

5 KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

Zur Ermittlung der Rentabilität von Investitionsvorhaben sind Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen anzustellen. Eine geplante Investition wird für wirtschaftlich befunden, wenn sie die Wiedergewinnung der Anschaffungsausgaben und eine ausreichende Verzinsung des eingesetzten Kapitals erbringt. Demnach muss die Summe der mit einem Investitionsobjekt verbundenen laufenden Einzahlungen die Summe der laufenden Auszahlungen übersteigen, damit dieser erzielte Überschuss zur Amortisation der Investition und zur Verzinsung des eingesetzten Kapitals führen kann.

Werden die Nutzungen des Investitionsobjekts nicht am Markt verwertet, liegt also eine Eigennutzung vor (im Falle von Bioenergieanlagen: Nutzung der erzeugten Energie zur Eigenbedarfsdeckung), so wird das Investitionsobjekt normalerweise dann für ökonomisch vorteilhaft befunden, wenn dieses mit geringeren Kosten als mögliche alternative Vorhaben zur Erzielung desselben Nutzens (d. h. Erzeugung bzw. Beschaffung derselben Energiemenge) verbunden ist.

Die wesentlichen Ausgaben und Einnahmen bei Biomasseheiz(kraft)werken können wie folgt untergliedert werden:
Anschaffungsausgaben (auch: Brutto-Investitionskosten)

- Netto-Investitionskosten
- Nebenkosten für Planung, Genehmigung und Gutachten
- Vorsteuer/Mehrwertsteuer
- Bauzeitzinsen
- Unvorhergesehenes

Ausgaben des laufenden Betriebes (Betriebskosten)

- Brennstoffkosten
- Kosten für Wartung und Instandhaltung
- Kosten für Versicherungen und Steuern
- Personalkosten
- Kosten für Betriebsmittel (Zusatzwasser, Strom etc.) sowie zur Ascheentsorgung

Einnahmen des laufenden Betriebes

- Erlöse aus der Wärme-, Kälte- und/oder Stromabgabe
- Zuschüsse, Zulagen etc.

Die Ermittlung der Kosten sowie der erzielbaren Einnahmen sollte möglichst frühzeitig auf der Grundlage von Schätzungen (mittels Erfahrungswerten vergleichbarer Projekte, Richtpreisen etc.) erfolgen und während der Planung des Bioenergievorhabens laufend aktualisiert und konkretisiert werden (siehe auch Kapitel 6).

Die nachfolgenden Kapitel enthalten Ausführungen zur Ermittlung der oben genannten Ausgaben und Einnahmen für Bioenergieanlagen. Anleitungen und Empfehlungen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Biomasse-Vorhaben sind Kapitel 6.2.2 zu entnehmen. Alle Kosten und Preise in diesem Leitfaden sind in €₂₀₁₂ (sofern nicht anders festgelegt) angegeben. Es wurden dafür die Kosten bzw. Preise aus den verschiedenen Jahren mit entsprechenden Inflationsfaktoren auf das Jahr 2012 angepasst.

5.1 Investitionskosten von Bioenergieanlagen

Grundlage der Ermittlung der Investitionskosten ist eine – im Falle einer groben Abschätzung überschlägige – technische Auslegung der Bioenergieanlagen einschließlich aller erforderlichen peripheren Systeme und Komponenten (Vergleiche Kapitel 6.2.1). Die Nettoinvestitionen können in die Kostengruppen untergliedert werden:

- Bautechnik der Energieerzeugung,
- Maschinenteknik der Energieerzeugung,
- Elektro- und Leittechnik der Energieerzeugung (ggf. Netzanschluss) und
- Wärmeverteilung (Nahwärmenetz).

Die Nettoinvestitionen werden durch die Summierung der Kosten der Aggregate und Komponenten gebildet, die entsprechend der Anlagenauslegung erforderlich sind. Für Einzelkosten von Aggregaten und Komponenten können – solange keine verbindlichen Angebote vorliegen – Richtpreisangebote oder Erfahrungswerte vergleichbarer Objekte herangezogen werden. Die Einzelkosten sollten neben der Lieferung auch die Montage und die Inbetriebnahme der Anlagenteile umfassen.

TAB. 5.1: UNTERGLIEDERUNG NACH DIN 276-1:2008-12 (KOSTEN IM BAUWESEN – TEIL 1: HOCHBAU)

Position	Inhalt	Beispiele
100	Grundstück	Grundstückswert, -nebenkosten (Vermessung etc.) und Freimachen
200	Herrichten und Erschließen	Herrichten, öffentliche und nicht öffentliche Erschließung
300	Bauwerk – Baukonstruktionen	Baugrube, Gründung, Wände (mit Fenster und Türen), Decken, Dächer, Kamine (bei Aufstellung in bestehenden Gebäuden: erforderliche Umbaumaßnahmen)
400	Bauwerk – Technische Anlagen	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen, Gebäudeheizung/-klimatisierung etc.
500	Außenanlagen	Geländeflächen (z. B. Bepflanzung, Begrünung), befestigte Flächen sowie sonstige Baumaßnahmen der Außenanlagen
600	Ausstattung und Kunstwerke	Ausstattung wie Möbel, Gartengeräte und Kunstwerke (Skulpturen, künstlerische Gestaltung etc.)
700	Baunebenkosten	Kosten für Planung, Gutachten und dergleichen sowie für die Finanzierung

5.1.1 Bautechnik der Energieerzeugung

Die Kosten der Bautechnik einer Bioenergieanlage umfassen generell alle Aufwendungen für bauliche Maßnahmen wie Kessel- und Maschinenhaus und Brennstofflager einschließlich deren technischer Ausrüstung und der zugehörigen Außenanlagen. Für die Kostenermittlung empfiehlt sich die Untergliederung nach DIN 276-1 (Kosten im Hochbau, vgl. Tabelle 5.1).

Bei Kleinanlagen zur Beheizung von Ein- und Mehrfamilienhäusern sind die Kosten der Bautechnik in der Regel vernachlässigbar gering bzw. fallen auch bei einer alternativen Beheizung mittels Heizöl oder Erdgas an (wie z. B. die Kosten für einen Heizraum). Bei Anlagen ab etwa 100 kW jedoch betragen die gesamten Kosten der Bautechnik – abhängig von Anlagengröße und -ausstattung – erfahrungsgemäß etwa 20 bis 40% der gesamten Investitionskosten. Dieser Richtwert bezieht sich auf die Aufstellung der Anlage in neu zu errichtenden Gebäuden. Im Falle der Nutzung bestehender Gebäude sind die Baukosten naturgemäß beträchtlich geringer.

5.1.2 Maschinentechnik der Energieerzeugung

Diese Kostengruppe enthält die Kosten aller maschinentechnischen Komponenten einschließlich der Lager- und Fördersysteme für die feste Biomasse (z. B. Austragesysteme etc.). Diese können wie folgt in die wesentlichen Anlagenteile untergliedert werden:

- Biomassekessel bzw. -vergaser einschließlich Beschickung, Ascheaustrag und -lagerung etc.,
- Spitzenlastkessel (soweit erforderlich) mit Nebensystemen (z. B. Heizöllagerung und -förderung zum Kessel),
- Rauchgasreinigung,
- Maschinentechnik der Biomasselagerung und -förderung bis zur Beschickung,
- Wasseraufbereitung,
- Rauchgas- und Luftsystem (einschließlich Ventilatoren), soweit nicht in den obigen Komponenten enthalten,
- bei KW-Anlagen: Dampfturbosatz bzw. -motor einschließlich Generator oder ORC-Anlage,
- je nach Anlagenumfang weitere Nebensysteme wie Rückkühlanlage, Kondensatsystem, Be- und Entlüftungsanlage, Druckluftanlage, Wärmespeicher etc.,
- verbindende Rohrleitungen mit Pumpen, Behältern (z. B. Speisewasserbehälter) und Armaturen einschließlich deren Isolierung.

Nachfolgend sind Richtwerte für die spezifischen Kosten der wesentlichen und kostenintensivsten maschinentechnischen Anlagenkomponenten von Bioenergieanlagen aufgeführt.

Biomassekessel mit Peripherie und Nebeneinrichtungen

Die Kosten für Biomassekessel sind naturgemäß stark von der Leistungsgröße und von der Anlagenart abhängig. Daneben ist die Brennstoffart für die Kosten von Bedeutung. So sind Kessel für Halmgüter im Regelfall etwa 10 bis 50% teurer als Holzkesel gleicher Leistung.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss übt die Ausstattung der Anlage aus. So kann für Hausheizungen bis etwa 100 kW auf eine Rauchgasentstaubungsvorrichtung unter bestimmten Voraussetzungen verzichtet werden /IBS 2012/. Die spezifischen Kosten von derartigen Kesseln für den Einsatz von Holz im Leistungsbereich von 50 bis 100 kW betragen 190 bis 250 €/kW bei Scheitholzkeseln, 310 bis 500 €/kW bei Hackschnitzelkeseln und 290 bis 380 €/kW bei Pelletkeseln inklusive Regelung und MwSt. /FNR 2007/.

Kessel mit einer thermischen Leistung über 100 kW werden überwiegend mit automatischer Brennstoffzufuhr angeboten und sind mit einer nachgeschalteten Entstaubungsanlage ausgestattet. Abb. 5.1 enthält die jeweiligen spezifischen Investitionskosten. Die Spannweite der spezifischen Investitionskosten im Bereich der thermischen Leistung von 100 bis 500 kW reicht von 141 bis 620 €/kW. Der Median beträgt dabei 327 €/kW. Der mittlere Leistungsbereich erstreckt sich von 501 bis 1.000 kW. Die spezifischen Investitionskosten betragen dabei minimal 96 €/kW bzw. maximal 467 €/kW (Median: 143 €/kW). Die spezifischen Investitionskosten in der Leistungsklasse von 1.001 bis 5.000 kW reichen von 178 bis 498 €/kW (Median: 285 €/kW). Auffallend ist, dass die spezifischen Investitionskosten nicht zwangsläufig mit zunehmender Leistung fallen. Dies resultiert aus der bei Leistungen über etwa 1 MW aufwendigeren Anlagentechnik. Solche Anlagen verfügen über eine automatische Entaschung und werden teilweise als Rostfeuerungen ausgeführt, die mit höheren Kosten als z. B. Unterschubfeuerungen verbunden sind.

Bei höheren Feuerungswärmeleistungen wirkt sich die aufwendigere Entstaubung (meist Elektro- oder Gewebefilter anstelle oder zusätzlich zum Multizyklon) kostensteigernd aus. Darüber hinaus werden bei größeren Leistungen die Kessel teil-

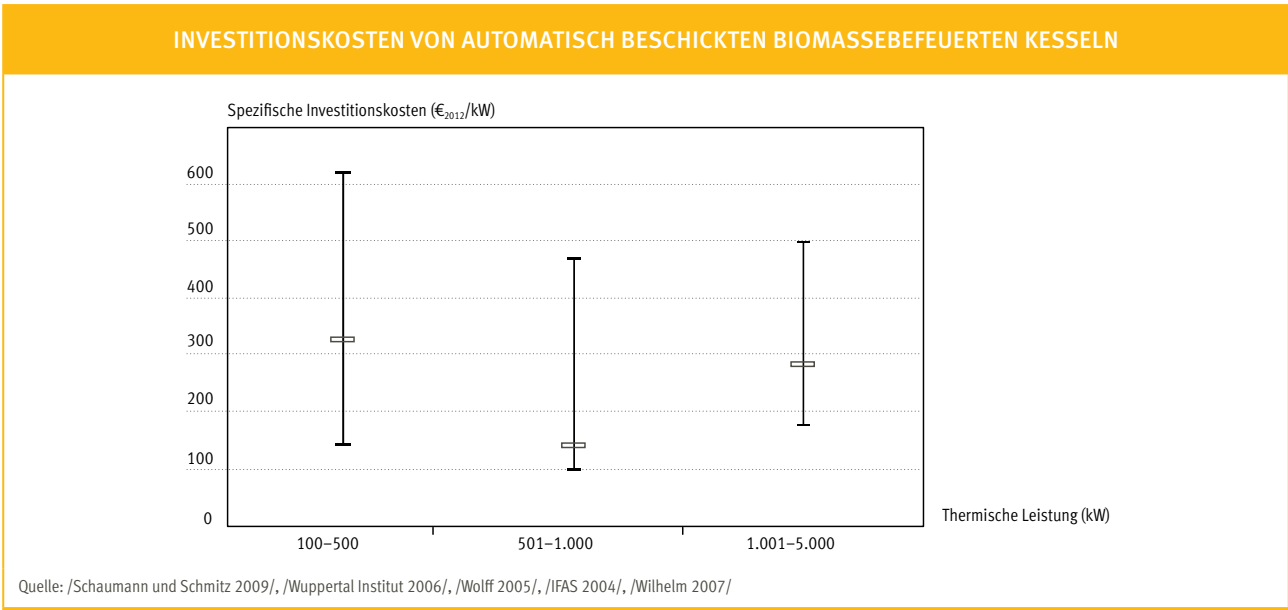


Abb. 5.1: Spezifische Investitionskosten von automatisch beschickten biomassebefeuerten Kesseln, fertig montiert, einschließlich Beschickung, Entaschung, Luft- und Rauchgassystem und Rauchgasreinigung

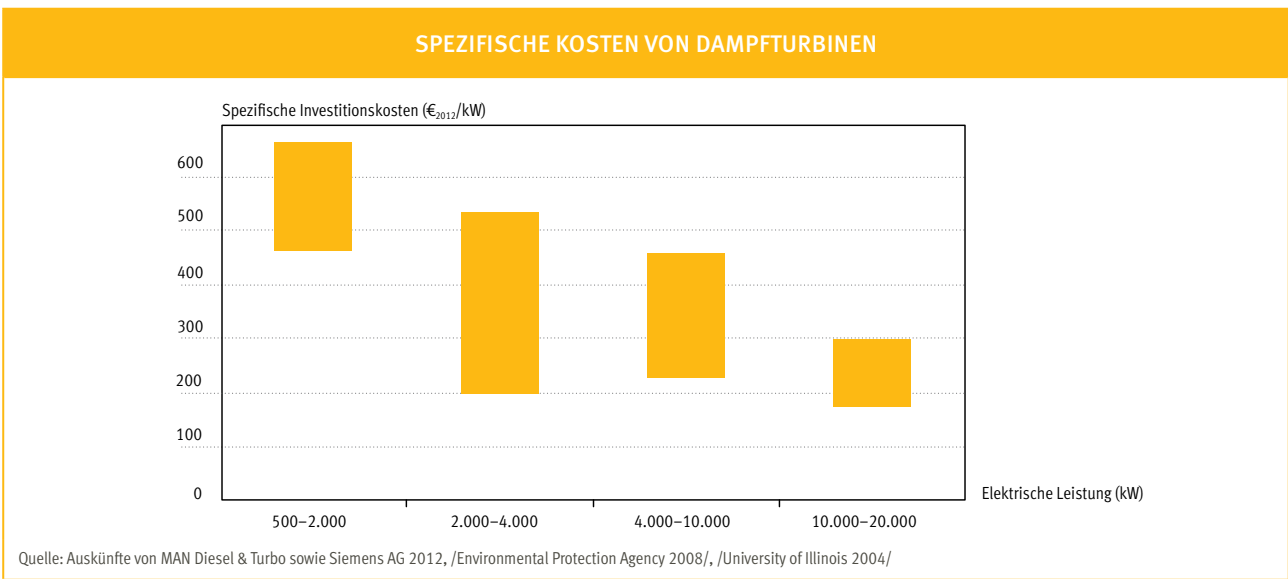


Abb. 5.2: Spezifische Kosten (pro kW_e) von Dampfturbinen inkl. Generator, Steuerung, Getriebe

weise zur Dampferzeugung (für Prozesswärme oder in KWK-Anlagen) genutzt, was zu höheren Kosten gegenüber der Warmwassererzeugung führt. Tendenziell gilt:

der untere Wert der in Abb. 5.1 aufgezeigten Kosten-Bandbreite eher für

- den oberen Wert des Leistungsbereichs,
 - den Brennstoff Holz,
 - einen Kessel zur Warmwassererzeugung,
- der obere Wert der Kosten-Bandbreite eher für
- den unteren Wert des Leistungsbereichs,
 - den Brennstoff Halmgüter,
 - einen Kessel zur Dampferzeugung.

Abhängig von den Anforderungen an den Reststaubgehalt des Rauchgases können unterschiedliche Entstaubungsanlagen (z.B. Multizyklon, Gewebe-, Elektrofilter und Rauchgaskon-

densation) zum Einsatz kommen (vgl. Kapitel 3.2.8). Das Zyklonverfahren (auch Fliehkraftabscheidung genannt) hat den Vorteil, dass der Aufbau einfach ist und die Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu anderen Verfahren geringer sind /Schmidt 2007/. Deswegen werden in Holzverbrennungsanlagen in der Regel Zyklonverfahren eingesetzt, wenn die Staubgrenzen eingehalten werden können /Nussbaumer 2009/. Aufgrund des vergleichsweise hohen Reststaubgehalts können jedoch Multizyklone alleine lediglich für Anlagen kleiner Leistung (bis maximal 1 MW) eingesetzt werden, bei denen nach 1. BImSchV 2010 (vgl. Kapitel 4) nur ein Staubgrenzwert von 100 mg/Nm³ einzuhalten ist. Dieses Phänomen erklärt auch, warum die Kosten in der Abb. 5.1 ab einer Leistung von 1 MW deutlich ansteigen.

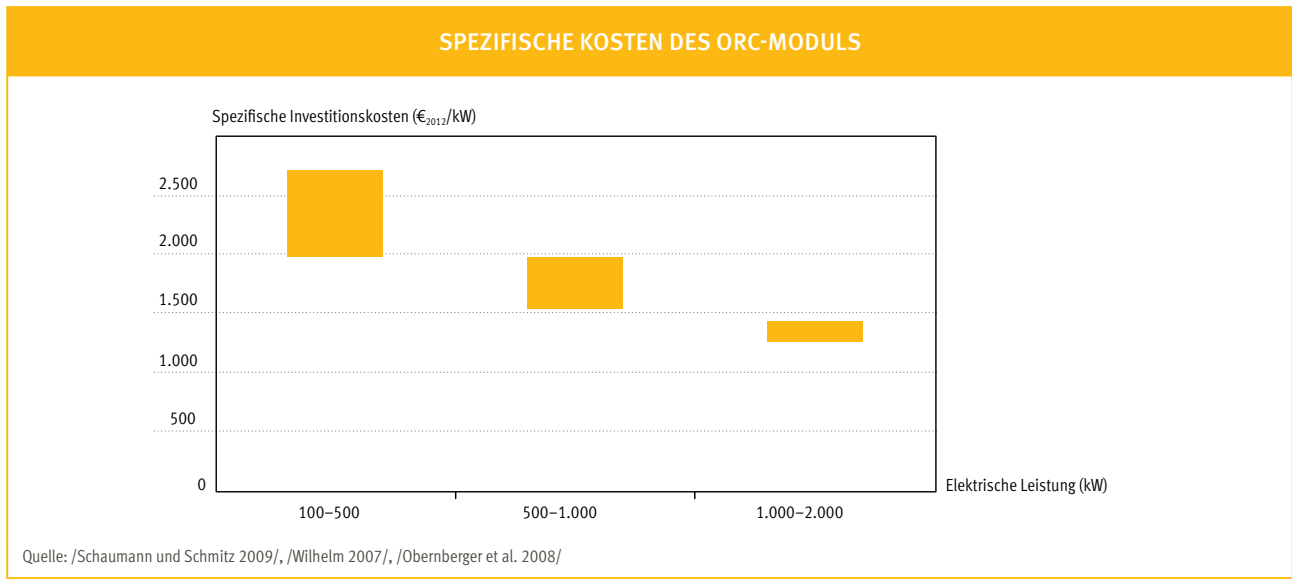


Abb. 5.3: Spezifische Kosten des ORC-Moduls ohne Kessel, Installation und Gebäude

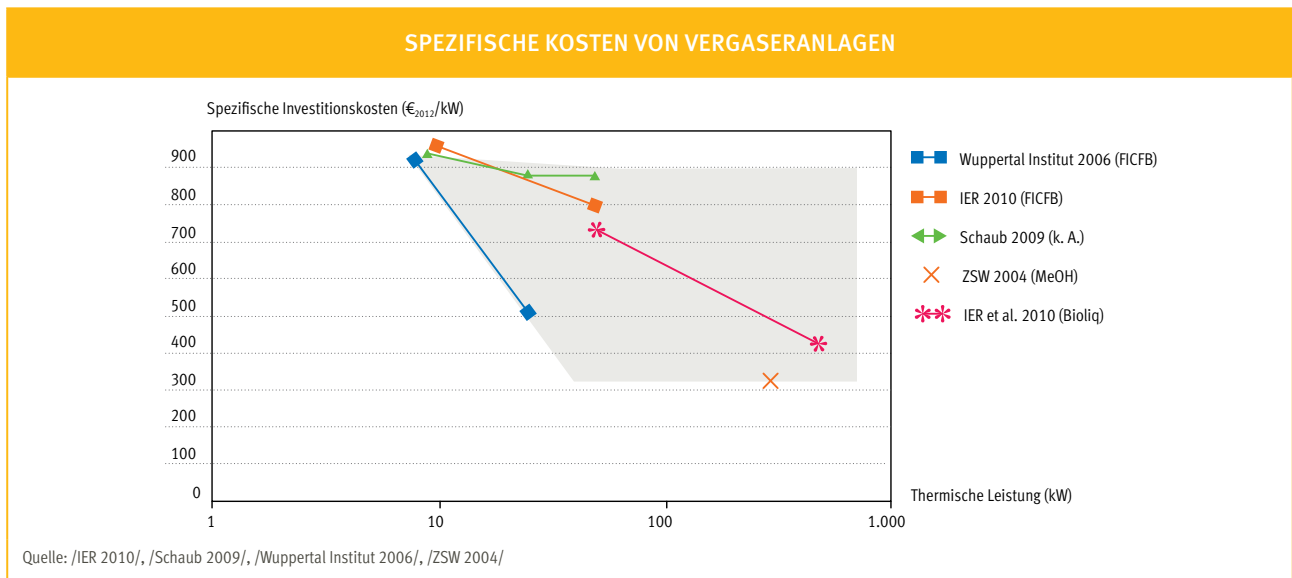


Abb. 5.4: Spezifische Kosten von Vergaseranlagen inkl. Teerreformierung ohne BHKW

Dampfturbinen

Bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ist normalerweise nach dem Biomassekessel die Dampfturbine die kostenintensivste maschinentechnische Komponente. Werte für deren spezifische Kosten sind in der Abb. 5.2 aufgeführt. Im Leistungsbereich von 500 bis 2.000 kW_{el} belaufen sich die spezifischen Investitionskosten auf 455 bis 666 €/kW. In den höheren Leistungsklassen von 2.000 bis 4.000 kW_{el} bzw. von 4.000 bis 10.000 kW_{el} beträgt die Bandbreite der spezifischen Investitionskosten noch 197 bis 535 €/kW bzw. 230 bis 459 €/kW.

Die geringe Abnahme der spezifischen Kosten mit zunehmender Leistung im Bereich 2 MW bis 10 MW resultiert aus dem Umstand, dass oberhalb von etwa 5 MW zunehmend Entnahme-Kondensationsturbinen anstelle reiner Gegendruckturbinen eingesetzt werden. Weiterhin handelt es sich bei den größeren Turbinen um mehrstufige (anstelle einstufiger) Ma-

schinen, die mit höheren Kosten, dafür aber auch mit höheren Wirkungsgraden verbunden sind.

ORC-Anlage

Das ORC-(Organic-Rankine-Cycle-)Modul kostet zwischen 1.300 und 2.800 €/kW_{el}, dies entspricht etwa dem 2 bis 6-Fachen der Kosten einer klassischen Dampfturbine (siehe Abb. 5.3). Diese im Vergleich hohen Kosten könnten einer verstärkten Nutzung entgegenstehen. Der Vorteil der ORC-Technologie ist jedoch, dass man auch aus Niedertemperaturen Strom generieren kann, da die Siedetemperatur der ORC-Flüssigkeit niedriger ist als bei Wasser. Deswegen sind ORC-Anlagen u. a. für die Abwärmenutzung geeignet.

Vergaseranlage

Obwohl sich zurzeit viele verschiedene Vergasertypen in der

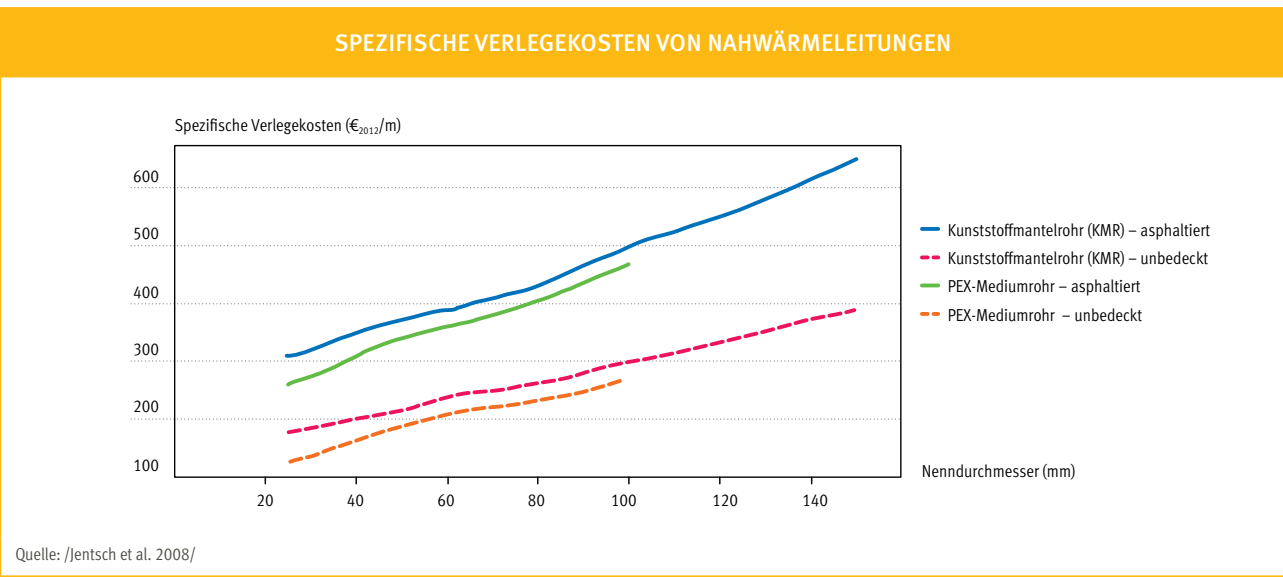


Abb. 5.5: Richtwerte für die spezifischen Verlegekosten von Nahwärmeleitungen

Weiterentwicklungsphase (z. B. Bioliq®) und Demonstrationsphase (z. B. Güssing®) befinden, existieren noch keine kommerziellen Vergaseranlagen (Stand 2012). Der Güssingvergaser (8 MW_{th}) hat spezifische Investitionskosten von rund 930 €/kW für die Gesamtanlage inkl. Teerreformierung, aber ohne BHKW (Abb. 5.4). Aufgrund des Mangels an belastbaren Daten beruhen die Kostenangaben für Anlagen größer als 8 MW thermische Leistung auf Schätzungen aus der Literatur, was eine höhere Unsicherheit und damit auch eine höhere Preisbandbreite mit sich bringt. Die entsprechenden Schätzungen für größere Vergaser sind ebenfalls in Abbildung 5.4 dargestellt.

5.1.3 Elektro- und Leittechnik der Energieerzeugung

Die Kosten der Elektro- und Leittechnik betreffen zunächst die gesamte elektrotechnische Anbindung der maschinentechnischen Systeme entsprechend der Beschreibung im Kapitel 3.4. Weiterhin beinhaltet diese Kostengruppe die übergeordnete Leittechnik, während die erforderliche Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik einzelner Komponenten üblicherweise im Lieferumfang des Komponentenlieferanten enthalten ist und daher bei den Kosten der Maschinentechnik berücksichtigt wird.

Die Kosten der Elektro- und Leittechnik sind sehr stark von der Anlagengröße und deren Komplexität, dem gewünschten Automatisierungsgrad und von individuellen Randbedingungen wie der vorhandenen elektrotechnischen Infrastruktur abhängig. Daher ist die Angabe von spezifischen Werten für diese Kosten mit großen Unsicherheiten verbunden. Für erste grobe Schätzungen können die Kosten der Elektro- und Leittechnik mit etwa 10 bis 20 % der Kosten der Maschinentechnik angesetzt werden.

5.1.4 Wärmeverteilung

Für die Wärmeverteilung fallen außerhalb der Gebäudegrenzen des Heiz(kraft)werks Kosten für das Nahwärmenetz sowie für die Hausstationen innerhalb der Gebäude der Wärmeverbraucher an (vgl. Kapitel 3.2.7). Richtwerte für die vollständigen Verlegekosten von Nahwärmeleitungen einschließlich Rohrlie-

ferung, Montage und Tiefbau sind in der Abbildung 5.5 in Abhängigkeit vom Nenndurchmesser (entspricht in etwa dem lichten Durchmesser in mm) und dem gewählten Verlegeverfahren dargestellt. Da ein wesentlicher Anteil der Verlegekosten (etwa 40 bis 60 %) durch den Tiefbau bestimmt ist, können sich aufgrund örtlicher Verhältnisse durchaus große Abweichungen von den dargestellten Werten ergeben.

Für die Hausstationen (häufig auch als Wärmeübergabestationen bezeichnet) können die leistungsabhängigen Richtpreise aus den Abbildungen 5.6 bzw. 5.7 entnommen werden. Die angegebenen Kosten sind als Summenangabe für die direkt angeschlossene Hausstation (mit und ohne Anschlusskosten, bestehend aus kundenseitiger Hauszentrale und Übergabestation des Nahwärmenetzbetreibers) zu verstehen. Aufgrund des zusätzlichen Wärmetauschers ergeben sich bei den sogenannten indirekten Hausstationen um etwa 10 bis 20 % höhere spezifische Kosten. Sofern ein Teil der Kosten der Wärmeverteilung in Form einmaliger Baukostenzuschüsse und/oder Hausanschlusskosten von den Hausbesitzern erhoben wird, sind diese von den Investitionskosten abzuziehen bzw. entsprechend auf der Einnahmenseite zu berücksichtigen.

5.1.5 Sonstige Anschaffungsausgaben

Die sonstigen Anschaffungsausgaben umfassen die Nebenkosten, die Vor-/Mehrwertsteuer sowie Bauzeitinsen und Kosten für Unvorhergesehenes.

Nebenkosten

Die Nebenkosten stellen die Kosten für die Planung, für Gutachten, Abnahmen und dergleichen sowie für die Bauleitung dar. Die Kosten für die Planung und Bauleitung, die hierbei den größten Anteil haben, können – falls keine Erfahrungswerte oder entsprechende Angebote vorliegen – auf der Grundlage der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure /HOAI 2009/ ermittelt werden. Für eine erste Schätzung können die Nebenkosten durch einen pauschalen Zuschlag von 10 bis 15 % (abhängig von der Leistung und der Komplexität der An-

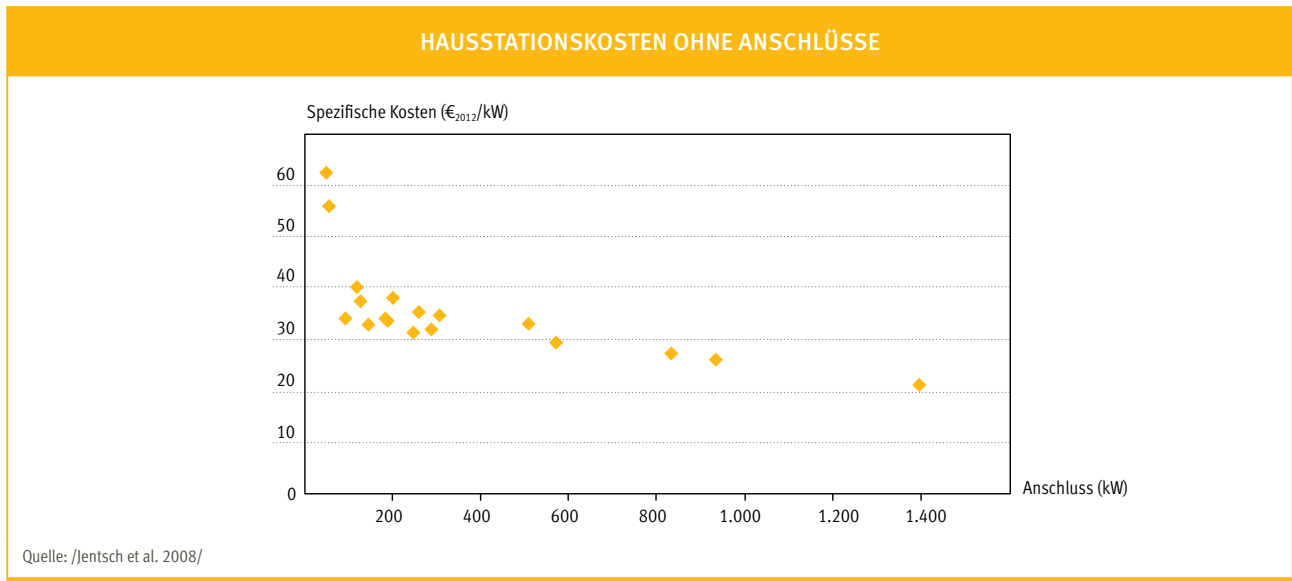


Abb. 5.6: Hausstationskosten ohne Anschlüsse (d. h. Rohrleitung vom Verteilsystem bis zum Hausanschluss)

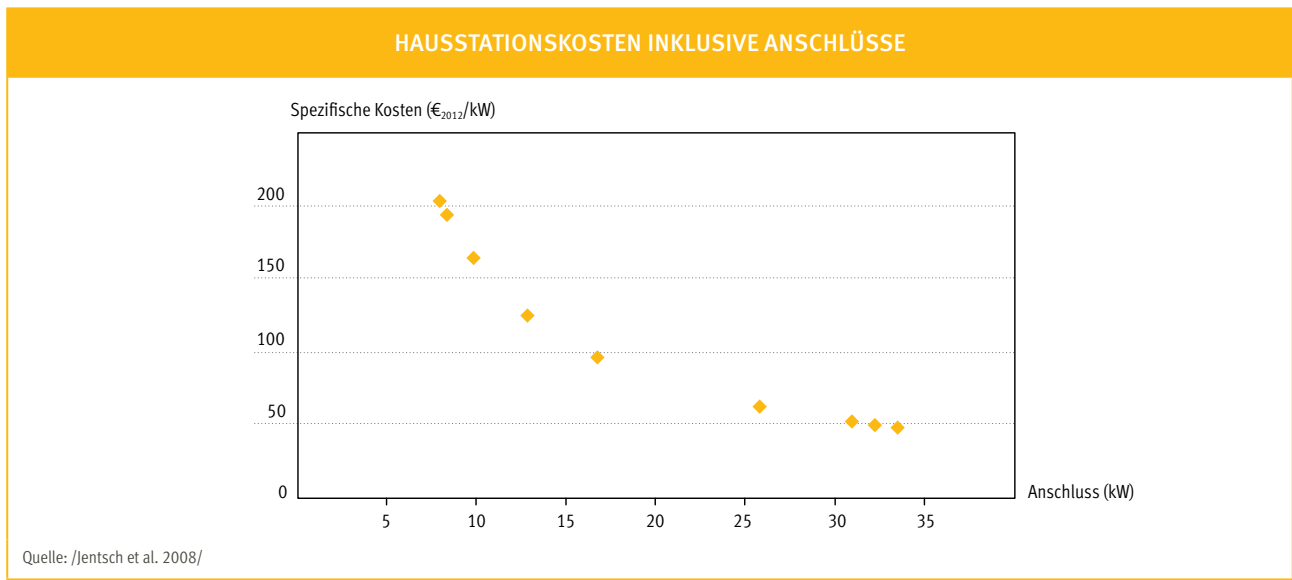


Abb. 5.7: Hausstationskosten inklusive Anschlüsse (d. h. Rohrleitung vom Verteilsystem bis zum Hausanschluss)

lage) auf die Netto-Investitionskosten berücksichtigt werden. Dies beinhaltet auch die Planungskosten für die Bautechnik (vgl. Pos. 700 nach DIN 276-1:2008-12).

Vorsteuer/Mehrwertsteuer

Die Berücksichtigung der Vorsteuer/Mehrwertsteuer ist beim Großteil der Investoren nicht erforderlich. So kann die Mehrwertsteuer bei Unternehmen, die zum Vorsteuerabzug berechtigt sind, als „Durchlaufposten“ (erhaltene und zu zahlende Umsatzsteuer gleichen sich in etwa aus) betrachtet werden, der damit praktisch keinen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ausübt und somit nicht explizit berücksichtigt werden muss. Lediglich im Falle von Investoren, die zwar umsatzsteuerpflichtig, jedoch nicht vorsteuerabzugsberechtigt sind (z. B. Privatpersonen, Kommunen, Zweckverbände), ist eine explizite Miteinbeziehung der Mehrwertsteuer erforderlich.

Bauzeitinsen

Die Bruttoinvestitionen beinhalten neben den oben genannten Kostengruppen zusätzlich Bauzeitinsen. Diese stellen die Zinsbelastungen aus der erforderlichen Verfügbarkeit von Kapital in der Planungs- und Bauphase dar und berücksichtigen, dass die Bezahlung der Anlagenkomponenten üblicherweise in verschiedenen festgelegten Raten von der Bestellung bis zur Inbetriebnahme erfolgt. Als Richtwert kann für Bioenergieanlagen mit einer Leistung von 5 bis 20 MW_{th} und Planungs- und Bauzeiten von ein bis zwei Jahren mit Bauzeitinsen von etwa 5 % bezogen auf die Nettoinvestitionen gerechnet werden. Die Zinssätze können entsprechend der jeweiligen Marktsituation jedoch von diesem Wert abweichen. Bei Anlagen mit einer Leistung kleiner 5 MW sind dagegen die Bauzeitinsen geringer und damit – für erste Kostenschätzungen – vernachlässigbar.

Kosten für Unvorhergesehenes

Besonders in den ersten Phasen eines Vorhabens sind nicht alle Anschaffungsausgaben absehbar. Daher empfiehlt es sich, Kosten für Unvorhergesehenes durch einen Zuschlag von 5 bis 10 % auf die Netto-Investitionskosten zu berücksichtigen.

5.2 Betriebskosten von Bioenergieanlagen

Bei Biomasseheiz(kraft)werken fallen üblicherweise folgende Betriebskosten an:

- Brennstoffkosten,
- Kosten für Wartung und Instandhaltung,
- Personalkosten,
- Kosten für Betriebsmittel (Zusatzwasser, Strom etc.) sowie zur Ascheentsorgung,
- Kosten für Versicherungen und Steuern.

In Einzelfällen können daneben auch weitere Betriebskosten wie Pachtkosten für das Grundstück oder Verwaltungskosten (z. B. im Falle einer Betreibergesellschaft eines Nahwärmesystems) anfallen.

Im Folgenden werden die Betriebskosten mit Ausnahme der Brennstoffkosten detailliert beschrieben. Aufgrund der Sonderstellung der Brennstoffe bei Bioenergieanlagen werden deren Kosten und Preise in den Kapiteln 5.3 und 5.4 separat betrachtet.

5.2.1 Kosten für Wartung und Instandhaltung

Diese Kostengruppe umfasst alle Aufwendungen für Wartungs-, Reparatur- oder Instandhaltungsmaßnahmen mit Ausnahme der Personalkosten des eigenen Betriebspersonals (siehe unten). In der Regel sind diese Kosten nicht konstant, sondern starken jährlichen Schwankungen (abhängig von Wartungszyklen etc.) unterworfen.

Für Kostenschätzungen können für diese Aufwendungen Durchschnittswerte über die gesamte Lebensdauer der Anlage angesetzt werden, die sich anteilig aus den Investitionskosten (Brutto-Investitionskosten ohne MwSt.) ergeben. Erfahrungswerte für die prozentualen Anteile in Anlehnung an die Richtlinie VDI 6025 „Betriebswirtschaftliche Berechnungsverfahren für Investitionsgüter und Anlagen, Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren“ /VDI 6025 1996/ betragen:

Bautechnik der Energieerzeugung	1,0%/a der Investitionskosten,
Maschinentechnik der Energieerzeugung	2,0%/a der Investitionskosten,
Elektro- und Leittechnik	1,5%/a der Investitionskosten,
Nahwärmenetz	2,0%/a der Investitionskosten.

5.2.2 Personalkosten

Die Kosten für die technische und kaufmännische Betriebsführung einer Bioenergieanlage sind in erster Linie vom Personalbedarf abhängig, der dem Kapitel 6.7 zu entnehmen ist. Für die spezifischen Personalkosten kann – falls diese wie bei neu zu gründenden Betreibergesellschaften nicht für den individuellen Fall bekannt sind – ein Richtwert von 25 € pro Stunde (Annahme Jahresgehalt von 44.000 €/a) für Angestellte und 50 € pro Stunde (Annahme Jahresgehalt von 88.000 €/a) für Anlagen-

betriebsführer angesetzt werden. Auch in Bezug auf das regional in Deutschland teilweise sehr unterschiedliche Lohn- und Gehaltsniveau sind die Zahlen als Durchschnittswerte zu verstehen. Angaben zum spezifischen Personalbedarf zur technischen Betriebsführung finden sich in Kapitel 6.7 (Tabelle 6.23).

5.2.3 Kosten für Betriebsmittel und Ascheentsorgung

Diese Kostenposition betrifft die Aufwendungen für Betriebsmittel, insbesondere für

- Zusatzwasser zur Deckung der Wasserverluste vorwiegend von Wasser-Dampf-Kreisläufen durch Absalzung und Abschlämzung der Kesselanlage und nach Wartungsarbeiten an den Wasserkreisläufen,
- Strom zur Deckung des elektrischen Eigenbedarfs (insbesondere für Netzumwälzpumpen, Gebläse), der – falls keine Eigenstromerzeugung erfolgt – im Regelfall aus dem Netz der öffentlichen Versorgung bezogen wird,
- Dosiermittel der Wasseraufbereitung (falls erforderlich).

Die Betriebsmittelkosten ergeben sich aus den erforderlichen jährlichen Mengen und deren individuellen preislichen Konditionen, die von dem jeweiligen voraussichtlichen „Lieferanten“ (z. B. Stromversorger) zu erfragen sind.

Neben den Betriebsmittelkosten fallen Kosten zur Ascheentsorgung an. Diese werden aus den jährlich anfallenden Aschemengen und den spezifischen Kosten für deren Verwertung bzw. Entsorgung ermittelt. Die Kosten zur Verwertung bzw. Entsorgung der Asche sind stark von der Verwertungsart (vgl. Kapitel 3.2.9) sowie den regional sehr unterschiedlichen preislichen Konditionen abhängig.

Für überschlägige Abschätzungen können die Kosten für Betriebsmittel sowie zur Ascheentsorgung erfahrungsgemäß mit insgesamt 0,1 bis 0,5 %/a der Investitionskosten (Brutto-Investitionskosten ohne MwSt.) angesetzt werden.

5.2.4 Kosten für Steuern und Versicherungen

Bei einer Investition in eine Bioenergieanlage sind in der Regel Substanzsteuern, Ertragssteuern und die Mehrwertsteuer zu berücksichtigen. Üblicherweise werden die Substanzsteuern (Vermögens- und Gewerbesteuer) als mittlere jährliche Belastungen angesetzt.

Zu den Ertragssteuern (Körperschafts-, Gewerbeertragssteuern) ist anzumerken, dass deren exakte Ermittlung nicht unproblematisch ist. So werden diese auf der Grundlage des Gesamtergebnisses des Investors bemessen. Das bedeutet, dass für die Ertragssteuern nicht nur die Zahlungsströme des betrachteten Bioenergie-Vorhabens, sondern zudem Zahlungsströme durch die Aktivitäten sonstiger Unternehmensbereiche zu berücksichtigen sind. Daher empfiehlt sich bei groben Wirtschaftlichkeitsrechnungen, auf eine Erfassung der Ertragssteuern zu verzichten, das heißt, eine Rechnung vor Gewinnsteuern durchzuführen. Sollte dies – z. B. in Fällen mit besonderen steuerlichen Konditionen – nicht ausreichen, so sind die Ertragssteuern zweckmäßigerweise über eine parallel zu führende Gewinn- und Verlust-Betrachtung unter Hinzuziehung eines Steuerexperten zu ermitteln.

Auch die für die Ausgaben des laufenden Betriebes anfallende Mehrwertsteuer sollte im Falle von umsatzsteuerpflichtigen

tigen und nicht vorsteuerabzugsfähigen Betreibern nicht in diese Kostenposition mit einbezogen werden. Hierfür empfiehlt sich vielmehr, sie direkt den einzelnen Kostengruppen zuzuschlagen.

Die Versicherungskosten umfassen die Aufwendungen für die Haftpflicht-, die Maschinen- und für sonstige Versicherungen (Versicherung gegen Elementarschäden etc.).

Die so definierten Kosten für Steuern und Versicherungen (die derzeit lediglich die Versicherungskosten umfassen, da keine Substanzsteuern erhoben werden) können in erster Näherung mit etwa 0,5 bis 1 %/a der Investitionskosten (Brutto-Investitionskosten ohne MwSt.) abgeschätzt werden.

5.3 Brennstoffkosten (frei Anlage)

Ziel der folgenden Ausführungen ist die Darstellung der Brennstoffkosten frei Konversionsanlage. Es werden getrennt für die Brennstoffe Waldhackschnitzel, Kurzumtriebsplanta- gen-(KUP-)Hackschnitzel, Strohballen und Miscanthusballen jeweils die Kosten für Anbau (soweit erforderlich), Ernte und Bergung sowie Transport und Lagerung ermittelt. Abschließend werden durch Addition der einzelnen Kostenblöcke die Brennstoffkosten der verschiedenen Bioenergieträger frei Konversi- onsanlage bestimmt.

5.3.1 Datenbasis und Grundannahmen

Zunächst werden die für die Berechnungen der Bereitstellungs- bzw. Brennstoffkosten verwendeten wichtigsten Grunddaten

und Annahmen vorgestellt. Die berechneten Bereitstellungsket- ten werden in Abbildung 5.8 präsentiert.

Zur Berechnung der Brennstoffkosten frei Anlage werden die jährlichen Bereitstellungskosten für die Biobrennstoffe er- mittelt. Hierbei wird ein Vollkostenansatz zugrunde gelegt, d. h., es werden sämtliche Kosten für Maschinen, Personal, Betriebs- mittel, Pacht etc. berücksichtigt, die für Anbau, Ernte, Transport, Lagerung, Aufbereitung etc. der Brennstoffe erforderlich sind. Die jährlichen Kosten für Anbau, Ernte, Transport, Lagerung und Aufbereitung werden aufsummiert und ergeben die Brenn- stoffkosten frei Anlage. Während im Falle der Bereitstellung von Waldrestholz und Stroh jeweils jährliche Kosten verfügbar sind, fallen bei mehrjährigen Kulturen wie Kurzumtriebsplanta- genholz und Miscanthus Kosten für die Anlage und Rodung der Plantage sowie die Ernte in mehrjährigen Zyklen an. Hier werden entspre- chende Umrechnungen in jährliche Kosten anhand der Annuitä- tenmethode (vgl. Kapitel 6.2.2) vorgenommen.

Die wesentlichen Annahmen und die Datenbasis hierzu wer- den nachfolgend erläutert.

Investitions- und Maschinenkosten

Die Einbeziehung erforderlicher Investitionskosten für Lager (z. B. neu errichtetes Gebäude, befestigter Untergrund) etc. erfolgt nach der Annuitätenmethode, mit der die meist zu Be- ginn eines Vorhabens anfallenden Investitionen auf die einzel- nen Nutzungsjahre umgelegt werden. Fallen bestimmte Kosten erst am Ende der Nutzungsdauer an (z. B. Rodung einer Pap- pel-Kurzumtriebsplantage), werden diese annuitätisch abge- zinst und auf die vorangegangenen Nutzungsjahre verteilt. Für

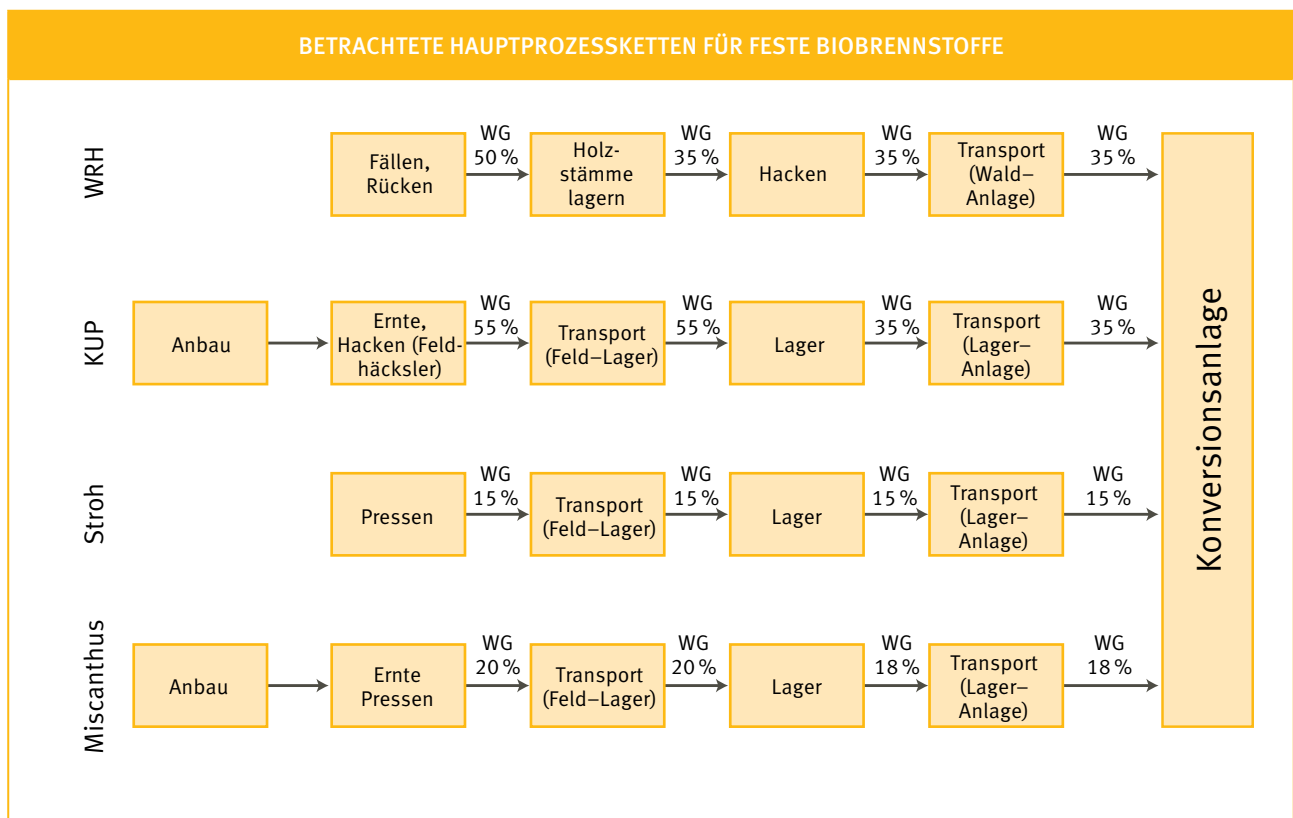


Abb. 5.8: Betrachtete Hauptprozessketten zur Bereitstellung von festen Biobrennstoffen (WRH: Waldrestholz, KUP: Kurzumtriebsplanta- genholz, WG: Wassergehalt)

Angaben zu Maschinenkosten wurde in der Regel auf Standards und Auflistungen bzw. Datensammlungen des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft KTBL zurückgegriffen. Die Angaben zu jährlichen Maschinenkosten enthalten z. B. Abschreibung der Maschinen, Betriebsstoffe, Reparaturen etc. /KTBL 2012/. Der Zinssatz wird in Anlehnung an Berechnungen des KTBL für landwirtschaftliche Investitionen auf 4 % festgelegt /KTBL 2010/. Bei Abhängigkeiten der Kostensätze von einer Schlaggröße wurde von einer Standardflächengröße von 5 ha ausgegangen.

Lohnkosten

Als Basis für die Lohnkosten wird in der Regel nach /KTBL 2010/ der Bruttotarif-Ecklohn für Traktorfahrer einschließlich Traktorzuschlag verwendet (10,37 €/h), zuzüglich der Lohnnebenkosten von 49 % ergibt sich ein Stundenmittel von 15,45 €/h. Bei den Kostensätzen für Spezialmaschinen sind die Lohnkosten teilweise bereits enthalten, ansonsten wird für Spezialmaschinen der gleiche Stundensatz von 15,45 €/h angenommen.

Düngung und Düngemittel

Für ackerbaulich erzeugte Festbrennstoffe wie z. B. KUP ist prinzipiell eine Rückführung von Nährstoffen über die Asche möglich. Allerdings können grundsätzlich keine Flugaschen ausgebracht werden und auch für die Düngung mit Rostasche gelten auf Äckern sehr strenge Auflagen (/BLU 2009/, siehe Kapitel 3.2.9). Außerdem wird Stickstoff nicht in die Asche eingebunden, sodass dieser Nährstoff auf jeden Fall durch Düngung ersetzt werden muss. Für die vorliegenden Berechnungen wird deshalb davon ausgegangen, dass alle entzogenen Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor und Kalium) über eine mineralische Düngung ersetzt werden. Die Höhe der Düngung richtet sich damit nach dem Entzug (/KTBL 2002/, /Hartmann et al. 2000/), für Stickstoff wird ein 20prozentiger Mobilitätszuschlag angesetzt. Die Preise für Düngemittel entsprechen Standardkosten nach /KTBL 2010/.

Saatgut und Pflanzenschutzmittel

Für die Kosten von Saatgut wurden Standardwerte basierend auf /KTBL 2010/ und für Pflanzenschutzmittelwerte basierend auf /BayWa 2009/ verwendet.

Dieselpreis

Es wurde für die Berechnungen ein Dieselpreis von 0,87 €/l angenommen. Dieser lehnt sich an den Rohölpreis von 98 \$₂₀₁₂/bbl an. Der Dieselpreis bezieht sich auf den sog. Agrardiesel (d. h. den Dieseldieselkraftstoff, der in der Land- und Forstwirtschaft genutzt wird). Im Dieselpreis sind Kosten für Transport, Lagerhaltung, gesetzliche Bevorratung, Verwaltung, Vertrieb sowie Agrardieselsteuer enthalten (Mehrwertsteuer wurde nicht angerechnet).

Transporte

Für die Transporte zum Lager bzw. zur Anlage (vgl. Abb. 5.8) werden zum Teil landwirtschaftliche Gespanne, zum Teil Lkw eingesetzt. Die Kosten für landwirtschaftliche Transportmittel werden nach landwirtschaftlichen Verrechnungssätzen berechnet /KTBL 2010/. Hinsichtlich der Transportentfernungen werden folgende Annahmen getroffen: Für die Entfernung vom

Feld bis zum Hof/Zwischenlager werden 3 km, davon 1 km Feldweg angenommen. Für den Transport vom Hof/Lager zur Feuerungsanlage wird als Basis eine Entfernung von 20 km zugrunde gelegt. Um den Einfluss der Transportentfernung auf die Brennstoffkosten frei Anlage ermitteln zu können (siehe Kapitel 5.3.7), werden variable Entfernungen von 5 bis 70 km zugrunde gelegt. Die Lkw-Kosten werden in Anlehnung an Kalkulationsdaten der Kostensätze Gütertransport Straße berechnet /KGS 2011/.

Lagerung

Für die Lagerung von festen Biobrennstoffen kommen sehr viele Varianten infrage. Es kann unterschieden werden zwischen direkter Nutzung ohne Lagerung (z. B. Hackschnitzel), kostenneutraler Lagerung von Zwischenprodukten (ungehacktes Holz in Bestand/Rückegasse/Waldstraße), offene Lagerung am Feldrand/Hoffläche mit oder ohne Folienabdeckung (Stroh, Miscanthus, Hackschnitzel) sowie Lagerung in Altgebäuden oder in neu errichteten Bergehallen (alle Brennstoffe). Bei Altgebäuden wurden keine Investitionskosten angesetzt, jedoch jährliche Unterhalts- und Versicherungskosten (1,5%/a) berücksichtigt, die sich auf einen fiktiven Preis für einen Neubau in Massivbauweise beziehen und 53 € pro Kubikmeter Lagervolumen betragen. Für neue Hallen werden einfache landwirtschaftliche Bergehallen in Rundholzverbinderbauweise /LTV 2002/ angenommen, deren spezifische Investitionskosten 21 €/m³ betragen (in Anlehnung an /Hartmann 1997/). Als Lagerraumgröße wird immer von Abmessungen von 16 × 7 × 4,8 m ausgegangen. Für Ballen wird eine Lagerraumausnutzung von 90 % vorgegeben, für Schüttgutlagerung wird in massiven Altgebäuden von 80 %, in Rundholzhallen von 50 % Lagerraumausnutzung ausgegangen. Bei Lagerung im Freien werden ebenfalls eine Grundfläche von 16 × 7 m und Schütthöhen wie in Rundholzhallen angenommen.

Lagerverluste durch Veratmung über Abbauprozesse durch Pilze und Bakterien oder durch Mäusefraß unterscheiden sich je nach Brennstoff, Lagertechnik und Lagerdauer. Angaben hierzu finden sich im Kapitel Bereitstellungskosten für Waldhackschnitzel bis Bereitstellungskosten für Miscanthus. Dort werden auch monetäre Bewertungen der Lagerverluste angeführt, um einen Vergleich der unterschiedlichen Lagertechniken zu ermöglichen. Die Kosten der Lagerverluste werden berechnet, indem die jeweiligen energetischen Verluste mit den Kosten multipliziert werden, die bis zur Einlagerung je Energieeinheit angefallen sind. Die energetischen Verluste sind geringer als die Trockenmasseverluste, wenn durch gleichzeitige Trocknungsprozesse der Heizwert des Brennstoffs steigt. Für die Berechnung der Brennstoffkosten frei Feuerungsanlage werden die auf diese Weise ermittelten Lagerverluste nicht direkt aufgeführt, da die Brennstoffkosten auf die angelieferte Menge bezogen werden. Durch den Bezug aller Kosten auf die letztlich angelieferte Menge sind aber auch alle anfallenden Verluste bereits enthalten.

Pacht

Bei dem gewählten Ansatz einer Vollkostenrechnung ist auch eine Verzinsung des Wertes für den Grund und Boden anzusetzen. Dafür wird hier ein realistischer Pachtzins in Höhe von

TAB. 5.2: FÜR DIE KOSTENRECHNUNGEN VERWENDETE KENNDATEN BIOGENER FESTBRENNSTOFFE

Parameter		Waldhackschnitzel	KUP-Hackschnitzel (Pappel)	Strohballen	Miscanthusballen
Wassergehalt bei Ernte (W_{Ernte})	%	50	55	15	20
Wassergehalt bei Lieferung, frei Anlage (W_{Liefern})	%	35	35	15	18
Heizwert wasserfrei ($H_{u(w)}$)	MJ/kg	18,7 (Fichte) 18,0 (Buche)	18,5	17,2	17,6
Heizwert bei Lieferung ($H_{u(w)}$)	MJ/kg	11,3 (Fichte) 10,8 (Buche)	11,2	14,3	14,0
Dichte Quaderballen	kg/m ³	–	–	150	150
Ballenvolumen	m ³	–	–	3,6	3,6
Ballengewicht	kg FM ^a	–	–	539	539
Schüttdichte TM ^b	kg/m ³	177 (Fichte) 280 (Buche)	160	–	–
Schüttdichte bei W_{Ernte}	kg/m ³	354 (Fichte) 560 (Buche)	356	–	–
Schüttdichte bei W_{Liefern}	kg/m ³	272 (Fichte) 431 (Buche)	246	–	–
Nährstoff- und Aschegehalte i. d. TM					
N ^c	kg/t	–	4,2	4,7	7,3
P ^d	kg/t	–	1,0	0,9	0,7
K ^e	kg/t	–	3,5	10,8	7,2
Aschegehalt	%	0,9	2,2	6,8	4,7

Quellen: /Hartmann 1997/, /Hartmann 2001/, /Hartmann et al. 2000/, /Idler et al. 2004/, /KTBL 2006/, /Kaltschmitt und Hartmann 2009/, /Kaltschmitt und Streicher 2008/, /Wittkopf et al. 2003/

^a Frischmasse

^b Trockenmasse

^c Stickstoff

^d Phosphor

^e Kalium

222 €/ha eingerechnet /BMELV 2008/. Dieser entspricht dem Durchschnittswert für Neuverpachtungen von Ackerland in Deutschland im Jahr 2007.

Gemein- und Festkosten

Im landwirtschaftlichen Betrieb fallen Gemein- und Festkosten wie z. B. Steuern, Versicherungen, Reparaturen, Abschreibungen etc. an, die nicht der jeweiligen Kulturart, sondern der gesamten bewirtschafteten Flächen zugeordnet werden müssen. Diese werden hier nach Standardverfahren angesetzt /KTBL 2010/. Im vorliegenden Fall wurde ein Marktfruchtbetrieb mit 150 ha unterstellt, für den sich die jährlichen Gemein- und Festkosten auf 179 € pro Hektar summieren.

Mehrwertsteuer

Die gesamten Berechnungsverfahren enthalten keine Mehrwertsteuer. Für den Endverbraucher sind deshalb beim Brennstoffbezug die entsprechenden Steuersätze anzusetzen. Diese betragen für Scheitholz und Holzpellets 7 %, für Festbrennstoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben 10,7 % und für Hackschnitzel 19 % (für Sägenebenprodukte 7 %) /RTS 2010/. Generell sollte jedoch beachtet werden, dass je nach Unternehmenskonstellation auch keine Mehrwertsteuer anfallen kann.

Flächenstilllegungsprämie

Die Flächenstilllegung wurde im Jahr 2009 EU-weit abgeschafft /EK 2008/. Deshalb sind für die hier durchgeführten Berechnungen keine Stilllegungsprämien berücksichtigt. Auch sonstige Beihilfen wie Betriebsprämien etc. wurden nicht einkalkuliert.

Brennstoffkenndaten

In den Berechnungen wird eine Reihe von Kenndaten zu chemisch-stofflichen und physikalischen Eigenschaften der biogenen Festbrennstoffe verwendet. Diese sind in Tabelle 5.2 zusammengestellt und stammen aus verschiedenen Quellen und Datenbanken: /Hartmann 1997/, /Hartmann 2001/, /Hartmann et al. 2000/, /Idler et al. 2004/, /Kaltschmitt und Hartmann 2009/, /Kaltschmitt und Streicher 2008/, /KTBL 2006/, /KTBL 2006/, /Wittkopf et al. 2003/.

5.3.2 Bereitstellungskosten für Waldhackschnitzel

Waldhackschnitzel werden aus Durchforstungsmaterial (Schwachholz) oder Waldrestholz (bei der Holzernte im Wald verbleibendes Restholz) gewonnen und gehören momentan zu den meisteingesetzten Brennstoffen in Biomasseheiz(kraft)werken /Eberhardinger et al. 2009/.

Bei der Ermittlung der Brennstoffkosten für Waldhackschnitzel aus Durchforstungsmaterial bzw. Waldrestholz werden

lediglich die Kosten für Ernte, Bergung, Lagerung und Transport berücksichtigt. Kosten der Waldbewirtschaftung wie z.B. Bestandesbegründung oder Düngung werden dem Hauptnutzungspfad (Nutz- oder Industrieholzproduktion) angelastet.

Ernte und Bergung

Für die Kostenermittlung der Waldhackschnitzel-Bereitstellung wurde weitgehend auf /Wittkopf 2005/ zurückgegriffen, der einen detaillierten Überblick über die Möglichkeiten und Varianten verschiedener Verfahren zur Hackschnitzelbereitstellung gibt. Die Verfahrenskosten der Hackschnitzelbereitstellung nach /Wittkopf 2005/ wurden hinsichtlich Lohnansatz, Inflationsrate und Dieselpreisen aktualisiert. Die Leistungsangaben der jeweiligen Prozessschritte (Srm/h) der Hackschnitzelbereitstellung werden nicht variiert.

Die Ernte von Waldhackschnitzeln umfasst im Wesentlichen das Fällen, Aufarbeiten (Entasten und Ablängen), Vorliefern, Rücken und Hacken des Holzes. Von Vorteil ist es, die Produktionsabschnitte Fällen, Rücken und Hacken zeitlich voneinander abzutrennen /Wittkopf 2005/, um eine Trocknung vor dem Hacken des Holzes zu ermöglichen.

Die derzeit praktizierten Ernteverfahren unterscheiden sich vor allem in ihrem Mechanisierungsgrad. Prinzipiell können die Verfahren in motormanuelle, teilmechanisierte und vollmechanisierte Verfahren eingeteilt werden. Derzeit sind die teilmechanisierten Verfahrensketten am weitesten verbreitet /Eberhardinger et al. 2009/. Die einzelnen Teilschritte können wiederum durch jeweils unterschiedliche Mechanisierungsgrade gekennzeichnet sein, häufig sind auch einzelne Produktionsabschnitte eng miteinander verknüpft, sodass sie einen gemeinsamen Arbeitsgang darstellen (z. B. beim Einsatz von Harvestern).

Nachfolgend werden neben den teilmechanisierten Verfahren auch vollmechanisierte Verfahren beispielhaft beschrieben und in den nachfolgenden Kostenrechnungen berücksichtigt (siehe Tabelle 5.3). Weitere Beispiele für Verfahren können /Wittkopf 2005/ entnommen werden.

Zur Berechnung der anfallenden Kosten wurden die Personalkosten einheitlich mit 15,45 € pro Stunde berechnet, ebenso der Stundensatz eines bäuerlichen Waldbesitzers. Bei voll-

mechanisierten Verfahren (Nr. 3 „Harvester“, siehe Tabelle 5.3), bei denen Arbeiten in der Regel an Unternehmer vergeben werden müssen, wurde ein höherer Lohn von 25,89 €/h angesetzt. Bei den Maschinenkosten wurde bei den jeweils eingesetzten Maschinen nach /Wittkopf 2005/ kalkuliert. Die Maschinenkosten wurden mit der Inflationsrate für das Jahr 2012 angepasst.

Tabelle 5.4 zeigt in einer Übersicht die ermittelten Bereitstellungskosten frei Waldstraße für die unterschiedenen Verfahren und für unterschiedliche Brusthöhendurchmesser (BHD) von Fichtenhackschnitzeln. Es zeigt sich, dass bei den teilmechanisierten Verfahren aufgrund der niedrigen Lohn- und Maschinenkosten bei geringen BHD günstigere Werte (ca. 13 €/Srm bei BHD von 15 cm) vorliegen. Die höchsten Kosten werden hier für das vollmechanisierte Erntesystem mit Harvester angegeben (ca. 15 €/Srm bei BHD von 15 cm).

Für alle Verfahren gilt gleichermaßen, dass die Kosten mit zunehmendem BHD sinken. Die teilmechanisierten Systeme schneiden v.a. bei niedrigen und mittleren BHD-Werten günstiger ab als vollmechanisierte Verfahren. Diese Werte müssen allerdings aufgrund relativ niedriger Leistungsangaben für den Harvester relativiert werden. Bei Brusthöhendurchmesser 20 cm schneiden die vollmechanisierten Verfahren im Vergleich zu den teilmechanisierten Verfahren besser ab.

Es zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit mit der Zunahme des Brusthöhendurchmessers steigt und dass die Leistungsfähigkeit eines Verfahrens umso größer ist, je stärker mechanisiert es ist. Zudem bietet sich auch die Möglichkeit, Energieholz als Koppelprodukt bereitzustellen /Wittkopf et al. 2003/, indem Kronenholz zur Hackschnitzelbereitstellung genutzt wird. Werden beispielsweise nachgelagert zur Rundholzernte Hackschnitzel aus Kronenholz bereitgestellt, liegen die Kosten je nach Kronenfuß zwischen 8 und 17 €/Srm.

Zu beachten ist, dass die Umrechnungen auf Tonnen und Heizwert für Fichtenhackschnitzel durchgeführt wurden. Für Laubholzhackschnitzel ergeben sich durch die höheren Schüttdichten um ca. 35 % günstigere Kosten pro Tonne bzw. Energieeinheit (siehe Tabelle 5.4).

Bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln kann allerdings nicht in allen Fällen auf das jeweils kostengünstigste

TAB. 5.3: VERFAHREN UND MASCHINENEINSATZ ZUR HACKSCHNITZELBEREITSTELLUNG AUS WALDRESTHOLZ

Nr.	1	2	3	4
Mechanisierungsgrad	teilmechanisiert	teilmechanisiert	vollmechanisiert	vollmechanisiert <i>Kronenholz</i>
Bezeichnung	„Seilschlepper“	„Rückewagen“	„Harvester“	„Rückewagen“
Maschineneinsatz für Arbeitsprozesse:				
Fällen	Motorsäge	Motorsäge	Harvester	entfällt ^a
Vorliefern	Seilschlepper	Seilschlepper		
Rücken und Transport zum Lagerplatz	Seilschlepper ^b	Kranrückewagen	Forwarder	Rückewagen ^c
Hacken (Waldstraße)	Anhängehacker	Anhängehacker	Großhacker	Großhacker

Quelle: /IER 2012/

^a nachgelagert zur Rundholzernte

^b gekoppeltes Verfahren

^c evtl. mit dem Forwarder bei größeren Hiebsflächen

TAB. 5.4: KOSTEN DER HACKSCHNITZELBEREITSTELLUNG (FICHTE) FREI WALDSTRASSE FÜR VERSCHIEDENE ERNTEVERFAHREN UND BRUSTHÖHENDURCHMESSER BZW. KRONENFUSS

Nr.	Bezeichnung		Kosten BHD 10 (Nr. 1, 2, 3) bzw. Kronenfuß 10	Kosten BHD 15 (Nr. 1, 2, 3) bzw. Kronenfuß 15	Kosten BHD 20 (Nr. 1, 2, 3) bzw. Kronenfuß 20	Lohnansatz (€/h)
1	teilmechanisiert Seilschlepper	€ ₂₀₁₂ /Srm	17,9	12,7	10,3	15,5
		€ ₂₀₁₂ /t FM _(35% WG)	65,8	46,8	37,9	
		€ ₂₀₁₂ /t TM	101,1	71,9	58,3	
		€ ₂₀₁₂ /GJ	5,8	4,1	3,4	
2	teilmechanisiert Rückewagen	€ ₂₀₁₂ /Srm	19,4	12,7	10,3	15,5
		€ ₂₀₁₂ /t FM _(35% WG)	71,2	46,8	37,7	
		€ ₂₀₁₂ /t TM	109,6	71,4	58,1	
		€ ₂₀₁₂ /GJ	6,3	4,1	3,3	
3	vollmechanisiert Harvester	€ ₂₀₁₂ /Srm	31,2	14,6	9,8	25,9
		€ ₂₀₁₂ /t FM _(35% WG)	114,6	53,7	35,9	
		€ ₂₀₁₂ /t TM	176,3	82,6	55,2	
		€ ₂₀₁₂ /GJ	10,1	4,8	3,2	
4	vollmechanisiert Kronen- holz Rückewagen	€ ₂₀₁₂ /Srm	17,1	10,3	8,1	15,5
		€ ₂₀₁₂ /t FM _(35% WG)	62,9	37,8	29,9	
		€ ₂₀₁₂ /t TM	96,8	58,2	46,0	
		€ ₂₀₁₂ /GJ	5,6	3,3	2,6	

Quelle: /IER 2012/

BHD: Brusthöhendurchmesser, Srm: Schüttraummeter, FM: Frischmasse, TM: Trockenmasse

Anmerkung:

Umrechnung: Fichtenhackschnitzel mit 35 % Wassergehalt, 272 kg/Srm und 11,2 MJ/kg

Trockenmasseverluste bei der Lagerung des ungehäckselten Waldrestholzes an der Waldstraße: 1 % TM (abgeschätzt nach /Gislerud 1985/, /Höldrich et al. 2006/).

Dieselpreis: entspricht dem Rohölpreinsniveau von 98,1 \$₂₀₁₂/bbl (vgl. Kapitel 5.3.1)

Verfahren zurückgegriffen werden. Je nach Einsatzort und Mengennachfrage werden deshalb unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen /Wittkopf et al. 2003/. Für Waldbesitzer mit geringer Waldfläche sind diejenigen Systeme besonders interessant, bei denen möglichst eigene, bereits vorhandene bzw. günstig über den landwirtschaftlichen Maschinenring beziehbare Technik eingesetzt werden kann. Sind jedoch hohe Leistungen verlangt und stehen entsprechend große Parzellen zur Verfügung, müssen höher mechanisierte Verfahren eingesetzt werden.

Lagerung

Auf eine Einlagerung von frischen Hackschnitzeln sollte, wann immer möglich, verzichtet werden /LWF 2009/. Es entstehen dabei unvermeidliche Substanzverluste aufgrund pilzlicher oder bakterieller Umsetzungen und eventuell zusätzliche Belastungen durch Pilzsporen. Durch eine Vortrocknung bis auf einen Wassergehalt von ca. 30 % kann dieser Verlust minimiert werden. Bei allen oben vorgestellten Verfahren ist eine zeitliche Entkoppelung des Hackens möglich. Lagerung von Hackschnitzeln bedeutet zusätzliche Kosten für das Lager, für die Lagerbeschickung und für die Entnahme für den Transport zur Konversionsanlage.

Falls Waldrestholz vor der energetischen Nutzung gelagert werden soll, um den Wassergehalt zu reduzieren, dann möglichst in ungehackter Form im Bestand, auf der Rückegasse oder der Waldstraße. Hier sind in der Regel deutlich günstigere Bedingungen für eine Trocknung gegeben, da ungehacktes Holz deutlich schneller trocknet, wesentlich geringere Trockenmas-

severluste und noch keine Pilzsporenbildung aufweist (siehe z.B. /Kofman 2001/, /Idler et al. 2004/). Bei der Trocknung an der Waldstraße werden für Scheitholz Trockenmasseverluste von 1,4 % /Gislerud 1985/ und für Stangenholz im Bereich 0,3–1,0% in der Literatur angegeben /Höldrich et al. 2006/. Bei der Lagerung von Hackschnitzeln ist mit wesentlich höheren Trockenmasseverlusten als bei der Lagerung von Stangen- bzw. Scheitholz zu rechnen. Beispielsweise wird für die sechsmonatige Lagerung im Freiland bei frischem Waldhackgut (50–55 % WG bei Einlagerung) nach /Jirjis 1996/ von 17 bis 19% Trockenmasseverlusten ausgegangen. Werden die Hackschnitzel kürzer gelagert, ist mit niedrigeren Lagerverlustkosten zu rechnen. Durch die Lagerung von Hackschnitzeln im Gebäude verringern sich tendenziell die Trockenmasseverluste. Bei einer dreimonatigen Lagerung im Gebäude (58% WG bei Einlagerung) gingen /Prankl und Weingartmann 1994/ von 10,3% Trockenmasseverlusten aus. Wird Waldhackgut mit niedrigem Wassergehalt (15 % WG) im Gebäude gelagert, ging /Jirjis 1996/ von lediglich 2% Trockenmasseverlusten aus.

Für die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln wird aus den oben genannten Gründen von Verfahren ohne Hackschnitzel-Zwischenlagerung ausgegangen. Stattdessen wird angenommen, dass das Waldrestholz nach dem Trocknungsprozess an der Waldstraße zeitversetzt gehackt wird und als Hackschnitzel direkt landwirtschaftlichen Anhängern oder Lkw für den abschließenden Transport zur Feuerungsanlage übergeben wird.

Trotzdem gibt es immer wieder Situationen, die das Zwischenlagern von Hackschnitzeln notwendig machen, z.B. wenn eine direkte Anlieferung an die Feuerungsanlage nicht möglich

ist oder wenn bei drohendem Borkenkäferbefall ein sofortiges Hacken erforderlich ist. Deshalb werden ergänzend einige exemplarische Kostenrechnungen für Hackschnitzel-Zwischenlagerung vorgestellt. Betrachtet werden hier Lager im Freien auf unbefestigtem Boden bzw. auf einer Betonplatte, jeweils ohne Abdeckung, Lager in Altgebäuden sowie Schüttlager im Gebäude mit Bodenplatte. Es wird jeweils von einer Lagerdauer von sechs Monaten ausgegangen. Der Wassergehalt beträgt beim Einlagern 35 %, da davon ausgegangen wird, dass das Waldrestholz ungehäckselt bereits an der Waldstraße vorgelagert wurde und damit der Wassergehalt von 50 % auf 35 % gesunken ist.

Die Lagerungskosten belaufen sich auf Werte zwischen 15,5 € und 32 €/t TM (siehe Tabelle 5.5). Enthalten sind hier auch die Kosten für Lagerverluste. Für die Kosten der Lagerverluste werden die Trockenmasseverluste während der Lagerung mit den bis dahin entstandenen Kosten pro Tonne Trockenmasse multipliziert, wobei zusätzlich zu den Kosten der Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße ein Hackschnitzeltransport zum Zwischenlager mit landwirtschaftlichen Gespannen über 3 km sowie die Lagerbeschickung und -entnahme per Frontlader unterstellt wurden.

Tabelle 5.5 zeigt, dass bei den angenommenen Bedingungen eine Lagerung im Freien auf dem unbefestigten Boden sowie im Altgebäude (bedingt durch niedrige Lagerbaukosten) die günstigsten Lagerungsvarianten darstellen. Hier betragen die Lagerungskosten (Lagerkosten und Lagerverlustkosten mit Lagerdauer sechs Monate) zwischen 15,5 und 18,4 €/t TM. Die Lagerungen mit baulichem Aufwand schneiden im Vergleich deutlich ungünstiger ab. Die Lagerung auf der Betonplatte ist mit 24,7 €/t TM, die Lagerung im Schüttgutlager ist mit Kosten in der Höhe von 32 €/t TM verbunden. Allerdings besteht in Altgebäuden bei unbelüfteter Lagerung auch die größte Gefahr für Pilzsporenbildung. Die Kosten einer Freilagerung hängen sehr stark von den Lagerverlusten und den Bereitstellungskosten ab. Günstigere Lagerkosten könnten sich bei – hier nicht betrachteter – Nutzung von leerstehenden Fahrhilfen ergeben,

die gegenüber Altgebäuden häufig über wesentlich bessere Beschickungs- und Entnahmemöglichkeiten verfügen.

Wird Holz ohne Zwischenlagerung an der Waldstraße direkt gehackt (Hackschnitzel mit Wassergehalt von 50–55 %), ist im Falle einer Lagerung mit deutlich höheren als in der Tabelle 5.5 dargestellten Lagerverlustkosten zu rechnen.

Transport

Beim Lkw-Transport werden die Hackschnitzel direkt in Container, beim landwirtschaftlichen Transport in Kippanhänger überladen. Die Kosten für den Transport von Hackschnitzeln werden für die oben genannten Verfahren berechnet, bei denen die Transportfahrzeuge direkt (ohne vorherige Lagerung) durch den Häcksler oder über Hackschnitzelcontainer beladen werden. Somit entfallen Kosten für die Beladung mithilfe eines Front- oder Radladers ((zu Datenbasis und Grundannahmen siehe Kapitel 3.5.1).

In Tabelle 5.6 werden die Transportkosten von der Waldstraße zum Endverbraucher für Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35 % berechnet d.h. nach der Lagerung im Freien an der Waldstraße. Die Tabelle verdeutlicht, dass bei den angenommenen Bedingungen der Transport mit dem Lkw für jede Transportdistanz mit Ausnahme der kürzesten Entfernungen die kostengünstigste Variante darstellt. Nur auf sehr kurzen Entfernungen (bis 5 km) ist der Transport mit landwirtschaftlichen Gespannen eine interessante Alternative. Transporte mit dem Solo-Lkw schneiden grundsätzlich schlechter als der Lkw-Zug ab, sind allerdings ab 10 km ebenfalls günstiger als landwirtschaftliche Gespanne.

Bereitstellungskosten frei Konversionsanlage

In Tabelle 5.7 werden die zuvor ermittelten Vollkosten für die Ernte und Bergung sowie für den Transport zusammengeführt. Exemplarisch wird das weit verbreitete Verfahren „teilmechanisiert Seilschlepper“ mit BHD 15 cm dargestellt (vgl. Verfahren Nr. 1, Tabelle 5.3). Die Transportkosten zur Feuerungsanlage werden für eine Transportentfernung von 20 km mit dem

TAB. 5.5: KOSTEN DER LAGERUNG VON WALDHACKSCHNITZELN (INKL. TRANSPORT ZUM LAGER UND BESCHICKUNG)

		Freilagerung, unbefestigter Boden	Freilagerung, auf Betonplatte	Altgebäude	Schüttgutlager im Gebäude mit Bodenplatte
Transport vom Feld zum Lager ^d	€/2012/t TM	4,5	4,5	4,5	4,5
Lagerbeschickung	€/2012/t TM	4,6	4,6	4,6	4,6
Lagerbaukosten (inkl. Unterhalt und Versicherung)	€/2012/t TM	0,0	10,4	5,7 ^b	19,3
Lagerverlustkosten ^c	€/2012/t TM	6,5	5,3	3,6	3,6
Gesamte Lagerungskosten	€/2012/t TM	15,6	24,8	18,4	32,0
Trockenmasseverluste ^d	% TM	12	10	7	7

Quelle: /IER 2012/

^a Lagerdauer sechs Monate, Fichtenhackschnitzel, Wassergehalt bei Einlagerung 35 %, Waldrestholz wurde ungehackt an Waldstraße vorgetrocknet.
^b 3 km Entfernung von der Waldstraße bis zum Lager, Transportmittel: Traktor mit 2 Anhängern, Transportvolumen 40 m³, Nutzlast 13 t. Bei Hackschnitzeln stellt das Volumen den begrenzenden Faktor dar.
^c nur Unterhalts- und Versicherungskosten
^d Die Lagerverlustkosten beziehen sich auf das Verfahren „teilmechanisiert Seilschlepper“ (15 BHD) (Verfahren Nr. 1, Tabelle 5.3)
^e Die Trockenmasseverluste wurden für Waldhackgut (35 % WG bei Einlagerung) nach /Jirjis 1996/ und /Prankl und Weingartmann 1994/ abgeschätzt.

TAB. 5.6: TRANSPORTKOSTEN FÜR WALDHACKSCHNITZEL

Transportfall Transportentfernung km	Transport vom Lager (Freilagerung an der Waldstraße ^a) zum Endverbraucher								
	Traktor + 2 Anhänger ^b			Solo-Lkw ^c			Lkw-Zug ^d		
	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ
2	0,5	1,8	0,2	1,3	4,7	0,4	1,1	3,9	0,3
3	0,7	2,7	0,2	1,4	5,2	0,5	1,2	4,2	0,4
5	1,2	4,4	0,4	1,7	6,3	0,5	1,3	4,8	0,4
10	2,4	8,9	0,8	2,3	8,4	0,7	1,6	6,0	0,5
15	3,6	13,3	1,2	2,8	10,2	0,9	1,9	7,0	0,6
20	4,8	17,7	1,6	3,2	11,9	1,0	2,2	8,0	0,7
50	12,1	44,3	3,9	5,5	20,0	1,8	3,4	12,7	1,1
70	16,9	62,1	5,5	7,3	26,9	2,4	4,5	16,6	1,5

Quelle: /IER 2012/

Die kursiv gesetzten grauen Werte stellen in der Praxis eher nicht stattfindende Alternativen dar.

^a Fichtenhackschnitzel, Wassergehalt 35 %; Heizwert 11,3 GJ/t, 272 kg/Srm

^b Transportvolumen 30,8 m³, Nutzlast 12 t

^c Transportvolumen 40 m³, Nutzlast 13 t

^d Transportvolumen 80 m³, Nutzlast 23 t

Lkw-Zug berechnet. Es wurde keine Zwischenlagerung von Hackschnitzeln in den Bereitstellungskosten berücksichtigt. Wie aus Tabelle 5.7 zu entnehmen ist, sind die Kosten für die Ernte und Bergung um den Faktor sechs höher als die Kosten für den Transport. Die Kosten frei Feuerung belaufen sich auf 84,2 €/t TM bzw. 4,8 €/GJ.

In Abb. 5.9 werden die Bereitstellungskosten für das Verfahren „teilmechanisiert Seilschlepper“ variiert. Hier sind allerdings auch Verfahren bzw. Prozessschritte miteinbezogen, die in der Praxis theoretisch Anwendung (z.B. Verfahren mit Harvester, Transport mit Traktor) finden könnten. Bei den getroffenen Annahmen und Berechnungsgrundlagen können die Bereitstellungskosten von 67,7 € (je nach Holzart – Buche statt Fichte) bis 116,2 € (Zwischenlagerung in der unbelüfteten Neubau Rundholzhalle) je Tonne Trockenmasse variieren. Den deutlichsten Einfluss auf die Höhe der Bereitstellungskosten hat neben der Durchführung einer Zwischenlagerung in einem Neubau auch der BHD des geernteten Waldrestholzes.

Damit wird deutlich, dass für eine wirtschaftliche Bereitstellung von Waldhackschnitzeln die Wahl des geeigneten Verfahrens eine entscheidende Rolle spielt. Vor allem steigen die Bereitstellungskosten deutlich an, wenn die Hackschnitzel mit niedrigem BHD (10 cm) bereitgestellt werden oder wenn eine Zwischenlagerung notwendig ist. Der Einsatz von anderen Transportmitteln wie z.B. Solo-Lkw oder der Traktor mit 2 An-

hängern bei der Entfernung von 20 km verursacht ebenso einen Anstieg der Bereitstellungskosten bis zu rund 100 €/t TM. Andererseits können bei guter Walderschließung, vernünftigem BHD und sehr guter Logistik auch recht günstige Brennstoffkosten erzielt werden.

5.3.3 Bereitstellungskosten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen

Für Kurzumtriebsplantagen kommen verschiedene heimische bzw. eingebürgerte Baumarten infrage. Unter mitteleuropäischen Bedingungen scheint der Anbau von Balsampappeln und ihrer Hybride besonders geeignet zu sein /TLL 2010/. In der folgenden Kostenanalyse wird deshalb exemplarisch die Hackschnitzelgewinnung aus Pappeln analysiert. Die Bereitstellungskosten setzen sich zusammen aus den Anlage- und Pflegekosten (inkl. Pacht) sowie aus den Kosten für Ernte sowie Lagerung und Transport.

Für die Berechnung der Kosten wird von 20 Jahren Nutzungsdauer der Pappel-Plantage ausgegangen. Während dieser Zeit werden 5–6 Ernten durchgeführt. Es werden drei verschiedene Ertragsklassen untersucht, wobei im Durchschnitt der Nutzungsdauer für die niedrige Ertragsklasse von 6, für die mittlere von 10 und für die hohe von 14 t TM Zuwachs pro Hektar und Jahr ausgegangen wird /KTBL 2006/.

TAB. 5.7: BEREITSTELLUNGSKOSTEN FÜR FICHTENHACKSCHNITZEL FREI KONVERSIONSANLAGE (OHNE MWST.)

	€/Srm	€/t TM	€/t FM	€/GJ
Ernte und Bergung (Verfahren „teilmechanisiert Schlepper“)	12,7	71,9	46,8	4,0
Transport zur Feuerungsanlage (Lkw-Zug)	2,2	12,3	8,0	0,7
Summe Kosten frei Feuerung	14,9	84,2	54,7	4,8

Quelle: /IER 2012/

BHD 15 cm, Fichtenhackschnitzel, Wassergehalt 35 %, Heizwert 11,3 GJ/t (3,1 kWh/kg), 272 kg/Srm. Transportentfernung zur Konversionsanlage 20 km

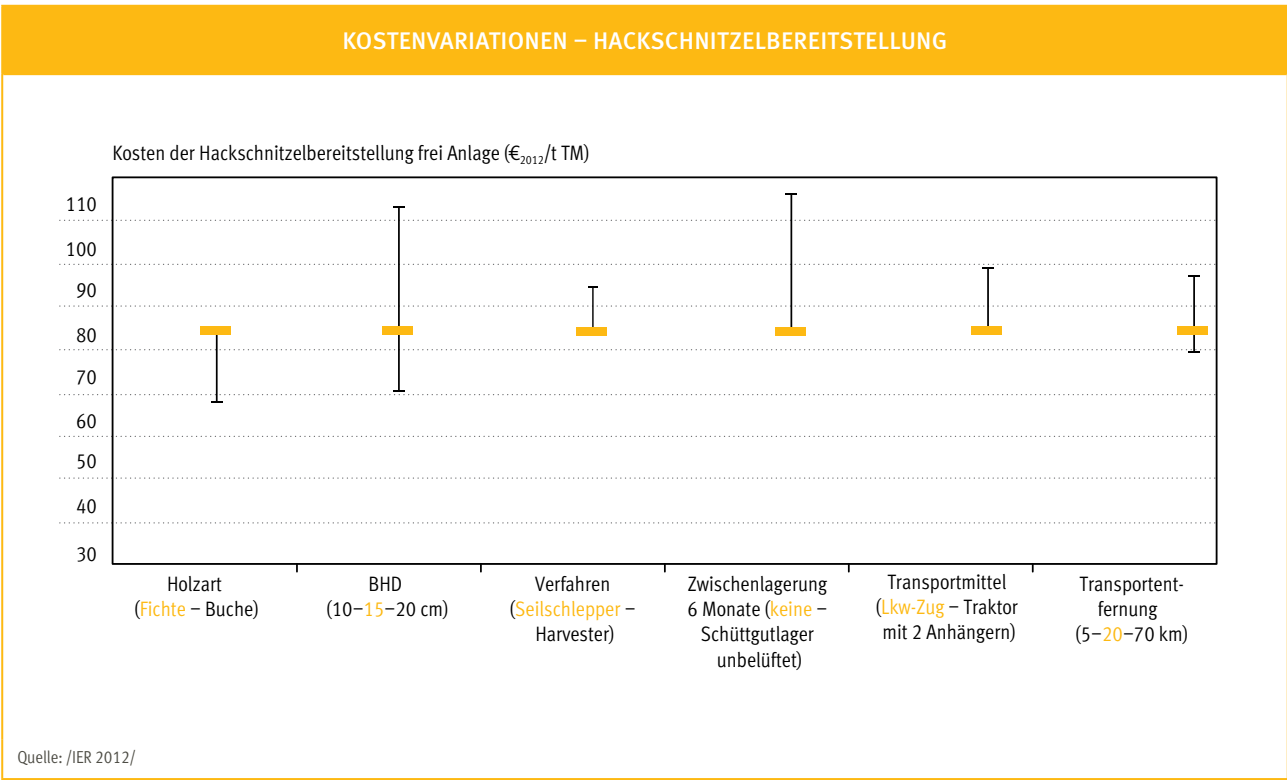


Abb. 5.9: Kostenvariationen – Hackschnitzelbereitstellung frei Konversionsanlage (für Basisfall gelbe Wörter bzw. Zahlen siehe Tabelle 5.7)

Anlage/Anbau und Pflege

Eine entscheidende Größe für die Bereitstellungskosten repräsentieren die Anlagekosten der Plantage. Die Anlagekosten beinhalten die Kosten für Bodenvorbereitung, Pflanzgut und Pflanzkosten sowie den Umbruch der Plantage am Ende der Nutzungsdauer.

Dabei machen die Stecklingskosten einen Großteil der Anlagekosten aus. Die Kosten für die Stecklinge schwanken in der Regel zwischen 0,10 € und 0,30 € pro Steckling /CREEF 2011/. Die folgende Kalkulation (Tabelle 5.8) basiert auf Stecklingskosten von 0,21 € pro Stück. Bei 10.000 Pflanzen pro Hektar /CREEF 2011/ ergeben sich damit Stecklingskosten von 2.071 €/ha. Die Kosten für das Pflanzen der Stecklinge mit einer Schlepperanbaupflanzmaschine inkl. Ladung und Transport des Pflanzgutes sowie Anwalzen werden mit 433 €/ha berechnet, in Anlehnung an Angaben aus dem Miscanthus-anbau /KTBL 2012/. Ein weiterer Schritt zur Vorbereitung der Plantagenanlage ist die Bodenvorbereitung. Dafür werden die Lohn- und Maschinenkosten für Pflügen und zweimaliges Eggen berücksichtigt, was mit 232 €/ha zu Buche schlägt.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer muss eine Rekultivierung durchgeführt werden, um die Fläche wieder für eine Nutzung als Ackerfläche vorzubereiten. Dafür wird eine spezielle Rodefräse eingesetzt, deren Kosten für überbetriebliche Konditionen bestimmt wurde /KTBL 2006/. Der entsprechende Betrag von 1.545 €/ha fällt am Ende der Nutzungsdauer an und wird ebenfalls den Anlagekosten zugeschlagen.

Um die durchschnittlich pro Jahr anfallenden Anlagekosten zu ermitteln, werden die in den einzelnen Jahren anfallenden Kosten auf den Anfangszeitpunkt diskontiert und die Summe

der diskontierten Kosten auf die Nutzungsdauer von 20 Jahren (inkl. Anpflanzjahr) mithilfe der Annuitätenmethode gleichmäßig verteilt (Tabelle 5.8).

Die Kosten für die Bestandspflege setzen sich aus einer chemischen Pflanzenschutzmaßnahme im ersten Jahr, einer mechanischen Pflegemaßnahme im zweiten Jahr und einer regelmäßigen Düngung zusammen. Für Pflanzenschutzmittel werden hier knapp 115 €/ha /BayWa 2009/, für die Ausbringung 13 €/ha und für das Striegeln 28 €/ha veranschlagt. Eine Düngung findet im ersten Jahr und dann jeweils nach der Ernte statt. Es wird eine Düngung mit den Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium in Höhe des Entzugs durch die Bäume und eine Erhaltungsdüngung mit Kalk angenommen. Die Kosten der Düngung (berechnet nach Entzug) liegen in Abhängigkeit von der Ertragserwartung umgerechnet pro Jahr zwischen 81 und 153 €/ha für die Düngemittel selbst (117 €/ha für Basisfall, d. h. Ertrag von 10 t TM/ha) und zwischen 27 und 43 €/ha für die Ausbringung (35 €/ha für Basisfall) /KTBL 2010/, /Hartmann 2002/.

Ernte

Für die Ernte wird angenommen, dass eine überbetriebliche Erntemaschine (selbstfahrender Feldhäcksler) mit Kosten von 440 €/ha eingesetzt wird, d. h., die Kosten beinhalten alle anfallenden Aufwendungen der Ernte. Die Erntekosten betragen nach dieser Rechnung 9,9 € pro Tonne Frischmasse für den mittleren Ertrag.

In Tabelle 5.9 sind die Kosten der Bereitstellung (Anlage, Pflege, Umbruch, Geräte, Pacht etc.) für Pappelhackschnitzel frei Feldrand zusammengestellt. Mithilfe der Annuitätenmetho-

TAB. 5.8: ANLAGEKOSTEN FÜR EINE PAPPELPLANTAGE

Bodenvorbereitung	€ ₂₀₁₂ /ha	232
Pflanzgutkosten (10.000 Stück à 0,2071 €/Stück)	€ ₂₀₁₂ /ha	2.071
Pflanzkosten (Pflanzung inkl. Ladung und Transport des Pflanzgutes sowie Anwalzen)	€ ₂₀₁₂ /ha	433
Umbruchkosten (nach 20-jähriger Nutzungsdauer, überbetrieblich als Dienstleistung)	€ ₂₀₁₂ /ha	1.545

Quelle: /IER 2012/

TAB. 5.9: KOSTEN DER HACKSCHNITZELBEREITSTELLUNG AUS PAPPELN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDENER ERTRAGSNIVEAUS FREI FELDRAND

Ertragsklasse	Ertrag	Niedrig	Mittel	Hoch
		t TM/(ha a)	6	10
	t FM/(ha a)	13,3	22,2	31,1
Pacht, Gemein- und Festkosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	400	400	400
Anlagekosten ^a	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	315	315	315
Pflegekosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	119	163	207
Erntekosten (überbetrieblich)	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	233	233	233
Summe Bereitstellungskosten, frei Feldrand	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	1.068	1.112	1.156
	€ ₂₀₁₂ /t FM	80	50	37
	€ ₂₀₁₂ /Gj ^b	11,5	7,2	5,3

Quelle: /IER 2012/

^a einschließlich Umbruchkosten, 4 % Zinssatz, 20 Jahre Nutzungsdauer

^b gerechnet mit Heizwert 6,98 GJ/t (55 % Wassergehalt)

de werden die jährlich anfallenden Kosten auf den Anfangszeitpunkt diskontiert und die Summe der diskontierten Kosten auf die Nutzungsdauer von 20 Jahren (inkl. Anpflanzjahr) gleichmäßig verteilt.

Die niedrigsten Bereitstellungskosten werden in der Ertragsklasse „Hoch“ mit 5,3 €/GJ erreicht. In der Ertragsklasse „Mittel“ liegen die Bereitstellungskosten bei 7,2 €/GJ. Die höchsten Kosten entstehen in der Klasse „Niedrig“. Mit 11,5 €/GJ betragen sie in etwa das Doppelte der Kosten des hohen Ernteertrags. Bezieht man die Bereitstellungskosten nicht auf den Energieertrag je Hektar, sondern auf die Fläche, liegen in allen drei Fällen die Kosten in etwa gleichauf („Niedrig“ 1.068 €/(ha a), „Hoch“ 1.156 €/(ha a)). Es wird deutlich, dass die Fixkosten (Pacht, Gemein- und Festkosten) in Höhe von 400 €/(ha a) bei allen drei Ertragsklassen den größten Teil der Bereitstellungskosten ausmachen. Weiterhin nehmen die Anlagekosten einen bedeutenden Anteil von 315 €/(ha a) ein. Hier könnte durch Eigenproduktion der Stecklinge eine Reduktion der Anlagekosten erreicht werden. Einen sehr wichtigen Punkt zur Reduktion der Kosten stellt eine Ertragserrhöhung dar, die vor allem die ertragsunabhängigen Fixkosten und die Anlagekosten pro Tonne und somit auch pro Energieeinheit senkt. Die Erntekosten pro Hektar betragen für alle Ertragsklassen 233 €/(ha a). Dies beruht auf der Annahme, dass die Ernte pro Hektar und nicht über den Ertrag mit dem überbetrieblichen Dienstleister abgerechnet wird.

Lagerung

Auch eine Zwischenlagerung von Hackschnitzeln aus Energieholz ist, ähnlich wie bei den Waldhackschnitzeln, mit zusätzli-

chen Kosten, Verlusten und eventuellen Pilzsporenproblemen behaftet. Obwohl eine Lagerung von ungehacktem Holz am Feldrand theoretisch auch denkbar ist, wird dies hier nicht weiter betrachtet. Eine Zwischenlagerung vor dem Einsatz in der Feuerung ist aber unerlässlich, wenn ein niedriger Wassergehalt für die anschließende Verbrennung gefordert ist.

Betrachtet werden hier (vgl. Kapitel 5.3.2) Lager im Freien auf unbefestigtem Boden bzw. auf einer Betonplatte, jeweils ohne Abdeckung, Lager in Altgebäuden sowie in neu errichteten Schüttgutlagern mit Bodenplatte, jeweils ohne Belüftung. Es wird von einer Lagerdauer von 6 Monaten ausgegangen, der Wassergehalt zu Beginn beträgt 55 %, zum Ende 35 % (dies unterscheidet sich von dem Verfahren der Waldrestholzbereitstellung im Kapitel Bereitstellungskosten für Waldhackschnitzel). Die Hackschnitzel werden mit landwirtschaftlichen Anhängern zum 3 km entfernten Lager transportiert und mit dem Frontlader ins Lager eingebracht. Für die Kosten der Lagerverluste werden die Trockenmasseverluste während der Lagerung mit den bis zur Einlagerung entstandenen Kosten pro Energieeinheit multipliziert. Tabelle 5.10 zeigt, dass bei den angenommenen Bedingungen für Hackschnitzel aus KUP eine Freilagerung auf unbefestigtem Boden sowie die Lagerung in Altgebäuden die günstigste Lösung mit ca. 42 €/t TM darstellt. Allerdings besteht in Altgebäuden bei unbelüfteter Lagerung eine erhöhte Gefahr für Pilzsporenbildung. Lagerungen mit baulichem Aufwand schneiden im Vergleich deutlich ungünstiger ab, aber auch die Freilagerung auf unbefestigtem Boden ist durch die etwas höheren Verluste nicht wesentlich günstiger. Eine interessante Alternative könnte auch für KUP-Hackschnitzel die Nutzung von leer stehenden Fahrsilos darstellen.

TAB. 5.10: KOSTEN DER LAGERUNG VON HACKSCHNITZELN AUS PAPPELPLANTAGEN (INKL. TRANSPORT ZUM LAGER UND LAGERBESCHICKUNG)^a

		Freilagerung, un- festigter Boden	Freilagerung, auf Betonplatte	Altgebäude	Schüttgutlager mit Bodenplatte
Transport vom Feld zum Lager	€ ₂₀₁₂ /t TM	5,0	5,0	5,0	5,0
Lagerbeschickung	€ ₂₀₁₂ /t TM	5,1	5,1	5,1	5,1
Lagerbaukosten (inkl. Un- terhalt und Versicherung)	€ ₂₀₁₂ /t TM	0,0	12,9	7,2 ^b	24,1
Lagerverlustkosten	€ ₂₀₁₂ /t TM	32,2	28,4	24,8	24,8
Gesamte Lagerungskosten	€₂₀₁₂/t TM	42,2	51,3	42,0	58,9
Trockenmasseverluste	% TM	21	19	17	17

Quelle: /IER 2012/

^a Lagerdauer: 6 Monate, Lagerverluste nach /Kanswohl et al. 2006/, /Scholz et al. 2005/, /Scholz et al. 2008/ bei Lagerung Wassergehalt 55 %, Heizwert 6,98 GJ/kg; bei Auslagerung Wassergehalt 35 %, Heizwert 11,17 GJ/kg

^b nur Unterhalts- und Versicherungskosten

Transport

Die Transportkosten vom Feld zum Lager (vgl. auch Tabelle 5.10) bzw. vom Lager zur Konversionsanlage werden in Tabelle 5.11 präsentiert. Für den Transport zur Konversionsanlage werden die Hackschnitzel mit dem Frontlader entnommen, um den Lkw zu beladen. Die Tabelle verdeutlicht, dass bei den angenommenen Bedingungen der Transport mit dem Lkw für jede dargestellte Transportdistanz die kostengünstigste Variante darstellt. Nur auf sehr kurzen Entfernungen (unter 5 km) wird der Transport mit landwirtschaftlichen Gespannen eine interessante Alternative. Transporte mit dem Solo-Lkw schneiden grundsätzlich schlechter ab als der Lkw-Zug.

Unter den getroffenen Annahmen und Berechnungsgrundlagen kann mit Bereitstellungskosten für Pappelhackschnitzel von 108,6 € je Tonne Frischmasse bzw. 9,7 € je GJ gerechnet werden.

Die Variationen der Bereitstellungskosten in Abb. 5.10 zeigen, dass die Erträge einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben. Verschiedene Transportentfernungen und Lagerungstypen ändern die Bereitstellungskosten dagegen um weniger als 10%. Allerdings kann man noch das Ernteverfahren modifizieren, indem man KUP-Stämme erntet und einlagert. Nach der Trocknung werden die Stämme gehackt und transportiert. Dieses zweistufige Verfahren führt zu höheren Kosten bei der Ernte, aber zu geringeren Lagerkosten im Vergleich zu dem oben beschriebenen Verfahren (vgl. z. B. /CREFF 2012/).

Bereitstellungskosten frei Konversionsanlage

In Tabelle 5.12 sind die zuvor ermittelten Vollkosten für Anlage und Pflege, Ernte, Lagerung und Transport zusammengestellt.

TAB. 5.11: TRANSPORTKOSTEN FÜR HACKSCHNITZEL AUS KUP

Transportfall	Feld–Lager ^d (Wassergehalt 55 %)			Lager–Endverbraucher ^b (Wassergehalt 35 %)					
	Traktor + 2 Anhänger ^c			Solo-Lkw ^d			Lkw-Zug ^e		
	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ
Transportentfernung km									
2	0,5	1,6	0,2	0,8	5,2	0,5	0,7	4,3	0,4
3	0,8	2,2	0,3	0,9	5,8	0,5	0,7	4,7	0,4
5	1,3	3,6	0,5	1,1	6,9	0,6	0,8	5,3	0,5
10	2,5	7,0	1,0	1,5	9,3	0,8	1,1	6,6	0,6
15	3,7	10,4	1,5	1,8	11,3	1,0	1,2	7,8	0,7
20	4,9	13,8	2,0	2,1	13,1	1,2	1,4	8,8	0,8
50	12,1	34,2	4,6	3,5	22,2	2,0	2,2	14,0	1,3
70	17,0	47,7	6,9	4,6	29,7	2,7	2,9	18,3	1,6

Quelle: /IER 2012/

Die kursiv gesetzten grauen Werte stellen eher in der Praxis nicht stattfindende Alternativen dar.

^a Pappelhackschnitzel, Wassergehalt 55 %, 6,98 GJ/t, 356 kg/Srm

^b Pappelhackschnitzel, Wassergehalt 35 %, 11,17 GJ/t, 160 kg/Srm

^c Transportvolumen 30,8 m³, Nutzlast 12 t

^d Transportvolumen 40 m³, Nutzlast 13 t

^e Transportvolumen 80 m³, Nutzlast 23 t

TAB. 5.12: BEREITSTELLUNGSKOSTEN VON PAPPELHACKSCHNITZELN AUS KUP (MITTLERER ERTRAG) FREI KONVERSIONSANLAGE MIT FREILAGERUNG (UNBEFESTIGTER BODEN), OHNE MWST.

	€ ₂₀₁₂ /t TM	
Pacht, Gemein- und Festkosten ^a (siehe Tabelle 5.9)	40,0	
Anlagekosten (siehe Tabelle 5.9)	31,5	
Pflegekosten (siehe Tabelle 5.9)	16,3	
Erntekosten (überbetrieblich) (siehe Tabelle 5.9)	23,3	
Lagerungskosten (siehe Tabelle 5.10) ^b	42,2	
Aufladen und Transport zur Feuerung ^c	13,6	
Summe Kosten frei Feuerung	(€ ₂₀₁₂ /t TM)	167,0
	(€ ₂₀₁₂ /t FM)	108,6
	(€ ₂₀₁₂ /ha a)	1.319,6
	(€ ₂₀₁₂ /Srm)	26,7
	(€ ₂₀₁₂ /Gj)	9,7

Quelle: /IER 2012/

^a Mittlerer Ertrag von 10 t TM/(ha a)

^b Lagerungsverluste von 21 % (Freilandlagerung). Bei Einlagerung Wassergehalt 55 %, Heizwert 6,98 GJ/t; bei Auslagerung Wassergehalt 35 %, Heizwert 11,17 GJ/t. Die angegebene Kosten von 13,3 €/t TM entsprechen 8,65 €/t FM.

^c Angenommene Transportdistanz Lager-Konversionsanlage 20 km

5.3.4 Bereitstellungskosten für Getreidestroh

Stroh steht als Nebenprodukt der Getreideproduktion zu vergleichsweise günstigen Bedingungen zur Verfügung, da Pacht- und Gemeinkosten nicht dem Stroh, sondern dem Getreide als Hauptfrucht angelastet werden. Dies kann sich jedoch ändern, wenn Stroh vermehrt für die energetische Nutzung oder z. B. für die Einstreu nachgefragt wird (vgl. Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung). Das Gleiche gilt für die Anbaukosten. Hier sind lediglich die Kosten für die durch das Stroh entzogenen Nährstoffe in Anrechnung zu bringen, wenn die Nährstoffe nicht über die Asche zurückgeführt werden können. Durch die Nutzung von Stroh als Brennstoff entstehen auch keine direkten Standort- und Fruchtfolgeansprüche, allerdings indirekte Auswirkungen auf die Produktion anderer Feldfrüchte. Wird Stroh, anstatt es zu bergen, als organischer Dünger auf dem

Feld belassen, wirkt es positiv auf die Nährstoff- und Humusbilanz. Prinzipiell weisen Ackerböden allerdings bei derzeitigen Fruchtfolgen (viel Getreide- und Rapsanbau) einen Überschuss an organischer Substanz auf, wenn das Stroh im landwirtschaftlichen Kreislauf verbleibt. Deshalb können nach Untersuchungen in Mecklenburg-Vorpommern in viehhaltenden Betrieben bis zu 20 % und in Ackerbaubetrieben bis zu 55 % des Getreidestrohs energetisch genutzt werden, ohne die Humusbilanz zu beeinträchtigen /Boelcke 2003/. Den Anteil des energetisch nutzbaren Strohaufkommens geben unterschiedliche Institute auf Befragung mit 10 % bis 60 % an /IFEU 2008/ (siehe Tabelle 5.13). Es sollte aber eine fruchtfolge- und schlagspezifische Humusbilanzierung durchgeführt werden. Hier wird im Folgenden davon ausgegangen, dass nur so viel Stroh zur energetischen Nutzung entnommen wird, dass keine Verschlechterung der Humusbilanz zu erwarten ist, Folgekosten für Humusersatz z. B. über Gründüngung fallen deshalb nicht an.

Die Bereitstellungskosten frei Feldrand werden somit hauptsächlich von den Nährstoffersatzkosten und zusätzlich von den Strohbergkosten bestimmt.

TAB. 5.13: ENERGETISCH NUTZBARER GETREIDE-STROHANTEIL AM GESAMTEN DEUTSCHLANDWEITEN GETREIDESTROHAUFKOMMEN

Quelle	Energetisch nutzbare Strohmenge (Anteil am Gesamtstrohanfall)
/DBFZ 2011/	27–43 %
/IE 2008/	10–30 %
/IFEU 2008/	33 %
/Warsitza 2008/	37–60 %
/BE 2007/	25 %
/Simon 2006/	bis 35 %
/Boelcke 2003/	20–55 %

Nährstoffwert

Der Nährstoffwert des Strohs lässt sich aus dem durchschnittlichen Nährstoffgehalt des Strohs und den Kosten pro Kilogramm Reinnährstoff ermitteln. Der Nährstoffgehalt im Stroh hängt von der Getreideart, der Sorte, der Düngung, der Witterung und anderen Faktoren ab. Zur Berechnung werden hier die vollständigen Nährstoffersatzkosten herangezogen. Damit ergibt sich – bei einem angenommenen Ertrag von 4,4 t FM/ha (vgl. Abb. 5.11) – ein durchschnittlicher Nährstoffwert des Strohs über alle Getreidearten von 63,1 €/ha.

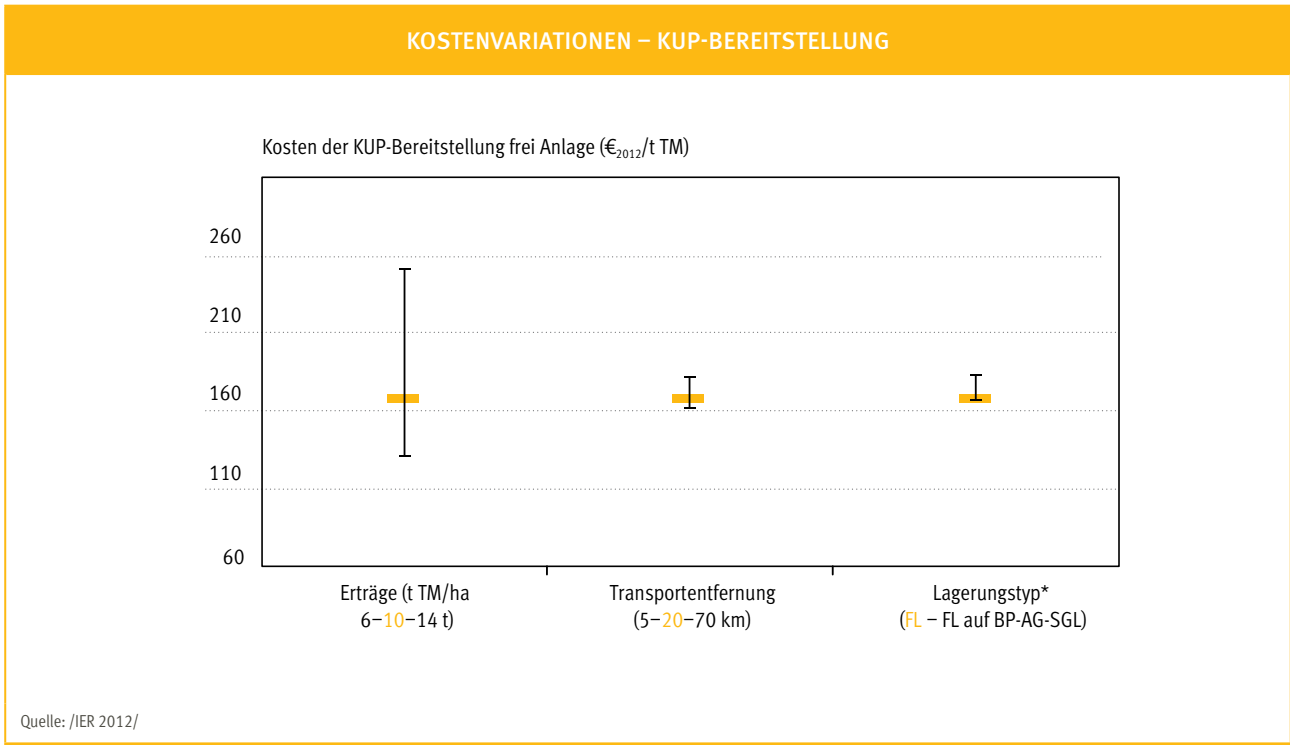


Abb. 5.10: Kostenvariationen – KUP-Bereitstellung frei Konversionsanlage (Basisfall gelbe Wörter bzw. Zahlen siehe Tabelle 5.12)
* FL: Freilandlagerung, BP: Betonplatte, AG: Altgebäude, SGL: Schüttgutlager mit Betonplatte

Ernte/Bergung

Zur Berechnung der Bergekosten wird ebenfalls ein Strohertrag von 5,2 t FM/ha und eine Schlaggröße von 5 ha angenommen. Die Arbeitsbreite des Mähdreschers wird ausreichend groß angenommen, sodass kein Schwaden des abgelegten Stroh auch beim Einsatz von Großpressen erforderlich ist. Die Kosten für das Quaderballenpressenverfahren liegen bei 20,3 €/t FM, 11 €/Ballen bzw. 103,5 €/ha /Peisker 2007/.

Für das Laden der Ballen auf dem Feld mit Frontlader und landwirtschaftlichem Anhänger werden 24,5 €/ha ermittelt. Die Kosten für den durchschnittlich drei Kilometer langen Transport zum Zwischenlager und für das Entladen der Ballen belaufen sich auf 30 €/ha. Die gesamten Bergekosten liegen somit bei 159,7 €/ha (siehe Tabelle 5.14).

Bereitstellungskosten frei Zwischenlager

Die Bereitstellungskosten frei Zwischenlager ergeben sich aus der Summe des Nährstoffwertes und der Strohbergekosten. In Tabelle 5.14 werden die Kostenelemente und die Bereitstellungskosten frei drei Kilometer entferntem Zwischenlager aufgezeigt. Tabelle 5.14 zeigt, dass die Strohberbeitstellungskosten 223 €/ha, das entspricht ca. 4 €/GJ, betragen und hauptsächlich durch die Kosten für das Strohpressen bestimmt werden.

Lagerung

Strohballen können im Freien oder in Hallen gelagert werden. Bei der Freilandlagerung ist eine Abdeckung der Ballen mit einer Folie notwendig, um eine Befeuchtung der Ballen zu verhindern. Hier wird der Einsatz einer Silofolie angenommen, die jährlich ersetzt werden muss. Zusätzlich fallen Arbeitskosten für

das Abdecken und Befestigen an. Für die Lagerung im Gebäude werden die Varianten Altgebäude und neue Halle betrachtet. Tabelle 5.15 zeigt außer den Kosten für die Lagerung auch eine monetäre Bewertung der Lagerverluste. Unterstellt wurden hier 8 Monate Lagerdauer mit monatlichen TM-Verlusten von 1 % bei Freilandlagerung unter Folie bzw. 0,25 % bei Hallenlagerung. Es zeigt sich, dass die Kosten der Freilandlagerung aufgrund der Lagerverluste in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie bei Lagerung in Altgebäuden und dass die Lagerung in neu errichteten Hallen die teuerste Variante darstellt.

TAB. 5.14: BEREITSTELLUNGSKOSTEN VON STROH FREI ZWISCHENLAGER

Düngung (nur Nährstoffwert Stroh)	€/2012/ha	63,1
Bergekosten		
Pressen	€/2012/ha	105,6
Laden	€/2012/ha	24,5
Transport zum Lager	€/2012/ha	17,4
Entladen	€/2012/ha	12,9
Summe Bereitstellungskosten	€/2012/ha	223
	€/2012/t FM	43,7
	€/2012/t TM	50,3
	€/2012/GJ	3,7

Quelle: /IER 2012/
Transportentfernung Feld–Zwischenlager 3 km. Wassergehalt 15 %, Heizwert 14,3 GJ/t

TAB. 5.15: KOSTEN DER STROHBALLENLAGERUNG

		Folienabdeckung	Altgebäude	Leichtbauhalle ohne Bodenplatte
Lagerbau- bzw. Folienkosten (inkl. Unterhalt und Versicherung)	€ ₂₀₁₂ /t TM	3,0	8,0 ^a	13,2
Lagerverlustkosten	€ ₂₀₁₂ /t TM	4,5	1,1	1,1
Gesamte Lagerungskosten	€₂₀₁₂/t TM	7,5	9,1	14,3
Trockenmasseverluste ^b	% TM	8,1	2	2

Quelle: /IER 2012/

^a nur Unterhalts- und Versicherungskosten

^b Lagerungsdauer 8 Monate. 1 % TM-Verlust pro Monat für Folienabdeckung, 0,25 % für Gebäudelagerung

Transport

Der Transport vom Zwischenlager zur Feuerungsanlage kann mit Lkw oder landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen erfolgen. Entscheidend für die Transportkosten ist bei Ballen die Transportdichte, die für Stroh mit 150 kg/m³ angenommen wird. Die Kosten werden für einen landwirtschaftlichen Transport mit einem 83-kW-Schlepper und zwei Anhängern mit einer Ladekapazität von je 8 Quaderballen berechnet.

Das Beladen erfolgt mithilfe eines 83-kW-Schleppers und Frontladern. Die Kosten steigen deutlich mit steigender Transportentfernung von rund 8 €/t FM (5 km Transportentfernung) auf gut 75 €/t FM (70 km Transportentfernung) an (Tabelle 5.16).

Bereitstellungskosten frei Konversionsanlage

In Tabelle 5.17 werden die zuvor ermittelten Vollkosten für die Bereitstellung frei Zwischenlager, die Lagerung und den Transport zusammengestellt.

Für die getroffenen Annahmen und Berechnungsgrundlagen kann mit Bereitstellungskosten von rund 73 € je Tonne FM bzw. 5,7 € je GJ gerechnet werden.

Es werden jeweils die verfügbare Strohmenge je Hektar, Transportentfernungen und Lagertyp variiert (siehe Abb. 5.11). Die Analyse der Parametervariation zeigt, dass die Ertrags- und Lagertypvariationen keinen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Variation der Transportentfernung zwischen

5 und 70 km kann die Kosten gegenüber dem Basisfall von 20 km um rund 70% erhöhen bzw. um rund 20% senken.

5.3.5 Bereitstellungskosten für Miscanthus

Unter anderem aufgrund des Ertragspotenzials kann der Anbau von Miscanthus (Chinaschilf) als mehrjährige Energiepflanze in Zukunft eine Rolle spielen (vergleiche auch /Özdemir 2012/ und /König 2009/). Deshalb werden im Folgenden die Bereitstellungskosten von Miscanthus dargestellt.

Als Grundlage für die Berechnung der Kosten wird von einem durchschnittlichen Ertrag für die verschiedenen Ertragsklassen von 9,6, 14,4 und 20,0 t TM pro Hektar und Jahr bei einer Gesamtnutzungsdauer von 15 Jahren ausgegangen /KTBL 2006/. Dies berücksichtigt, dass im Jahr der Pflanzung der Ertrag noch zu niedrig ist, um eine rentable Ernte durchführen zu können. Bis zur vollständigen Bestandsetablierung kann es noch in den folgenden Jahren zu niedrigeren Erträgen kommen. Deshalb wird für die Kalkulation von durchschnittlichen Erträgen von 14,4 t TM/(ha a) (mittlere Ertragsklasse) ausgegangen.

Anbau und Pflege (inkl. Umbruch)

Bei Miscanthus fallen zunächst für die Anlage einer Plantage relativ hohe Kosten an (Tabelle 5.18). Die Anlage umfasst die Bodenvorbereitung, Pflanzungs-, Pflanzkosten, Schröpschnitt (statt Ernte im ersten Jahr) sowie die Umbruchkosten (nach 15-jähriger Nutzungsdauer, dreifaches Mähen). Im folgenden Beispiel werden die Pflanzgutkosten mit 0,18 €/Stück angenommen /KTBL 2006/. Die Pflanzung wird mit einer 4-reihigen Miscanthusanbaupflanzmaschine (mit 5 Arbeitskräften) durchgeführt. Hierbei fallen Kosten in Höhe von 422,6 €/ha an. Die Kosten für die Bodenvorbereitung enthalten die Maschinen- und Lohnkosten für Stoppelbearbeitung mit Egge und Pflug. Sie betragen 186,5 €/ha. Weiter fallen Kosten von 52,8 €/ha für den Schröpschnitt im ersten Jahr an. Die Pflanzgutkosten machen dabei etwa 70% der Anlagekosten aus.

Nach Beendigung der Anlagenutzungsdauer wird zur Rekultivierung das mehrmalige Mähen der Fläche (hier 3-mal angenommen) und Herausgrubbern der Rhizome vor dem Winter anstelle des Einsatzes eines Totalherbizides angenommen /KTBL 2006/. Die Kosten betragen 164,8 €/ha (siehe Tabelle 5.19).

Die Anlagekosten und die Rekultivierungskosten fallen einmalig im Laufe der 15-jährigen Nutzungsdauer der Miscanthusplantage an. Um die durchschnittlich pro Jahr anfallenden

TAB. 5.16: TRANSPORTKOSTEN FÜR WALDHACKSCHNITZEL

Transportentfernung km	Traktor + 2 Anhänger ^a		
	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /GJ
3	5,7	6,7	0,4
5	7,8	9,1	0,5
10	13,0	15,2	0,9
15	18,1	21,4	1,2
20	23,3	27,4	1,6
50	54,5	64,1	3,8
70	75,2	88,5	5,3

Quelle: /IER 2012/

^a Beladen und Transport mit 83-kW-Schlepper. Ladekapazität 8 Quaderballen je Anhänger.

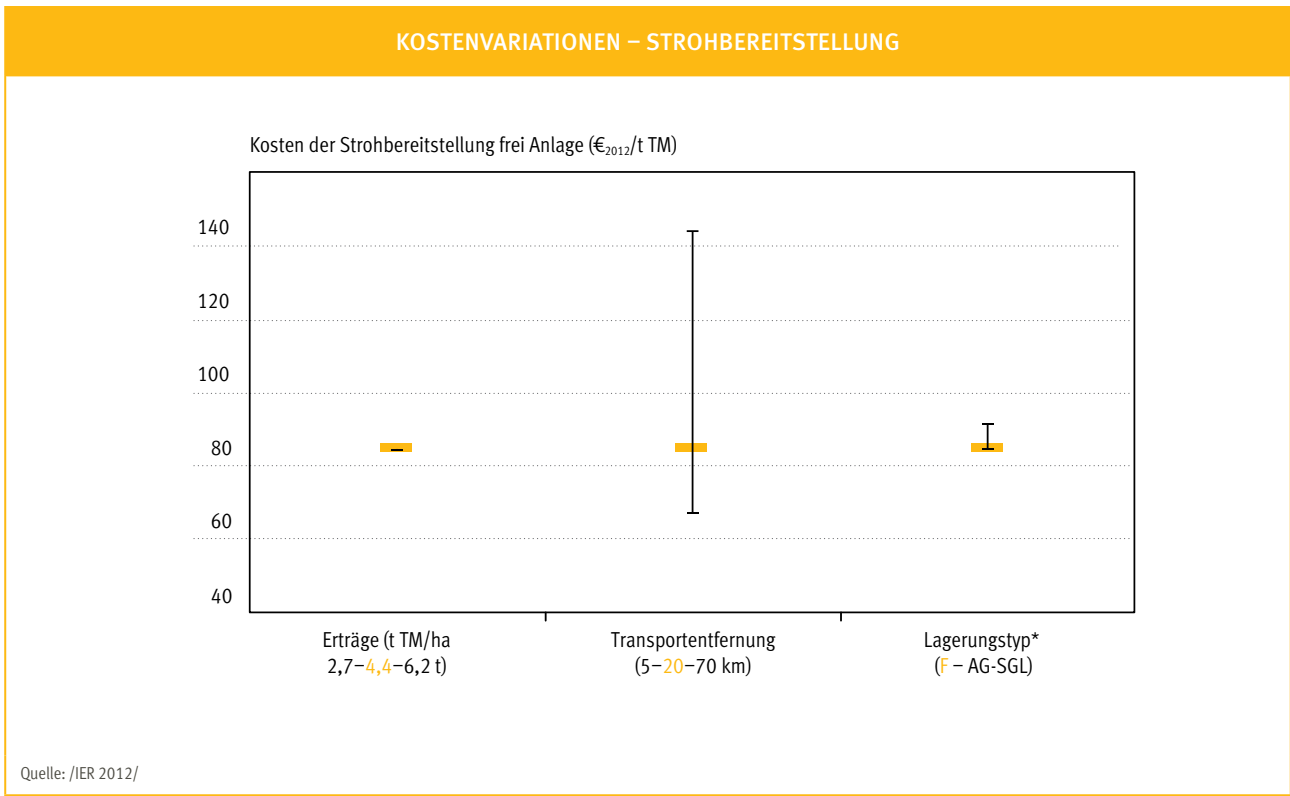


Abb. 5.11: Kostenvariationen – Strohbereitstellung (Basisfall gelbe Wörter bzw. Zahlen siehe Tabelle 5.17)
* F: Folienabdeckung, AG: Altgebäude, SGL: Schüttgutlager mit Betonplatte

TAB. 5.17: BRENNSTOFFKOSTEN VON GETREIDESTROH FREI FEUERUNGSANLAGE (OHNE MWST.)

	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /t TM	€ ₂₀₁₂ /Gj
Düngung (nur Nährstoffwert)	12,4	14,2	0,9
Ernte und Bergung	25,5	29,4	1,8
Transport zum Lager und Einlagerung	5,8	6,7	0,4
Lagerung (Folienabdeckung)	6,4	7,5	0,4
Aufladen und Transport zur Feuerungsanlage	23,3	27,4	1,6
Summe Kosten frei Feuerung	73,4	85,2	5,7

Quelle: /IER 2012/

Wassergehalt 15 %, Heizwert 14,3 GJ/t (4,0 kWh/kg)
Transportentfernung zur Feuerungsanlage 20 km; einschließlich Lagerverlusten

TAB. 5.18: ANLAGEKOSTEN FÜR EINE MISCANTHUSPLANTAGE (INKL. REKULTIVIERUNG)

	€ ₂₀₁₂ /ha	€ ₂₀₁₂ /ha
Bodenvorbereitung	€ ₂₀₁₂ /ha	186,5
Pflanzgutkosten (10.000 Stück à 0,18 €/Rhizom-Stück)	€ ₂₀₁₂ /ha	1.765,6
Pflanzkosten	€ ₂₀₁₂ /ha	422,6
Schröpschnitt statt Ernte im 1. Jahr	€ ₂₀₁₂ /ha	52,8
Umbruchkosten (nach 15-jähriger Nutzungsdauer, 3-faches Mähen)	€ ₂₀₁₂ /ha	164,8

Quelle: /IER 2012/

TAB. 5.19: BEREITSTELLUNGSKOSTEN VON MISCANTHUSBALLEN FREI FELDRAND

Ertragsklasse		Niedrig	Mittel	Hoch
Ertrag	t TM/(ha a)	9,6	14,4	20,0
Fixkosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	400	400	400
Anlagekosten (inkl. Rekultivierung) ^a	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	233	233	233
Pflegekosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	214	295	391
Erntekosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	435	621	838
Bereitstellungskosten	€ ₂₀₁₂ /(ha a)	1.282	1.550	1.862
	€ ₂₀₁₂ /t FM	111	90	78
	€ ₂₀₁₂ /t TM	131	106	91
	€ ₂₀₁₂ /Gj	7,9	6,4	5,5

Quelle: /IER 2012/

^a 4 % Zinssatz, 15 Jahre Nutzungsdauer, Wassergehalt 20 %, Heizwert 13,6 GJ/t FM

Anlagekosten zu ermitteln, werden die in den einzelnen Jahren anfallenden Kosten auf den Anfangszeitpunkt diskontiert und die Summe der diskontierten Kosten auf die Nutzungsdauer von 15 Jahren (inkl. Anpflanzjahr) mithilfe der Annuitätenmethode gleichmäßig verteilt (Tabelle 5.19).

Die Pflegekosten beschränken sich im Wesentlichen auf Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen. Die Düngung erfolgt nach Nährstoffentzug entsprechend Kapitel 5.3.1 (Datenbasis und Grundannahmen). Im ersten Standjahr wird zur Unterdrückung des Unkrauts dreimal mechanisch gestriegelt und im zweiten Jahr ein einmaliger chemischer Pflanzenschutz durchgeführt. Umgerechnet ergeben sich über die gesamte Lebensdauer jährliche Pflegekosten bei einem mittleren Ertrag von 295 €/ha a (Tabelle 5.19).

Ernte

Für die Ernte kommen prinzipiell zwei Verfahren in Betracht: Mähen und zusätzlich Pressen mit speziellen Ballenpressen oder Häckseln mit einem Maishäcksler. Da das Häckselgut jedoch eine sehr geringe Schüttdichte aufweist, kommt es in der Folge bei Transporten sowie Ein- und Auslagerungsprozessen zu sehr niedrigen Leistungen, die mit sehr hohen Kosten verbunden sind. Deshalb wird diese Linie im Folgenden nicht betrachtet und der Fokus auf die Ballenlinie gelegt.

Hier wird für die Ernte angenommen, dass ein selbstfahrender Schwadmäher und eine Quaderballenpresse eingesetzt werden. Die Ballen werden anschließend mit landwirtschaftlichen Gespannen zum Zwischenlager transportiert und mit dem Frontlader eingelagert. Je nach Ertrag liegen die Erntekosten zwischen 435 und 838 €/ha a (für Basisfall 621 €/ha a) und haben damit den größten Anteil an den Bereitstellungskosten (Tabelle 5.19). Insgesamt belaufen sich die Bereitstellungskosten in der niedrigen Ertragsklasse (9,6 t/ha a) auf 1.282 €/ha a. Dies entspricht 111 €/t FM. Bei einem mittleren Ertrag von 14,4 t/ha a fallen Bereitstellungskosten von 1.550 €/ha a bzw. 90 €/t FM an, bei einem hohen Ertrag von 20 t/ha a betragen diese 1.862 €/ha a bzw. 78 €/t FM.

Lagerung

Für Miscanthusballen bestehen bei der Lagerung höhere Risiken als bei anderen Halmgütern. Durch die Ernte im Spätwinter ist mit größeren Witterungsunsicherheiten mit der Gefahr erhöhter Wassergehalte zu rechnen. Hier werden zwei Varianten betrachtet: Einlagerung in Altgebäuden oder Leichtbauhallen (Neubau) mit einer Lagerdauer von durchschnittlich zwei Monaten. Für den Fall, dass der Brennstoff im folgenden Winterhalbjahr benötigt wird, würde sich die Lagerdauer auf bis zu acht Monate erhöhen. Nähere Angaben zu den Grundannahmen der Lage-

TAB. 5.20: KOSTEN DER STROHBALLENLAGERUNG

		Altgebäude	Leichtbauhalle ohne Bodenplatte (Neubau)
Abladen und Lagerbeschickung	€ ₂₀₁₂ /t TM	3,1	3,1
Lagerbaukosten (inkl. Unterhalt und Versicherung)	€ ₂₀₁₂ /t TM	8,5 ^a	13,9
Lagerverlustkosten	€ ₂₀₁₂ /t TM	1,6	1,6
Gesamte Lagerungskosten	€₂₀₁₂/t TM	13,2	18,6
Trockenmasseverluste ^b	% TM	1,5	1,5

Quelle: /IER 2012/

^a nur Unterhalts- und Versicherungskosten^b 0,75 % Trockenmasseverlust pro Monat. Mittlere Lagerdauer 2 Monate

TAB. 5.21: AUFLADE- UND TRANSPORTKOSTEN FÜR MISCANTHUS-QUADERBALLEN

Transportentfernung km	Traktor + 2 Anhänger ^a		
	€ ₂₀₁₂ /Srm	€ ₂₀₁₂ /t FM	€ ₂₀₁₂ /Gj
5	7,9	9,6	0,6
10	13,2	16,1	0,9
15	18,5	22,6	1,3
20	23,8	29,0	1,7
50	55,5	67,7	4,0
70	76,8	93,6	5,5

Quelle: /Hartmann 2002/ und eigene Berechnungen
^a Transportvolumen 30,8 m³, Nutzlast 12 t, Wassergehalt 18 %, Heizwert 13,6 Gj/t

rungstechnik finden sich in Kapitel 5.3.1. Tabelle 5.20 zeigt die Ergebnisse der verschiedenen Varianten. Die Kosten betragen im Altgebäude knapp 13,2 €/t TM und in der Leichtbauhalle (Neubau) 18,6 €/t TM.

Transport

Die Kosten wurden wie für Stroh berechnet für einen landwirtschaftlichen Transport mit zwei Anhängern (je 8 Quaderballen). Das Beladen der Transportmittel erfolgt in beiden Fällen mithilfe eines 83-kW-Schleppers und Frontladern.

Die Kostenaufstellung in Tabelle 5.21 zeigt, dass der Transport der Miscanthusballen mit landwirtschaftlichen Transportmitteln zwischen 9,6 und 93,6 €/t TM kostet. Bei einer Transportdistanz von 20 km können Miscanthusballen für 29,0 €/t TM mit Traktor und Anhänger befördert werden.

Bereitstellungskosten frei Konversionsanlage

In Tabelle 5.22 werden die zuvor ermittelten Vollkosten für die Bereitstellung frei Feldrand, die Lagerung und den Transport zusammengefasst. Die Transportkosten zur Feuerungsanlage werden für eine Transportentfernung von 20 km berechnet. Für die getroffenen Annahmen und Berechnungsgrundlagen kann bei einem mittleren Ertrag mit Bereitstellungskosten von 122,1 € je Tonne Frischmasse bzw. 8,7 € je Gj gerechnet werden.

Ergänzend werden die Erträge, Transportentfernungen und Lagertypen variiert (Abb. 5.12). Die Analyse der Parametervariation zeigt, dass die Lagertypvariation keinen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Die Variation der Transportentfernung zwischen 5 und 70 km hingegen kann die Ergebnisse deutlich zwischen +43 % und -13 % ändern (gegenüber 20 km). Zudem variieren die Bereitstellungskosten zwischen +15 % und -8 %, wenn die Erträge zwischen 9,6 (niedriger Ertrag) und 20 t/ha (hoher Ertrag) sich ändern.

5.3.6 Bereitstellungskosten für Landschaftspflegematerial

Die Zusammensetzung des Landschaftspflegematerials ist sehr verschiedenartig. Es kann aus den unterschiedlichsten Quellen (Uferstrand, Straßenränder, Knicks etc.) stammen. Für Landschaftspflegematerial differieren die Kosten für die Bereitstellung frei Konversionsanlage v. a. in Abhängigkeit vom Standort und der eingesetzten Bergungs- und Aufbereitungstechnik (Abb. 5.13). Auch besteht bei einer energetischen Nutzung die Möglichkeit, dass dem Heizwerk solches Material preiswert oder sogar kostenfrei zur Verfügung gestellt wird, da andernfalls die Entsorgung des Grüngutes z. B. über Kompostierung bezahlt werden müsste. Aufgrund dieser Unsicherheiten wird hier nur eine Bandbreite der Bereitstellungskosten für Landschaftspflegematerial aus der Literatur gegeben (Abb. 5.13). Für holzartiges Landschaftspflegematerial (TM 60 bis 80 %) liegen die Be-

TAB. 5.22: BEREITSTELLUNGSKOSTEN VON MISCANTHUS FREI KONVERSIONSANLAGE (OHNE MWST.)

	€ ₂₀₁₂ /t TM	
Pacht, Gemein- und Festkosten ^a	27,8	
Anlagekosten	16,2	
Pflegekosten	20,5	
Ernte- und Bergungskosten	38,0	
Transport zum Lager ^b und Einlagerung	7,3	
Lagerkosten exkl. Lagerungsverluste ^c	8,5	
Lagerverlustkosten	1,6	
Aufladen und Transport zur Feuerung ^d	29,0	
Summe Kosten frei Feuerung	(€ ₂₀₁₂ /t TM)	148,9
	(€ ₂₀₁₂ /t FM)	122,1
	(€ ₂₀₁₂ /ha a)	2.083,3
	(€ ₂₀₁₂ /Gj)	8,7

Quelle: /IER 2012/
^a Mittlerer Ertrag von 14,4 t TM/(ha a)
^b Angenommene Transportdistanz Feld-ager 3 km
^c Altgebäuelagerung: Lagerungsverluste von 1,5 % (2 Monate Lagerung). Bei Einlagerung Wassergehalt 20 %; bei Auslagerung Wassergehalt 18 %, Heizwert 14,0 MJ/kg
^d Angenommene Transportdistanz Lager-Endverbraucher 20 km

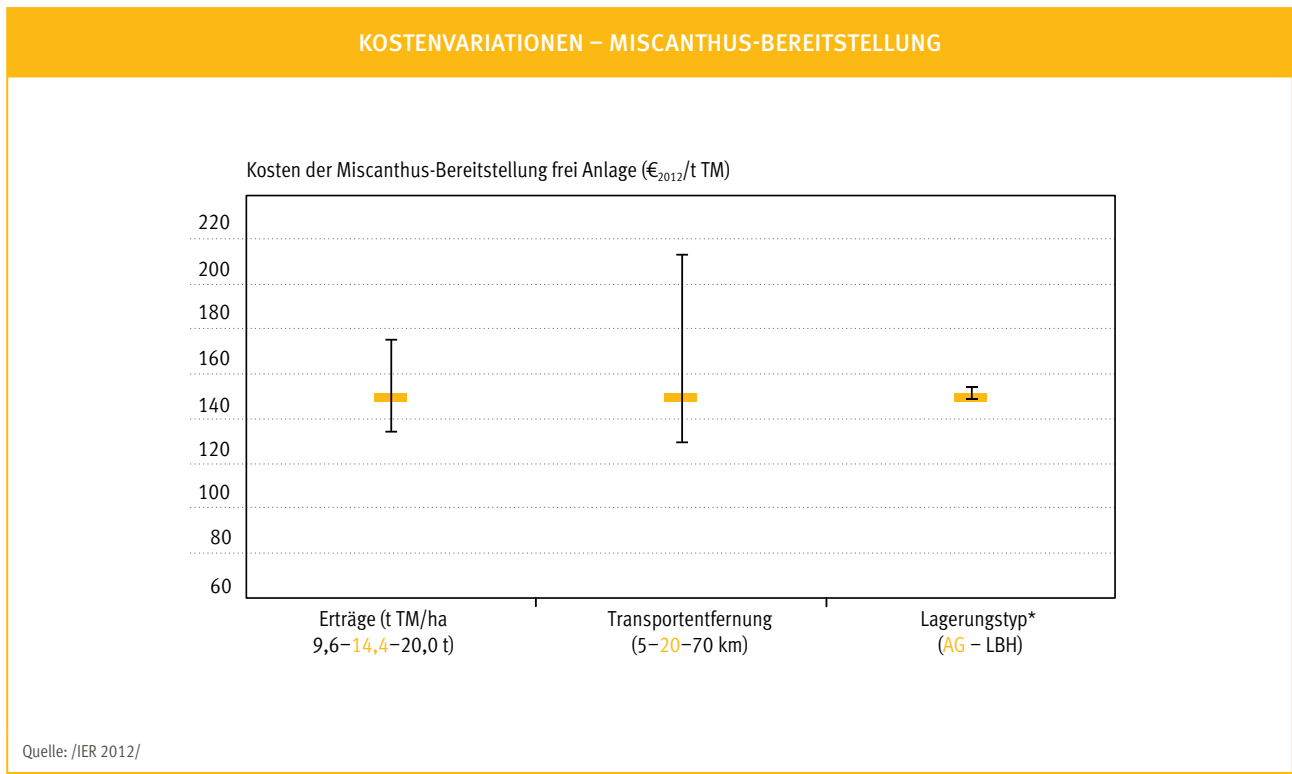


Abb. 5.12: Kostenvariationen – Miscanthus-Bereitstellung (Basisfall gelbe Wörter bzw. Zahlen siehe Tabelle 5.22)
 * AG: Altgebäude, LBH: Leichtbauhalle ohne Betonplatte (Neubau)

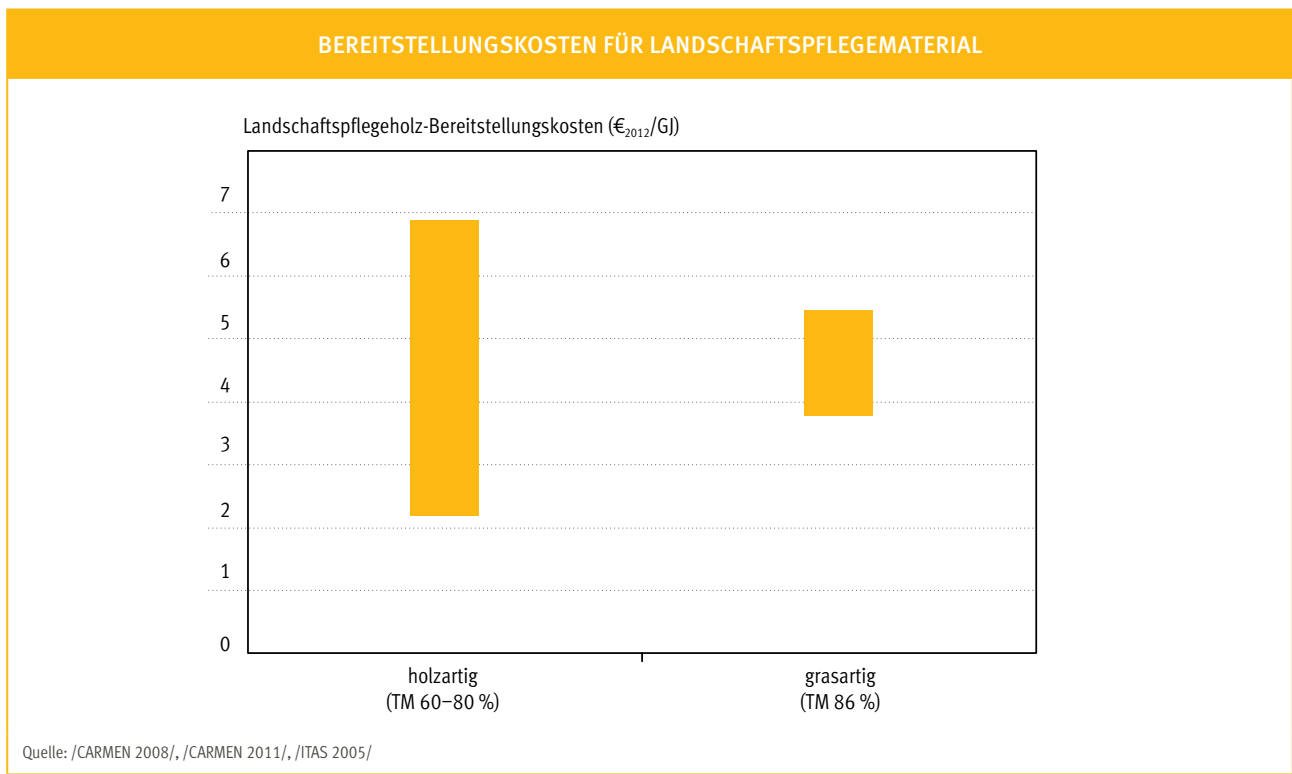


Abb. 5.13: Bandbreite der Bereitstellungskosten für Landschaftspflegematerial

reitstellungskosten zwischen 2,2 und 6,9 €/GJ. Die Bandbreite der Bereitstellungskosten für grasartiges Landschaftspflegematerial (TM 86 %) ist etwas geringer und bewegt sich zwischen 3,8 und 5,5 €/GJ. Die Kosten für Landschaftspflegematerial sind daher von Fall zu Fall zu bestimmen, da eine pauschale Kostenberechnung schwierig ist.

5.3.7 Vergleich der Bereitstellungskosten verschiedener biogener Festbrennstoffe

In diesem Kapitel werden die zuvor ermittelten Bereitstellungskosten der betrachteten Brennstoffe frei Konversionsanlage zusammengeführt (Abb. 5.14). In der Abbildung werden jeweils die niedrigsten und höchsten Bereitstellungskosten für jeden Biobrennstoff aufgezeichnet (basierend auf Abb. 5.9, Abb. 5.10, Abb. 5.11, Abb. 5.12, Abb. 5.13), um eine Bandbreite der möglichen Brennstoffkosten zu zeigen. Die Brennstoffkosten liegen insgesamt zwischen 2,3 und 14,6 €/GJ bzw. zwischen 0,8 und 5,1 ct/kWh.

Aus Abbildung 5.14 wird ersichtlich, dass die höchsten Brennstoffbereitstellungskosten bei Kurzumtriebsplantagen sowie der Bereitstellung von Miscanthusballen anfallen. Die Rückstände bzw. Nebenprodukte wie Waldhackschnitzel und Stroh haben deutlich niedrigere Bereitstellungskosten. Die Kosten für Landschaftspflegematerial sind niedrig im Vergleich zu anderen, was aber situationsabhängig ist.

5.4 Entwicklung der Brennstoffpreise seit 2001

Die historischen Preise für biogene Festbrennstoffe und Heizöl sind in der Abbildung 5.15 dargestellt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Produkte, die alternativ genutzt werden können (z. B. Stroh, Hackschnitzel und Getreide), sich nicht nur am Brennstoffmarkt orientieren.

Es wird ersichtlich, dass die Preise für alle Brennstoffe in den letzten Jahren gestiegen sind. Gründe hierfür sind u. a. eine verstärkte Energienachfrage und die Inflation. Die Preise für Heizöl liegen dabei immer im oberen Bereich der Bandbreite aller hier dargestellten Energieträger. Auch waren die Heizölpreise in den letzten Jahren durch eine hohe Volatilität geprägt. Unter den Bioenergieträgern zeigen v. a. Getreidekörner, die auf dem internationalen Markt konkurrieren, deutliche Preisschwankungen über die Jahre hinweg. Holzbrennstoffe (Hackschnitzel, Pellets und Scheitholz) sind demgegenüber durch geringere Preisschwankungen gekennzeichnet. Die (vor allem kurzfristigen) Heizölpreisänderungen haben momentan noch keinen direkten Einfluss auf die Preise von Hackschnitzeln, Pellets und Scheitholz. Für Stroh liegen offizielle Preisangaben erst seit 2010 vor. Damit kann noch keine Aussage bezüglich der Preistendenzen getroffen werden.

Für manche Brennstoffe können noch keine Preise angegeben werden, für andere nur in eingeschränktem Maß. Bisher besteht beispielsweise noch kein Markt für Miscanthusballen oder Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen, da sich diese

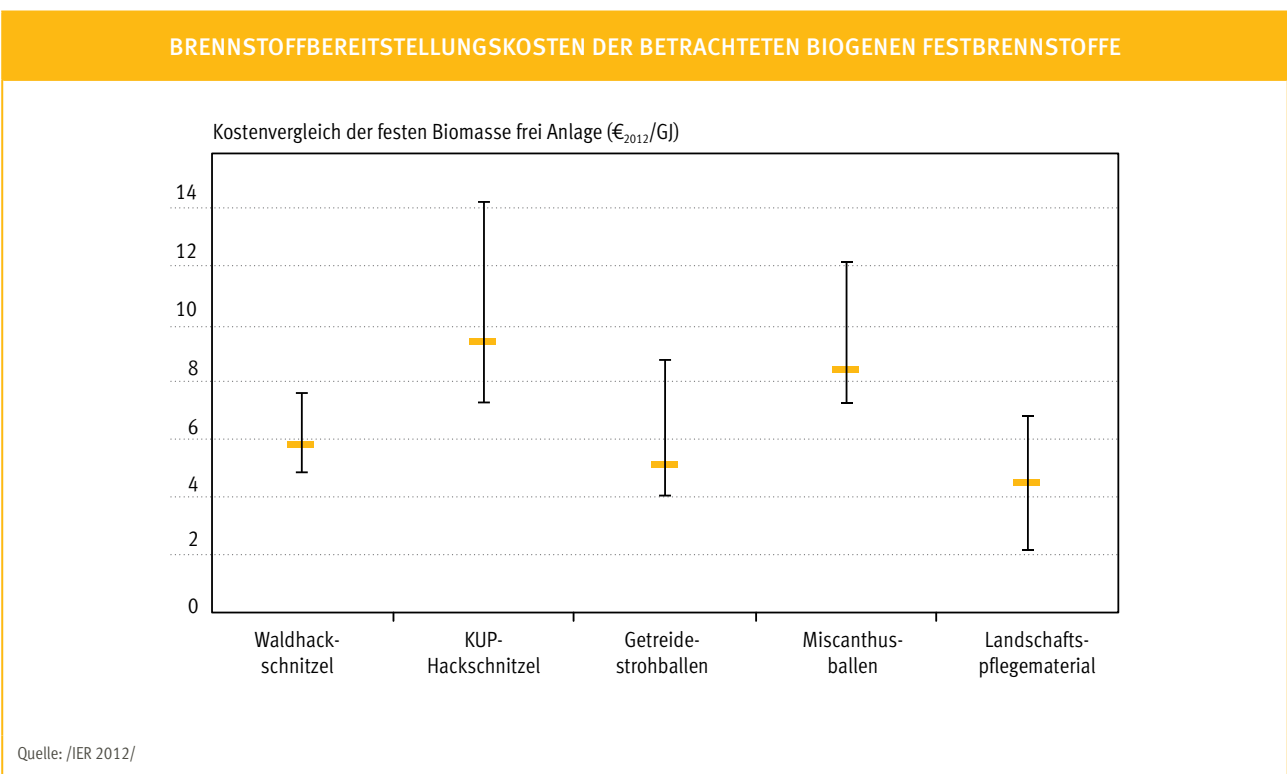


Abb. 5.14: Brennstoffbereitstellungskosten frei Anlage (gesamte Bandbreite) der betrachteten biogenen Festbrennstoffe

nachwachsenden Rohstoffe derzeit noch in der Versuchspphase befinden und bisher nur in sehr kleinem Umfang angebaut werden. Allerdings kann man davon ausgehen, dass die Marktpreise für Kurzumtriebsplantagen bzw. Miscanthus sehr ähnlich (wenn nicht gleich) wie die für Hackschnitzel bzw. Stroh sein sollten. Es ist ebenfalls sehr schwierig, Preise für Landschaftspflegeheu anzugeben. Falls es sich um ein Entsorgungsproblem handelt, ist es sogar möglich, dass für die Abnahme des Materials bezahlt werden muss /Hartmann und Madeker 1997/.

Der Vergleich zwischen den Kosten (Abb. 5.14) und Preisen (Abb. 5.15) der Bioenergieträger zeigt, dass die Kosten für die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln derzeit in der Größenordnung bzw. etwas unterhalb des allgemeinen Preisniveaus liegen. Für KUP dagegen sind die Bereitstellungskosten höher als die Hackschnitzelpreise.

5.5 Einnahmen des laufenden Betriebes und Förderungen

Die Einnahmen des laufenden Betriebes eines Heiz(kraft)werkes umfassen Erlöse aus der Wärme- bzw. Kälte- und/oder Stromabgabe. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Zuschüsse bzw. zinsgünstige Darlehen über Förderprogramme zu beziehen. Eine ausführliche Beschreibung der Fördermöglichkeiten für energetische Biomassennutzung sind dem Dachleitfaden und Kapitel 6.1.2 zu entnehmen. Daher beschränken sich die folgenden Ausführungen auf die Wärme- bzw. Stromerlöse.

Wärmeabgabe an Dritte

Bei Abgabe der in Heiz(kraft)werken erzeugten Wärme an Dritte (z. B. bei Nahwärmesystemen auf der Basis von Biomasse) orientieren sich die erzielbaren Erlöse grundsätzlich an den Kosten der dezentralen Erzeugung von Wärme (Investitions- und Betriebskosten). So müssen die Wärmepreise konkurrenzfähig sein zu den Kosten, die den Wärmeabnehmern im Falle einer Eigenwärmebedarfsdeckung anfallen. Diese sind für den individuellen Fall auf der Grundlage der abnehmerspezifischen Randbedingungen zu ermitteln. Bedingt durch die Konkurrenzsituation und die gegebenen Bedingungen vor Ort können die erzielbaren Preise stark variieren. Als Richtwert kann der anlegbare Fernwärmeerzeugungspreis (3,7–9,7 ct/kWh) zugrunde gelegt werden /Blesl et al. 2008/. Es kann von einem durchschnittlichen Wärmeerzeugungspreis von ca. 5 ct/kWh ausgegangen werden. In dem Preis sind die Kosten für Over-Head, Vertrieb, Wärmemesskosten sowie Verteilung und Hausanschlusskosten nicht enthalten.

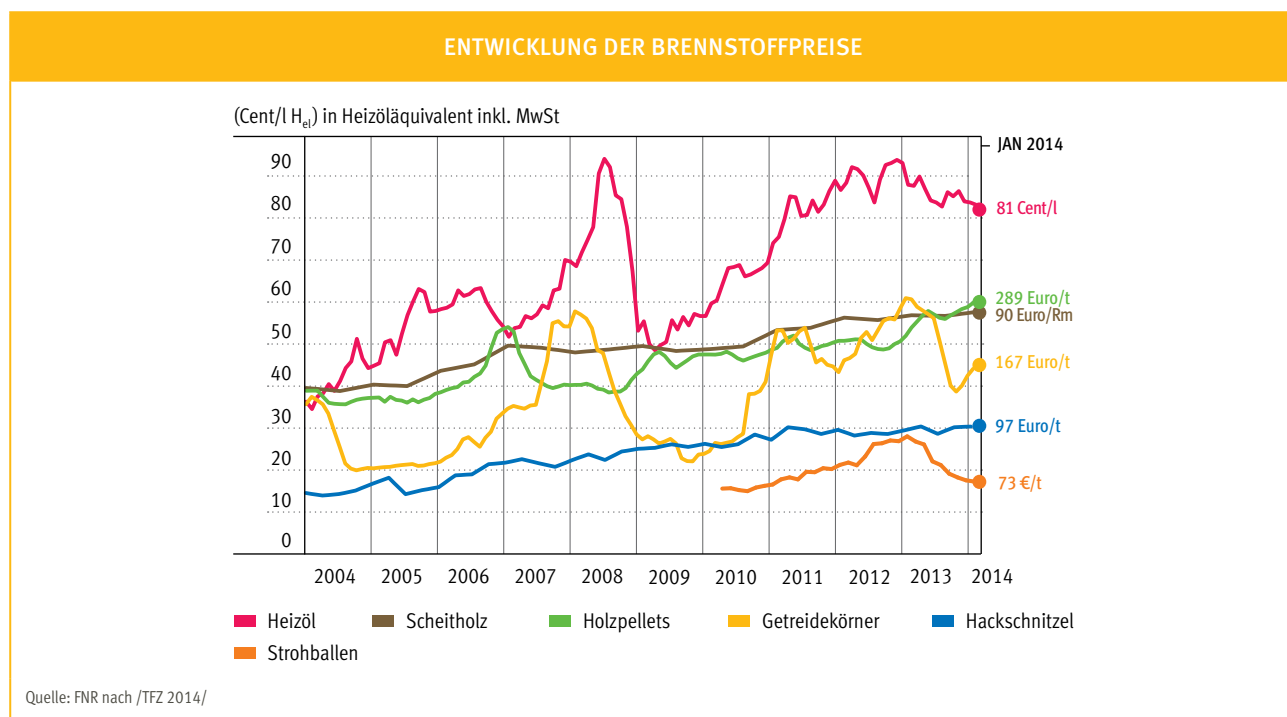


Abb. 5.15: Entwicklung der Brennstoffpreise für marktreife biogene Festbrennstoffe und Heizöl (inkl. Anlieferung und MwSt.)

Stromabgabe an Dritte

Wenn elektrische Energie erzeugt wird, beispielsweise in KWK-Anlagen, wird diese bislang im Regelfall in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). In Kapitel 4 sind die Vergütungssätze für eingespeisten Strom aus Biomasse gemäß EEG 2012 aufgeführt. Der Eigenverbrauch von Strom wird nur bei Fotovoltaikanlagen durch das EEG gefördert.

5.6 Ermittlung der Energieerzeugungskosten anhand von Beispielen

Zur Veranschaulichung der Ermittlung von Energieerzeugungskosten werden nachfolgend Beispielrechnungen für ein Heizwerk und ein Heizkraftwerk vorgestellt (siehe Tabelle 5.23). Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Energieerzeugungskosten ist in Kapitel 6.2.2 dokumentiert. Die Eingangsdaten sind aus Kapitel 5.1 bis 5.3 entnommen. Nachfolgend werden zunächst die Anlagendimensionierung und die getroffenen Annahmen vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

Beispiel 1: Heizwerk mit 800 kW Hackschnitzelkessel und Erdgasspitzenlastkessel

Es wurden folgende Grundannahmen für die Wärmebereitstellung der Beispielanlage 1 getroffen:

- Komplettes Heizwerk zur Grundlastabdeckung auf vorhandenem Grundstück mit 800-kW-Biomasse-Heißwasserkessel mit einem Nutzungsgrad von 85 % (mit zugehöriger Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR) sowie Multizyklon, errichtet in neu erstelltem Heizraum).
- Zur Abdeckung der Spitzenlast wird ein Erdgaskessel mit einer Feuerungswärmeleistung von 2×600 kW mit einem Nutzungsgrad von 90 % eingesetzt.

Es wurden folgende Grundannahmen für die Wärmeverteilung der Beispielanlage 1 getroffen:

- Nahwärmenetz im Gebäudebestand,
- 50 Wärmeabnehmer mit durchschnittlich 15 kW (1- bis 2-Familien-Haus) Anschlussleistung und einem jährlichen Wärmebedarf von 22,5 MWh pro Haushalt,
- 2 Industrieabnehmer mit je 250 kW Anschlussleistung und einem jährlichen Wärmebedarf von 1.438 MWh pro Unternehmen,
- Haupttrassenlänge 2.500 m mit 125 mm Durchmesser,
- Unterverteilungslänge 650 m mit 65 mm Durchmesser,
- Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,9,
- Verluste im Wärmenetz: 10%.

Beispiel 2: Hackschnitzelkessel mit ORC (1 MW_e) und Erdgasspitzenlastkessel

Es wurden folgende Grundannahmen für die Wärmebereitstellung der Beispielanlage 2 getroffen:

- Komplettes Heizkraftwerk zur Grundlastabdeckung auf vorhandenem Grundstück mit einer Thermoölleistung von ca. 6,7 MW. Diese wird über einen Biomassekessel mit einem Nutzungsgrad von 88 % bereitgestellt.

- Die wärmegeführte ORC-Anlage liefert mit einem elektrischen Nutzungsgrad von 15 % bzw. einem thermischen von 80 % 1 MW elektrische und 5,4 MW thermische Energie, die in einem Wärmenetz genutzt werden kann.
- Zur Abdeckung der Spitzenlast werden drei Erdgaskessel mit einer Leistung von je 3,3 MW eingesetzt.

Es wurden folgende Grundannahmen für die Wärmeverteilung der Beispielanlage 2 getroffen:

- Nahwärmenetz im Gebäudebestand,
- 500 Wärmeabnehmer mit durchschnittlich 15 kW (1- bis 2-Familien-Haus) Anschlussleistung und einem jährlichen Wärmebedarf von 22,5 MWh pro Haushalt,
- 2 Industrieabnehmer mit je 800 kW Anschlussleistung und einem jährlichen Gesamtwärmebedarf von 12.800 MWh,
- Haupttrassenlänge 10 km mit 200 mm Durchmesser,
- Unterverteilungslänge 5,6 km mit 65 mm Durchmesser,
- Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,9,
- Verluste im Wärmenetz: 10%.

Die spezifischen Wärmeerzeugungskosten wurden mit der Annutzenmethode ohne Wärmeverteilung berechnet. Bei der Beispielanlage 2 wurden die Erlöse durch den Stromverkauf (EEG-Vergütung) in Höhe von 18,76 ct/kWh_{el} als Gutschriften berechnet.

Die spezifischen Erzeugungskosten für das 800-kW_{th}-Heizwerk betragen 5,35 ct/kWh_{th}, bei der ORC-Anlage betragen die Wärmeerzeugungskosten 4,37 ct/kWh_{th}. Die spezifischen Kosten der ORC-Anlage ohne EEG-Einspeisevergütung belaufen sich auf 7,53 ct/kWh_{th}. Es wird deutlich, dass die spezifischen Wärmeerzeugungskosten der ORC-Anlage nur dann unter denen des Heizwerks liegen, wenn die EEG-Vergütung betrachtet wird.

Bei beiden Anlagen machen die Biomassekosten den größten Anteil an den Energieerzeugungskosten (ca. 50%) aus. Somit werden die Energieerzeugungskosten dieser Anlagen durch Änderungen der Biomassekosten am meisten beeinflusst.

Die Investitionskosten machen bei dem Heizwerk einen viel geringeren Anteil (10%) an den spezifischen Wärmeerzeugungskosten als bei der ORC-Anlage (28%) aus. Dies ist auf die relativ hohen ORC-Modulkosten zurückzuführen (ca. 1.750 €/kW). Die Gesamtinvestitionskosten der ORC-Anlage belaufen sich auf 7,5 Mio. €, die des Heizwerks betragen 0,3 Mio. €.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Bioenergieanlage ist es wichtig, dass ein hoher Anteil der erzeugten Wärme abgesetzt werden kann. Sollte der Wärmeabsatz geringer sein (z. B. geringer Anteil an Industrieabnehmern etc.), steigen die spezifischen Wärmeerzeugungskosten insbesondere der ORC-Anlage deutlich an.

Die in Tabelle 5.23 aufgelisteten Werte beinhalten jeweils keine Kosten für die Wärmeverteilung, da diese weniger von den oben genannten Anlagendaten bestimmt werden, sondern vielmehr von den individuellen Bedingungen vor Ort abhängen (z. B. Anzahl Wärmeabnehmer, Dichte der Bebauung, Verlegung der Wärmetrasse auf befestigtem oder nicht befestigtem Grund etc.). So können beispielsweise im Falle der Deckung des Wärmebedarfs lediglich eines Abnehmers die Kosten für die Wärmeverteilung vernachlässigbar gering sein, während bei Nahwärmesystemen zur Versorgung Dritter häufig beträchtliche Kosten für das Wärmenetz anfallen.

TAB. 5.23: BEISPIELHAFTHE BIOENERGIEANLAGEN UND ERMITTLUNG DER WÄRMEBEREITSTELLUNGSKOSTEN (OHNE WÄRMEVERTEILUNG)

	Einheit	Beispiel 1 (800-kW _{th} -Heizwerk)	Beispiel 2 (1-MW _{el} -ORC-Anlage)
Basisdaten:			
Biomassekesselleistung	MW	0,8	6,7
Erdgaskesselleistung	MW	2 × 0,6	3 × 3,3
ORC-Modul (Wärmeleistung)	MW	–	5,4
ORC-Modul (elektrische Leistung)	MW	–	1
Erzeugte jährliche Wärmemenge	MWh/a	4.000	26.700
davon Biomassekessel bzw. ORC	MWh/a	3.200	24.000
davon Erdgaskessel	MWh/a	800	2.700
Jährlicher Brennstoffbedarf	MWh/a	4.654	37.170
davon Biomasse	MWh/a	3.765	34.200
davon Erdgas	MWh/a	889	2.970
Volllaststunden (Biomassekessel/ORC)	h/a	4.000	4.500
Volllaststunden (Erdgaskessel)	h/a	670	715
Brutto-Investitionskosten	1.000 € ₂₀₁₂	293,9	7.733,50
davon Biomassekessel	1.000 € ₂₀₁₂	114,6	2.166,50
davon ORC	1.000 € ₂₀₁₂	–	1.740,50
davon Gaskessel (Spitzenlast)	1.000 € ₂₀₁₂	61,7	346,5
davon Bautechnik	1.000 € ₂₀₁₂	73,5	1.933,40
davon Elektro- u. Leittechnik	1.000 € ₂₀₁₂	14,7	773,4
davon Sonstige	1.000 € ₂₀₁₂	29,4	773,4
Gesamte jährliche Kosten:			
Ohne EEG-Förderung	1.000 € ₂₀₁₂ /a	214,1	2.012,70
Mit EEG-Förderung	1.000 € ₂₀₁₂ /a	214,1	1.166,70
davon jährliche Kapitalkosten ^a	1.000 € ₂₀₁₂ /a	21,6	569
davon Biomassekosten ^b	1.000 € ₂₀₁₂ /a	109,6	994,3
davon Erdgaskosten ^c	1.000 € ₂₀₁₂ /a	62,2	207,8
davon Personalkosten	1.000 € ₂₀₁₂ /a	12,1	32,5
davon Wartungskosten	1.000 € ₂₀₁₂ /a	4,8	123,7
davon Ascheentsorgungskosten	1.000 € ₂₀₁₂ /a	0,9	7,9
davon Sonstige ^d	1.000 € ₂₀₁₂ /a	2,9	77,3
davon Gutschrift für Strom ^e	1.000 € ₂₀₁₂ /a	–	–845,9
Spez. Wärmeerzeugungskosten^f	ct/kWh	5,35	4,37

Quelle: /IER 2012/

^a Investitionskosten multipliziert mit Annuitätenfaktor (realer Zinssatz 4 % und Lebensdauer 20 Jahre)^b Biomassepreise mit 8,1 €/GJ (29,1 €/MWh) (siehe Kapitel 5.4)^c Erdgaspreise mit 19,4 €/GJ (70,0 €/MWh) /CARMEN 2012/^d Versicherungen, Betriebsmittel etc.^e Stromvergütung 18,76 ct/kWh (siehe Kapitel 4.3.1 für weitere Informationen)^f spezifische Wärmeerzeugungskosten ohne Wärmeverteilung (inkl. Stromgutschrift bei Beispiel 2)

TAB. 5.24: TYPISCHE WERTE FÜR DIE GESAMTEN INVESTITIONSKOSTEN VON BEISPIELHAFTEN NAHWÄRMENETZEN (GEBÄUDEBESTAND, ASPHALTIERT)

	Anschlussleistung (kW)	Anzahl Wärmeabnehmer	Länge (m)	Durchmesser (mm)	Wärmeübergabestationskosten ohne Anschluss (€ ₂₀₁₂ /kW)	Spezifische Kosten (€ ₂₀₁₂ /m)	Gesamtkosten (€ ₂₀₁₂)
Beispiel 1 (800 kW_{th})							
Haupttrasse			2.500	125		565	1.412.312
Unterverteilung			650	65		399	259.361
Anschluss Haushalt	15	50			67		50.099
Anschluss Industrie	250	2			34		17.050
Summe							1.738.822
Beispiel 2 (ORC 1 MW_{th})							
Haupttrasse			10.000	200		823	8.232.362
Unterverteilung			5.600	65		399	2.234.498
Anschluss Haushalt	15	500			67		500.987
Anschluss Industrie	800	2			26		41.317
Summe							11.009.165

Quelle: /IER 2012/

Daher können verlässliche Schätzungen der Kosten der Wärmeverteilung lediglich auf der Grundlage der individuellen Konzipierung erfolgen. Um dennoch die Größenordnung der Kosten von Nahwärmesystemen zu veranschaulichen, sind in Tabelle 5.24 exemplarisch Kosten der Wärmeverteilung für die beschriebenen Beispielanlagen 1 und 2 aufgeführt.

Werden die Gesamtkosten der Tabelle 5.23 mit denen der Tabelle 5.24 verglichen, so stellt man fest, dass in den dargestellten Fällen die Investitionskosten der Wärmeverteilung dem Zwei- bis Sechsfachen der Anlageinvestitionskosten entsprechen. Die spezifischen Wärmeerzeugungskosten inkl. Wärmeverteilung (40 Jahre Lebensdauer des Wärmenetzes) betragen somit 8,4 ct/kWh_{th} für das Heizwerk bzw. 7,3 ct/kWh_{th} für die ORC-Anlage.

Bezüglich der Kostenannahmen ist abschließend anzumerken, dass es sich hierbei um typische Werte handelt, von denen im individuellen Fall durchaus auch beträchtliche Abweichungen aufgrund fallspezifischer Besonderheiten möglich sind.

5.7 Literaturverzeichnis

/BayWa 2009/

BayWa AG: Pflanzenschutz-Preisliste. München 2009.

/Blesl et al. 2008/

Blesl, M.; Kempe, S.; Ohl, M.; Fahl, U.; König, A.; Jenssen, T.; Eltrop, L.: Wärmeatlas Baden-Württemberg – Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen. Februar 2009. URL: www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/90488/BWK25007SBer.pdf?command=downloadContent&filename=BWK25007SBer.pdf&FIS=203 [Stand: Januar 2011].

/BLU 2009/

Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLU): Merkblatt – Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. Augsburg 2009.

/BMELV 2008/

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Pachtpreise für landwirtschaftliche Grundstücke in Deutschland 2007 regional überdurchschnittlich angestiegen (fast zwei Drittel der Fläche gepachtet).

URL: <http://berichte.bmelv-statistik.de/WBB-3700005-2008.pdf> [Stand: 20.12.2013].

/BMWA 2003/

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) (Hrsg.): Energie Daten 2003 – Nationale und internationale Entwicklung. Berlin 2003.

/Boelcke 2003/

Boelcke, B.: Wie viel Stroh ist für die Humusreproduktion einzuplanen? Institut für Acker- und Pflanzenbau, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. URL: www.lfa.mvnet.de [Stand: 2003].

/CARMEN 2005/

Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.): Projektbewertung und Qualitätssicherung durch QM Holzheizwerke. Straubing 2005. URL: www.carmen-ev.de/dt/portrait/sonstiges/banken05/krapf.pdf [Stand: 27.04.2012].

/CARMEN 2008/

C.A.R.M.E.N. e.V.: Möglichkeiten zur energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial. Fachkongress, Rosenheim 2008.

/CARMEN 2011/

C.A.R.M.E.N. e.V.: Aufbereitung und Energetische Nutzung von holzigem Landschaftspflegematerial (LaPf). In: Dokumentation zur Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“ in Berlin, 1./2. März 2011. Hrsg.: Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ).

/CARMEN 2012/

C.A.R.M.E.N. e.V.: Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln – der Energieholz-Index. URL: www.carmen-ev.de/dt/energie/hackschnitzel/hackschnitzelpreis.html [Stand: 29.09.2012].

/CREFF 2012/

CREFF Final Report: Cost reduction and efficiency improvement of Short Rotation Coppice on small field sizes and under unfavourable site conditions by focusing on high product quality and a product-oriented cooperative value chain. Schlussbericht, 2011. URL: www.creff.eu/var/creff/storage/htmlarea/2977/file/2012-03-19%20Final%20Report%20CREFF_def.pdf[Stand: 16.01.2014].

/DBFZ 2011/

Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) (Hrsg.): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung. Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. Band 2. Leipzig 2011.

/DIN 276-1: 2008-12/

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 276: Kosten im Bauwesen – Teil 1: Kosten im Hochbau. Dezember 2008. Berlin: Beuth Verlag, 2008.

/DIN 276-4: 2009-08/

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 276: Kosten im Bauwesen – Teil 4: Ingenieurbau. August 2009. Berlin: Beuth Verlag, 2009.

/Eberhardinger et al. 2009/

Eberhardinger, A.; Warkotsch, W.; Zormaier, F.; Schardt, M.; Huber, T.; Zimmer, B.: Prozessanalyse und Ökobilanzierung der Bereitstellung von Waldhackgut. Projektbericht im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Freising 2009.

/EK 2008/

Europäische Kommission (Hrsg.): „Gesundheitscheck“ der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). URL: http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index_de.htm [Stand: 22.05.2012].

/Environmental Protection Agency 2008/

Energy and Environmental Analysis (an ICF International Company): Technology Characterization: Steam Turbines. Erstellt für Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership Program. Washington DC, USA, 2008.

/FNR 2007/

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 2., vollst. überarb. Aufl. Rostock 2007.

/Gislerud 1985/

Gislerud, O.: Storage and Treatment of Wood Fuel. Norwegian Forest Research Institute. Ås-NLH, Norwegen, 1985.

/Hartmann 1997/

Hartmann, H.: Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. „Gelbes Heft“ Nr. 60. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München 1997.

/Hartmann 2001/

Hartmann, H.: Brennstoffzusammensetzung und Eigenschaften. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin: Springer Verlag, 2001, S. 248–272.

/Hartmann 2002/

Hartmann, H.: Kosten der Energiegewinnung aus Biomasse. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3. Münster: Landwirtschaftsverlag, 2002.

/Hartmann und Madeker 1997/

Hartmann, H.; Madeker, U.: Der Handel mit biogenen Festbrennstoffen – Anbieter, Absatzmengen, Qualitäten, Service, Preise. Landtechnik Bericht Nr. 28. Landtechnik Weihenstephan (Hrsg.). Freising 1997.

/Hartmann et al. 2000/

Hartmann, H.; Böhm, T.; Maier, L.: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), Reihe „Materialien“, Nr. 154. München 2000.

/HOAI 2009/

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) in der Fassung vom 30.04.2009, der der Bundesrat am 12.06.2009 zugestimmt hat. URL: www.hoai.de/online/HOAI_2009/HOAI_2009.php [Stand: 20.12.2013].

/Höldrich et al. 2006/

Höldrich, A.; Hartmann, H.; Decker, T.; Reisinger, K.; Schardt, M.; Sommer, W.; Wittkopf, S.; Ohrner, G.: Rationelle Scheitholzbe-
reitungsverfahren. Straubing 2006.

/IBS 2012/

Ingenieurbüro für Haustechnik Schreiner (IBS): Hackschnitzel-
heizungen – Grundlagen.
URL: <http://energieberatung.ibs-hlk.de/planhack.htm> [Stand: 10.08.2012].

/Idler et al. 2004/

Idler, C.; Daries, W.; Scholz, V.; Egert, J.: Probleme und Lösungs-
ansätze zur Lagerung von Feldhackgut. In: Energieholzprodukti-
on in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Öko-
logie und Ökonomie. Institut für Agrartechnik Bornim (Hrsg.).
Potsdam-Bornim 2004.

/IER 2010/

Institut für für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwen-
dung (IER) an der Universität Stuttgart (Hrsg.): Systemanalyse
Erzeugung und Nutzung biogener Gase in Baden-Württemberg.
III. Zwischenbericht. Stuttgart 2010.

/IER 2012/

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
(IER), Universität Stuttgart: Eigene Berechnungen und Auflistun-
gen. Stuttgart 2012

/IFAS 2004/

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IFAS) (Hrsg.):
Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung
von Biomasse in Rheinland-Pfalz. Birkenfeld 2004.

/IFEU 2008/

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU)
(Hrsg.): Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland.
Heidelberg 2008. URL: [www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU_](http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU_Positionspapier_Stroh.pdf)
[Positionspapier_Stroh.pdf](http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU_Positionspapier_Stroh.pdf) [Stand: 20.12.2013].

/ITAS 2005/

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
(ITAS), Forschungszentrum Karlsruhe: Entwicklung von Szena-
rien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher
Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Her-
stellung von synthetischen Kraftstoffen. Karlsruhe 2005.

/Jentsch et al. 2008/

Jentsch, A.; Pohlig, A.; Dötsch, C.: Leitungsgebundene Wärme-
versorgung im ländlichen Raum. In: Handbuch zur Entschei-
dungsunterstützung – Fernwärme in der Fläche. Oberhausen
2008.

/Jirjis 1996/

Jirjis, R.: Storage and Drying of Biomass – New Concepts. Pro-
ceedings of the 1st International, Biomass Summer School
1996, Institut für Verfahrenstechnik, TU-Graz. Graz 1996.

/Kaltschmitt und Hartmann 2009/

Kaltschmitt, M. und Hartmann, H.: Energie aus Biomasse –
Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Aufl. Heidelberg:
Springer Verlag, 2009.

/Kaltschmitt und Streicher 2008/

Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A. (Hrsg.): Regenerative
Energien in Österreich: Grundlagen, Systemtechnik, Umweltas-
pekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Wiesbaden: Sprin-
ger Verlag, 2009.

/Kanswohl et al. 2006/

Kanswohl, N.; Schlegel, M.; Tack, F.; Kirschbaum, H. G.; Orth, M.:
Lagerungsverhalten von Holzhackschnitzeln in Mieten. In: Land-
technik Jgg. 2006, Nr. 1, S. 24–25.

/KGS 2011/

Wilken, V.: Kostensätze Gütertransport Straße (KGS) – Unver-
bindliche Kostensätze für Gütertransporte auf der Straße. Düs-
seldorf: Verkehrs-Verlag Fischer, 2011.

/Kofman 2001/

Kofman, P. D.: The influence of storage and drying on the qua-
lity of wood fuels. In: FNR (Hrsg.): Eigenschaften biogener Fest-
brennstoffe. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band
17. Münster: Landwirtschaftsverlag, 2001, S. 164–174.

/König 2009/

König, A.: Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrieren-
der energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesys-
tem Deutschland bis 2030. Dissertation. Stuttgart 2009.

/KTBL 2002/

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
(KTBL): Taschenbuch Landwirtschaft 2002/2003 – Daten für
betriebliche Kalkulationen in der Landwirtschaft. Darmstadt
2002.

/KTBL 2006/

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
(KTBL): Energiepflanzen. Datensammlung für die Planung des
Energiepflanzenbaus. Darmstadt 2006.

/KTBL 2010/

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/2011. Darmstadt 2010.

/KTBL 2012/

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Kalkulationsdaten. URL: www.ktbl.de/index.php?id=792 [Stand: 22.05.2012].

/LTV 2002/

Landtechnischer Verein in Bayern e.V. (LTV): Weihenstephaner Bauprogramm. Freising-Weihenstephan 2002.

/LWF 2009/

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Hackschnitzel richtig lagern. LWF Merkblatt 11. Freising 2009. URL: www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-merkblaetter/mb-11-hackschnitzel-lagern.pdf [Abruf: 20.12.2013].

/Nussbaumer 2009/

Nussbaumer, T.: Abgasreinigung und -kondensation. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Heidelberg: Springer Verlag, 2009, Kap. 10.4.

/Oberberger et al. 2008/

Oberberger, I.; Biedermann, F.; Thonhofer, P.; Gaia, M.; Bini, R.: Neue Klein-ORC-Technologie (200 kW_{el}) für dezentrale Biomasse-KWK-Anlagen. In: Tagungsband „Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen“. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2008.

/Özdemir 2012/

Özdemir, E. D.: The future role of alternative powertrains and fuels in the german transport sector, a model based scenario analysis with respect to technical, economic and environmental aspects with a focus on road transport. Dissertation. Stuttgart 2012.

/Peisker 2007/

Peisker, D.: Pelletierung von Stroh. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Vortrag vom 11.07.2007. URL: www.tll.de/ainfo/pdf/pell0707.pdf [Stand: 20.12.2013].

/Prankl und Weingartmann 1994/

Prankl, H.; Weingartmann, H.: Hackguttrocknung Wippenham. Wieselburg 1994.

/Proplanta 2012/

Proplanta: Das Informationszentrum für Landwirtschaft. URL: www.proplanta.de/Agrar/ [Stand: 22.05.2012].

/RTS 2010/

RTS Steuerberater Info: Umsatzsteuer für Holz und Holzzeugnisse, März/2010. URL: www.rtskg.de/topnews/news0310/umsatzsteuer_holz_produkte.php [Stand: März 2010].

/Schaub 2009/

Schaub, M.: Wärmekraftkopplung mit Biogas für Fernwärmeversorgungen. Präsentation vom 15. Januar 2009 in Biel-Bienne, Schweiz.

/Schaumann und Schmitz 2009/

Schaumann, G.; Schmitz, K. W. (Hrsg.): Kraft-Wärme-Kopplung für eine effiziente Energienutzung bei der Energieversorgung in der Industrie, in Kommunen und in Gebäuden. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2009.

/Schmidt 2007/

Schmidt, E.: Gasreinigung. In: Chemie Ingenieur Technik 2007, 79, Nr. 11, S. 1883–1892.

/Scholz et al. 2005/

Scholz, V.; Idler, Ch.; Daries, W.; Egert, J.: Lagerung von Feldholzhackgut. Verluste und Schimmelpilze. In: Agrartechnische Forschung 11 (2005), Heft 4, S. 100–113.

/Scholz et al. 2008/

Scholz, V.; Lorbacher F. R.; Idler, C.; Spikermann, H.; Kaulfuß, P.; Brankatsch, G.: Technische Bewertung und Optimierung der Pflanz-, Ernte- und Lagerungstechnologien für schnellwachsende Baumarten. In: DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz. Endbericht. November 2008.

/TFZ 2014/

Technologie und Förderzentrum (TFZ): Entwicklung der Brennstoffpreise (inkl. Anlieferung und MwSt.). URL: www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/energetischenutzung/035092/index.php [Stand: 07.04.2014].

/TLL 2010/

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL): Ertragserwartungen bei Kurzumtriebsplantagen, Jena 2010. URL: www.ibc-leipzig.de/typo3/fileadmin/templates/downloads/Vetter.pdf

/University of Illinois 2004/

University of Illinois: Ethanol / Biodiesel Production (Coal Gas / Steam). Chicago, USA, 2004.

/VDI 6025 1996/

VDI 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungsverfahren für Investitionsgüter und Anlagen, Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren. November 1996. Berlin: Beuth Verlag, 1996.

/Warsitza 2008/

Warsitza, C., Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), schriftliche und mündliche Mitteilung vom 12. März 2008. In: Münch, J.: Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg 2008. URL: www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU_Positionspapier_Stroh.pdf [Stand: 20.12.2013].

/Wilhelm 2007/

Wilhelm, H.: ORC-Prozess in der Fernwärme. Vortrag: Biebertal 2007.

/Wittkopf 2005/

Wittkopf, S.: Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation an der Technischen Universität München, 2005.

/Wittkopf et al. 2003/

Wittkopf, S.; Hömer, U.; Feller, S.: Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). LWF-Bericht 38, Freising 2003.

/Wolff 2005/

Wolff, F.: Biomasse in Baden-Württemberg – ein Beitrag zur wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Holz als Energieträger. Dissertation. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2005.

/Wuppertal Institut 2006/

Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Endbericht. Wuppertal, Leipzig, Oberhausen, Essen, Januar 2006.

/ZSW 2004/

Bandi, A.; Specht, M.: Gewinnung von Methanol aus Biomasse. Hrsg.: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Stuttgart 2004.