche Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Wiesbaden.
- [36] EUWID (Europäischer Wirtschaftsdienst – Neue Energien) (2009): Sinkende Altholzmengen gefährden Versorgung von Biomassekraftwerken. In: NE Nr. 10 v. 13.05.2009, S. 5.

- [37] EUWID (Europäischer Wirtschaftsdienst – Recycling und Entsorgung) (2009): Erfassungsmenge bei Altholz deutlich zurückgegangen. Online-Nachrichten v. 08.06.2009.
- [38] Faulstich, M., Greiff, K., Mayer, W., Mocker, M., Quicker, P., Schieder, D. (2006): Energetische Nutzung von Biomasse: Potenziale – Entwicklungen – Chancen. Abfalltage Baden-Württemberg, Stuttgart, 26. und 27. September 2006.
- [39] Faulstich, M., Quicker, P. (2007): Energetische Nutzung der Biomasse – Status quo & Ausblick. Vortrag auf der Münchener CleanTech Konferenz.
- [40] FNR e. V. (2007): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Gülzow. S. 56–59.
- [41] FNR e. V. (2009): Aktuelle Nachricht vom 21.10.2009 „Nachwachsende Rohstoffe 2009 erneut auf rund 2 Millionen Hektar“.
- [42] FNR e. V. (2009): Bioenergie – Basisdaten Deutschland (Stand Oktober 2009).
- [43] FNR e. V. (2009): Biokraftstoffe – Eine vergleichende Analyse. Gülzow.
- [44] FNR e. V. (2009): Biokraftstoffe. Verfügbar unter: www.bio-kraftstoffe.info (Stand 08.12.2009).
- [45] FNR e. V. (2009): BtL-Informationsplattform. Verfügbar unter: www.btl-plattform.de/ (Stand 18.11.2009).
- [46] FNR e. V. (2009): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow.
- [47] Franke, U. (2009): Entwicklungen im Biokraftstoffbereich. In: „Öl und Erdgas haben noch eine große Zukunft“. Interview mit G. Hartmann (WamS).
- [48] Fritsche, U. et al. (2009): IEA Bioenergy Task 40: Country Report Germany. Darmstadt, Leipzig.
- [49] Fritz, M., Formowitz, B., Jodl, S., Eppel-Hotz, A., Kuhn, W. (2009): Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Berichte aus dem TFZ 18. Straubing.
- [50] Fritz, M., Formowitz, B., Jodl, S., Eppel-Hotz, A., Kuhn, W. (2009): Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis. Berichte aus dem TFZ 19. Straubing.
- [51] Fuchs, M. (2007): Das Hessische Integrierte Agrarumweltprogramm (HIAP): Aktueller Stand und geplante Umsetzung der Agrarumweltmaßnahmen in Hessen. Vortrag an der Naturschutzakademie Wetzlar.
- [52] Haberkern, B. et al. (2008): Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 205 26 307, UBA-FB 001075.
- [53] Harbusch, M. (2008): Informationen über Maßnahmen am Straßenbegleitgrün. Mündliche Mitteilung. Harbusch-Forst GmbH. Hess. Lichtenau.
- [54] Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (2009): Mündliche Mitteilung.
- [55] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Abfallmengenbilanz. Wiesbaden.
- [56] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2009): Auszug aus Erdwärmeverzeichnis Hessen, unveröffentlicht.
- [57] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2009): Datenbank Wanderhindernisse, unveröffentlicht

- [58] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2009): Emissionskataster Industrie 2004 nach 11. BImSchV. Anlagen mit Brennstoff „Deponiegas“.
- [59] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2009): Ungefasste Freisetzung von Methan aus Deponien in 2007 – PRTR (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister, Verordnung (EG) Nr. 166/2006).
- [60] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005): Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bestandsübersicht oberirdische Gewässer (Hessen gesamt). Wiesbaden.
- [61] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUEL) (2009) – Mündliche Mitteilung.
- [62] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUEL) (2009): Energiebericht 2008 der hessischen Landesregierung – Energiestatistischer Teil.
- [63] Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2007): Beseitigung von kommunalen Abwässern in Hessen, Lagebericht 2006.
- [64] Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2005): Grunddaten und Modelle zur Biomassenutzung und zum Biomassepotenzial in Hessen.
- [65] Hessisches Statistisches Landesamt (2004): Agrarstrukturerhebung 2003. Wiesbaden.
- [66] Hessisches Statistisches Landesamt (2006–2008): Die Ernte ausgewählter Feldfrüchte in Hessen. Wiesbaden.
- [67] Hessisches Statistisches Landesamt (2007): Bestand an Kraftfahrzeugen mit amtlichen Kennzeichen am 1. Januar 2007. Wiesbaden.
- [68] Hessisches Statistisches Landesamt (2008): Agrarstrukturerhebung 2007. Wiesbaden.
- [69] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Bestand an Kraftfahrzeugen mit amtlichen Kennzeichen am 1. Januar 2009. Wiesbaden.
- [70] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Erträge ausgewählter Feldfrüchte in Hessen 2003 bis 2008. Wiesbaden.
- [71] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Gewerbliche Säge-, Hobel- und Imprägnierwerke (Bezugsjahr 2005).
- [72] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Mündliche Mitteilung, Frau Dr. Wincierz
- [73] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Viehbestände in den landwirtschaftlichen Betrieben 2001, 2003, 2005 und 2007 in Hessen. Wiesbaden.
- [74] Hessen Agentur (2007): Der Cluster Forst und Holz in Hessen – Bestandsanalyse und Entwicklungschancen. Report-Nr. 712. Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Wiesbaden.
- [75] Hessen-Forst (2009): Holzeinschlag und Holzabsatz im betreuten Wald. Unveröffentlichtes tabellarisches Datenmaterial. Landesbetrieb Hessen-Forst, Kassel.
- [76] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Daten zur eingespeisten Strommenge aus regenerativen Energien.

- [77] HfVA – Hessischer Forschungsverbund Abfall, Umwelt und Ressourcenschutz e. V. (2003): Oberflächenabdichtung hessischer Deponien im Rahmen der Stilllegung – Stand und Empfehlungen zur Umsetzung. Abschlussbericht zum F+E-Verbundvorhaben. Arbeitsgruppe Deponienachsorge des HfVA, Witzenhausen.
- [78] Hildenbrand, K.P. (2009): Grünabfallnutzungskonzept im Rhein-Hunsrück-Kreis. In: Kern, M., T. Raussen und E. Apel (Hrsg.) Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse, HeRo, Witzenhausen, S. 191-202
- [79] Hilger, J. (2000): Struktur- und Absatzplanung für die Verwertung von Speiseresten als Futtermittel. Dissertation. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn. 311 Seiten.
- [80] Hofmann, M. (2007): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow.
- [81] Institut für ZukunftsEnergieSysteme (izes; 2002): Biomassepotenzialstudie Saarland – Teil 1: Herleitung von Biomasse-Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen. Saarbrücken.
- [82] Kalinowska, D., Kunert, U. (2009): Kraftfahrzeugverkehr 2008 noch auf hohem Niveau. In: Wochenbericht des DIW Berlin Nr. 50/2009, 872–882.
- [83] Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. überarbeitete Auflage. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.
- [84] Kaltschmitt, M., Kuhn, E., Döhler, H. (1993): Biogas – Potenziale und Kosten. KTBL-Schrift Arbeitspapier 178. Darmstadt.
- [85] Kaltschmitt, M., Thrän, D. (2001): Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa. In: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche 17: „Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse“. Tautenhain, Gülzow.
- [86] Kautz, O. (1995): Charakterisierung und Aufkommen der Abfälle. In: Thomé-Kozmiensky, K. (Hrsg.): Biologische Abfallbehandlung. S. 67–130.
- [87] Kiesewalter, S. (2006): Untersuchungen zur Verbrennung von halmgutartiger Biomasse. Vortrag auf dem 3. Mitteldeutschen Bioenergietag „Festbrennstoffe in und aus der Landwirtschaft“ am 25. September 2006 in Bernburg.
- [88] KTBL (2006): Energiepflanzen – Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. KTBL-Verlag. Darmstadt.
- [89] KTBL (2006): Datensammlung Betriebsplanung 2006/07.
- [90] Kuhlmann, F., Reus, D. (2009): Betriebswirtschaftliche Bewertung von Biogassubstraten, Vortrag auf dem 2. Symposium Energiepflanzen der FNR, Berlin.
- [91] Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (Hrsg.; 2007): Hessischer Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung vom 10.01.2006. Kassel.
- [92] Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Marktinformation; www.agrarberatung-hessen.de/markt/futtermittel/010725.html.
- [93] LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2003): Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung. Merkblatt Nr. 12. Freising.
- [94] LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2006): Bauer, J., Zormaier, F., Borchert, H., Burger, F.: Energieholzmarkt in Bayern, LWF Wissen 53.

- [95] Mantau, U., Bilitewski, B. (2005): Stoffstrom-Modell-Holz – Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. Abschlussbericht – Studie im Auftrag des Verbandes Deutscher Papierfabriken e. V.
- [96] Müller, A. (2009): Antragsstellung EU-Betriebsprämien in Hessen.
- [97] Müller-Langer, F. et al. (2008): Erdgassubstitute aus Biomasse im Überblick – Ökonomische und ökologische Parameter im Vergleich. In: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR; Hrsg.): Erdgassubstitute aus Biomasse – eine Bestandsaufnahme. Gülzower Fachgespräche 29.
- [98] Münch, J. (2008): Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland. Positionspapier des IFEU-Instituts.
- [99] Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung, (2008): Feuerstättenzählung Niedersachsen 2008 für holzbeheizte Anlagen bis 1 MW.
- [100] Nitsch, H., Osterburg, B. (2009): Grünland – Bestandsaufnahme und Handlungsoptionen: Erkenntnisse aus dem InVeKoS-Projekt. Vortrag auf der BfN-Tagung 27.–30. April 2009 „Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog – Grünland im Umbruch“.
- [101] Nitsch, J. (2007): Leitstudie 2007 "Ausbaustrategie Erneuerbare Energien" Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick auf 2050.
- [102] Ochs, T., Duschl, C., Seintsch, B. (2007): Struktur und Rohstoffbedarf der Holzwirtschaft – Teil I der Studie „Regionalisierte Struktur- und Marktanalyse der 1. Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft“. In: Holzzentralblatt Nummer 10: S. 269-271.
- [103] Peisker, D., Hering, T., Vetter, A. (2007): Energetische Verwertung von Stroh – Möglichkeiten und Grenzen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. Jena.
- [104] Polley, H., Kroiher, F. (2006): Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, Eberswalde.
- [105] Quaschnig, V. (unbekanntes Jahr): Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. VDI (Ed.). VDI.
- [106] Regierungspräsidium Gießen – Geschäftsstelle der Regionalversammlung Mittelhessen (2001): Regionalplan Mittelhessen 2001.
- [107] Regierungspräsidium Kassel – Geschäftsstelle der Regionalversammlung Nordhessen (2009): Regionalplan Nordhessen 2009 Genehmigungsvorlage.
- [108] Regierungspräsidium Kassel: Frau Potthoff, Regierungspräsidium Gießen: Herr Dr. Gerhards, Regierungspräsidium Darmstadt: Frau Wittersheim.
- [109] Regionalversammlung Südhessen/Regierungspräsidium Darmstadt. Entwurf zum Entwurf 2007 des Regionalplans/Vorentwurf 2007 des Regfnp für das Beteiligungsverfahren.
- [110] Reinhold, G. (2009): Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte eines verstärkten Gülleeinsatzes. Biogas – Schwerpunkt aktuelle Rahmenbedingungen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena, Bernburg.

- [111] Reisinger, K. (2009): Thermische Verwertung von Miscanthus im Vergleich zu Holz. Vortrag auf dem Status quo-Seminar: 20 Jahre Miscanthusforschung in Bayern – Eine Bilanz für die Praxis. Straubing.
- [112] Ried, S. (2008): Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Kurzfassung 2008, unveröffentlicht, RP Gießen, Dez. 41.3 Kommunales Abwasser, Gewässergüte.
- [113] Rolink, D. (2009): Die Zukunft beginnt bereits – Wirtschaft und Industrie arbeiten schon heute an der Technik für morgen. Top Agrar Energiemagazin 4. S. 18–21.
- [114] Rommeiß, N., Thrän, D., Schlägl, T., Daniel, J., Scholwin, F. (2006): Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik Heft V 150. Bergisch Gladbach.
- [115] Rumohr, S. (2008): Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Hessen – Ist das Ende des Booms erreicht? Jahresbericht des HLOG. (Verfügbar unter: www.hlog.de/wirueberuns/jahresbericht/jb_2008.html).
- [116] Rumohr, S. (2009): Bemessung von Erdwärmesonden – Augen zu und durch. (Verfügbar unter: www.geothermie-rhein-neckar.de/pdf/srumohr_bemessung-ews.pdf).
- [117] Rumohr, S. (2009): Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Hessen – Zahlen und Kenngrößen. In: bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 03/2009, S. 46–52.
- [118] Scheuermann, A., Thrän, D., Müller-Langer, F. (2006): Stromerzeugung aus Altholz – Marktsituation und Perspektiven. In: Müll und Abfall 11: S. 584–588.
- [119] Schmitz, F., Polley, H., Hennig, P., Dunger, K., Englert, H. (2005): Die zweite Bundeswaldinventur – Der Inventurbericht. Hrsg. BMELV, Bonn.
- [120] Schmuderer, M. (2008): Blockseminar Biogas – Rahmenbedingungen, Wirtschaftlichkeit, Ethik. Hochschule für angewandte Wissenschaften, München.
- [121] Schreiber, K., Uhl, A., Remmele, E. (2009): Mehr als 150 dezentrale Ölmühlen stillgelegt. Pressemitteilung (AZ: 0121-2008-008) Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Straubing.
- [122] Schultze, M. (2009): Mündliche Mitteilung zu Strohheizanlagen in Hessen am 30.11.2009.
- [123] Schütte, A. (2008): Stand der Entwicklung bei Biomass-to-Liquid (BtL)-Verfahren. Vortrag auf dem 3. BtL-Kongress Berlin.
- [124] Seiler, J. (2008): Chancen für Erdgasantriebe. In: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR; Hrsg.): Erdgassubstitute aus Biomasse – eine Bestandsaufnahme. Gülzower Fachgespräche 29.
- [125] Sörgel, C., Mantau, U. (2005): Standorte der Holzwirtschaft – Sägeindustrie. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft – Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg.
- [126] Sörgel, C., Mantau, U., Weimar, H. (2006): Standorte der Holzwirtschaft. Aufkommen von Sägenebenprodukten und Hobelspänen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft.
- [127] Staub, B. (2008): Biokraftstoffe in Hessen. Witzenhausen.

- [128] Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern 2001 bis 2007. www.statistik-hessen.de, zitiert von ISET e. V. In: Potenziale Windenergie und Photovoltaik, 29.05.2009 im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- [129] Hessisches Statistisches Landesamt (2009): Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern 2001 bis 2007.
- [130] Technologie- und Förderzentrum (2007): Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen. In: Berichte aus dem TFZ 15.
- [131] Thrän, D. et al. (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklungen von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Anbau der energetischen Biomassenutzung. 1. Zwischenbericht.
- [132] UFOP e. V. (2009): Biokraftstoffsteuer im Wachstumsbeschleunigungsgesetz. Verfügbar unter: www.ufop.de/downloads/Steuerinfo_071109.pdf.
- [133] Uhl, A. (2009): Persönliche Mitteilung.
- [134] Umweltatlas Hessen, Internetveröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/gs/gs_txt.htm.
- [135] Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. (2008): Erzeugung und Verwendung von Raps in Deutschland – Entwicklung des Rapsanbaus in Deutschland. Berlin.
- [136] Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie (2009): Biokraftstoffe in Deutschland – Überblick über die aktuelle Lage der Biokraftstoffindustrie.
- [137] Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung) 2005.
- [138] Wachendorf, M. (2009): Prograss Anlage – Technik. Verfügbar unter: www.prograss.eu/index.php?id=75&L=2 (Stand 30.11.2009).
- [139] Wallmann, R., Fritz, T., Fricke, K. (2009): Energie aus Abfall – Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten. In: Müll und Abfall 5, S. 250–258.
- [140] Weiss, W. (AEE – Institut für Nachhaltige Technologien), Biermayr, P. (Technische Universität Wien): Potential of Solar Thermal in Europe, 2009; Im Rahmen des EU-Projektes RESTMAC, TREN/05/FP6EN/S07.58365/020185.
- [141] Windmonitor: www.windmonitor.de.
- [142] Witzenhausen-Institut (2008): Optimierung der biologischen Abfallbehandlung in Hessen. Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz.
- [143] Witzenhausen-Institut (2009): Berechnungen zum Energieholzpotenzial und zur Nutzung auf Landkreisebene.
- [144] Witzenhausen-Institut, Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen – IGW (2006): Potenziale und Perspektiven einer regionalen Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse in Nordhessen, Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) Wiesbaden.
- [145] Witzenhausen-Institut, Pöyry Environment GmbH, Abt. IGW (2008): Screening von Umsetzungsfaktoren für innovative Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen in Nordhessen, Studie im Auftrag der Lurgi GmbH, Frankfurt.

- [146] Internetveröffentlichungen unter:
www.einstreu-kleintierstreu.de (Stand 11.11.09)
www.prona-shop.de (Stand 11.11.09)
<http://www.herbasch.de/index-Dateien/Page393.htm> (Stand 11.11.09)
- [147] Internetveröffentlichung unter:
www.energievomland.de/html/brennstoffe.html (Stand 10.11.2009)