

LEITFADEN

Leitfaden Halmgutheizwerke

Wirtschaftlichkeit und Planungsrichtwerte



IMPRESSUM

Titel

Leitfaden Halmgutheizwerke

Berichtszeitraum

01.06.2017 – 31.05.2019

Herausgeber

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Telefon: 03843/789-0

Fax: 03843/789-111

poststelle@lfa.mvnet.de

www.lfamv.de

Autoren

Telse Vogel • Telefon: 03843 789 254

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Titelfoto

Matthias Dietze

Dummerstorf, 01.06.2019

GEFÖRDERT DURCH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

INHALT

1	Einleitung.....	5
2	Technische Anforderungen an ein Halmgutheizwerk.....	6
3	Kostenstruktur von Halmgutheizwerken	7
4	Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Halmgutheizwerken	9
4.1	Wärmepreis.....	9
4.2	Auslastung	10
4.3	Brennstoffbereitstellungskosten.....	11
4.4	Transport.....	12
4.5	Lagerung	13
4.6	Brennstoffqualität	14
4.7	Aschenutzung und -verwertung	14
4.8	Nahwärmenetz	16
5	Finanzierung und Fördermöglichkeiten.....	18
6	Literatur	19
6.1	Literaturhinweis	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Transportband für die Brennstoffzufuhr (1) und Blick in einen Halmgutkessel (2).....	7
Abbildung 2	Kostenstruktur eines Halmgutheizwerkes im Vergleich zu einem Gasheizwerk	8
Abbildung 3	Veränderung des Betriebsergebnisses bei Veränderung des Wärmepreises, der Auslastung, des Brennstoffpreises und der Förderhöhe um 20%.	9
Abbildung 4	Wärmegestehungskosten eines Halmgutheizwerk in Abhängigkeit von der Auslastung und im Vergleich zum Gaspreis für Haushalte, Gewerbe und Industrie.....	10
Abbildung 5	Wärmegestehungskosten im Vergleich zum Wärmepreis (niedrig: 50 bzw. hoch 80 Euro/t) in Abhängigkeit vom Brennstoffpreis.....	12
Abbildung 6	Kostenstruktur der Lagerung in Abhängigkeit von der Lagerart.....	13

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Definition der Düngemitteltypen nach DüMV (2012) und Möglichkeit der Zuordnung der Halmgutaschen zu den Düngemitteltypen (Schlegel, 2019).....	15
Tabelle 2	Kosten für ein Nahwärmenetz unterteilt in Hausübergabestation, Rohrleitungsbau sowie die Planung.....	16

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
Bh	Betriebsstunden
C	Kohlenstoff
Cl	Chlor
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tag
h	Stunde
ha	Hektar
K	Kalium
K ₂ O	Kaliumoxid
Km	Kilometer
kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
mineral.	mineralisch
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
N	Stickstoff
NO _x	Stickstoffoxide
org.	organisch
PJ	Petajoule
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
S	Schwefel
t	Tonnen
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
wsl.	wasserlöslich

DANKSAGUNG

Wir danken den Praxisbetrieben für die Bereitstellung der Betriebsdaten und für ihre konstruktive Mitarbeit, ohne die die vorliegende Auswertung nicht möglich gewesen wäre.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wird durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert und durch den Projektträger Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) administrativ betreut. Wir bedanken uns für die Finanzierung und die sehr gute Zusammenarbeit.

1 Einleitung

Die Bioenergie hat aufgrund ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten eine bedeutende Rolle bei der Bereitstellung von Energie. Auf der anderen Seite steigt weltweit die Nachfrage nach Agrarprodukten aufgrund des globalen Anstiegs der Weltbevölkerung. Damit steigt auch die Konkurrenz um landwirtschaftliche Flächen zwischen Nahrungs- und Futtermittelproduktion, der stofflichen Nutzung und der Erzeugung von Bioenergie (UBA, 2012). Dieser Konflikt wird durch den Klimawandel und seinen Auswirkungen auf die Biomasseproduktion noch verstärkt und mündet derzeit in einer fortschreitenden Übernutzung von landwirtschaftlichen Flächen (IPCC, 2018). Die energetische Nutzung von Stroh und Heu könnten zur Entschärfung dieses Konflikts beitragen und gleichzeitig die Nachhaltigkeit von Bioenergie steigern.

In Deutschland werden ca. 16,7 Millionen Hektar landwirtschaftlich genutzt. Das entspricht fast der Hälfte der Fläche der Bundesrepublik Deutschland. Davon sind ca. 71 Prozent Ackerland und 28 Prozent Dauergrünland. Auf knapp 40 Prozent des Ackerlandes wird in Deutschland Getreide angebaut. Daraus resultiert ein hohes Potenzial von 8 bis 13 Mio. t Stroh, das nicht für die Tierhaltung oder Humusproduktion benötigt wird (Weiser et al., 2014). Hinzu kommt ein hohes Potenzial an Grünlandbiomasse aufgrund einer zunehmend intensiveren Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte und der rückläufigen Nutzung von Grünlandbiomasse in der Tierhaltung und des gleichzeitigen europaweiten Verbots der Umwidmung von Grünland zu Ackerland (UBA, 2018; DAFA, 2013).

Die Nutzung von Stroh- und Heu in Heiz(kraft)werken ist in Deutschland noch nicht weit verbreitet, während das Strohpotenzial im Nachbarland Dänemark schon landesweit in Heiz(kraft)werken energetisch genutzt wird. Damit ist die Technik für die energetische Strohnutzung bereits vorhanden und erprobt. Zudem kann die energetische Verwertung des Halmgutes (Heu und Stroh) die Wertschöpfung im ländlichen Raum steigern und einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele Deutschlands leisten.

In früheren Untersuchungen wurde häufig eine geringere wirtschaftliche Effizienz von Halmgutheizwerken im Vergleich zu Gasheizwerken festgestellt. Die Gründe dafür wurden in dem Vorhaben „Wirtschaftlichkeit verschiedener Wertschöpfungsketten von halmgutbasierten Heizwerken mit Nahwärmenetzen (WWHH)“ ermittelt. Dazu wurden in Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse und einer Treibhausgasbilanz von vier Halmgutheizwerken und einem Halmgutheizkraftwerk die Wettbewerbsfähigkeit und das Treibhausgasvermeidungspotenzial entlang der gesamten Wertschöpfungskette bestimmt. Die Analyse basiert auf realen Daten aus der Praxis, die im Rahmen einer Befragung von einem Lohnunternehmen (Brennstoffbereitstellung) und von den Heiz(kraft)werken (Energiebereitstellung) ermittelt wurden. Für die weiteren Untersuchungen (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) wurde auf Grundlage der Praxisdaten ein Modellheizwerk entwickelt, das die Realität widerspiegelt ohne Rückschlüsse auf die einzelnen Praxisbetriebe ziehen zu können.

Die Verwertung von Stroh bzw. Heu in Heiz(kraft)werken ist aus technischer Sicht schon heute mit hohen Wirkungsgraden möglich und kann darüber hinaus die Wertschöpfung im ländlichen Raum steigern und einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Ein wirtschaftlicher Betrieb eines Halmgutheiz(kraft)werkes bedarf aber optimaler Bedingungen. In diesem Leitfaden sind Planungsrichtwerte zusammengefasst, die die Wirtschaftlichkeit von Halmgutheiz(kraft)werken steigern können.

2 Technische Anforderungen an ein Halmgutheizwerk

Die Verbrennung von Biomasse gilt als CO₂-neutral, da nur so viel CO₂ freigesetzt wird, wie vorher während des Wachstums gebunden wurde. Der Heizwert eines Brennstoffs und damit die freiwerdende Energie bei der Oxidation wird weitestgehend vom C-Gehalt bestimmt (Hartmann, 2009). Stroh und Heu weisen C-Gehalte in Höhe von 43 bis 48% auf. Daneben enthalten Heu und Stroh Stickstoff (N), Chlor (Cl), Schwefel (S) und Kalium (K), die sich auf den Ausstoß von Treibhausgas(THG)-Emissionen und auf weitere verbrennungsrelevante Eigenschaften auswirken. Die hohen Gehalte an N und S erhöhen die Gefahr von NO_x-Emissionen und SO₂-Emissionen (FNR, 2014). Distickstoffmonoxid (Lachgas) ist ein Treibhausgas, dessen Treibhauswirksamkeit 298-mal so groß ist wie die von CO₂. Zudem ist der Einsatz von Halmgut aufgrund des hohen Aschegehalts mit hohen Staubemissionen (5 - 6 Gew.-%) verbunden (FNR, 2014). Diese hohen THG- bzw. Staubemissionen führen zu hohen Kosten für die Rauchgasreinigung.

Stroh und Heu haben zudem aufgrund ihrer hohen K-Konzentrationen einen niedrigeren Ascheschmelzpunkt (<1000 °C) (Hartmann, 2009; FNR, 2014). Dies setzt hohe Anforderungen an die Anlagentechnik und ist mit einem erheblichen Investitionsbedarf verbunden. Hinzu kommt, dass die hohe Konzentration an Cl und S die Gefahr von Korrosionen steigern und zusammen mit dem niedrigen Ascheerweichungspunkt den Wartungs- und Reparaturaufwand und die damit verbundenen Kosten steigern.

Das technische Konzept eines Halmgutheizwerks muss für einen effizienten, störungs- und wartungsarmen Betrieb an den Brennstoff und die örtlichen Gegebenheiten angepasst sein. Dabei muss eine sichere Versorgung der Verbraucher zu vertretbaren Wärmepreisen gewährleistet werden. Die technischen Anlagenkomponenten eines Halmgutheizwerkes beinhalten (CARMEN, 2004):

- die Brennstoffzufuhr einschließlich Ballenauflöser,
- den Brennstoffkessel,
- die Rauchgasreinigungssysteme und
- den Wärmespeicher.

In Halmgutheizwerken mit einem Leistungsbereich von 0,5 - 1 MW werden Stroh und Heu in Form von Ballen genutzt. Die Brennstoffzufuhr in den Brennraum erfolgt mit einem Förderband mit Ballenauflöser, das zuvor mit einem Teleskoplader beladen wird. Bei der Länge des Transportbandes sollte darauf geachtet werden, dass der Platz mindestens für einen Brennstoffbedarf von einem Tag ausreicht. Dadurch kann der Arbeitszeitbedarf deutlich reduziert werden. Nach dem Ballenauflöser wird das Halmgut dem Kessel (Brennraum) zugeführt.

Als Kessel kommen in Deutschland hauptsächlich Rost- und Drehrohrkessel zum Einsatz. Bei einem Rostkessel wird der Brennstoff mittels eines Vorschubrosts durch den Brennraum transportiert. Der Rost ist dabei Wassergekühlt, um die Temperaturen bei maximal 800 °C bis 900 °C zu halten und damit Verunreinigungen im Brennraum durch Ascheerweichung zu vermeiden. Bei einem Drehrohrkessel erstreckt sich die Verbrennung über den gesamten rotierenden Drehrohrkessel mit turbulenten Flammenwirbel (800 °C). Anschließend wird in einer isolierten Nachverbrennungskammer die Rauchgase bei mindestens 850 °C und zwei Sekunden Verweilzeit vollständig ausgebrannt.

Mit einem Wärmetauscher, in der Regel Rauchgaszüge, wird die Wärme über einen Pufferspeicher dem Nahwärmenetz zugeführt. Die Rauchgasreinigung erfolgt über einen Zyklonabscheider (grobe Rußpartikel) mit nachfolgendem Gewebefilter (Feinpartikel). Die Ascheaustragung wird vollautomatisch über einen Ascheschaber im Brennraum gewährleistet. Diese wird mittels Schneckenförderer in einem geschlossenen Behälter entleert. Zudem müssen am Standort des Heizwerkes ein Brennstofflager und ein Nahwärmenetz vorhanden sein.

Der Anteil der Kosten für das Halmgutheizwerk, das Lager und das Nahwärmenetz an den gesamten Wärmegestehungskosten betragen durchschnittlich:

- Halmgutheizwerk: 80%
- Lager: 5%
- Nahwärmenetz: 15%

Dabei kann sich der Anteil der Kosten für das Heizwerk, das Lager oder Nahwärmenetz an den Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen sowie gesetzlicher und politischer Rahmenbedingungen ändern. Deswegen wird im Folgenden zuerst die Kostenstruktur von einem Halmgutheizwerk im Vergleich zu einem Gasheizwerk dargestellt. Diese beruht auf der Auswertung von ökonomischen Praxisdaten von Halmgutheizwerken in Deutschland. In einem zweiten Schritt werden die Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit eines Halmgutheizwerkes bestimmt und Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt.



Abbildung 1 Transportband für die Brennstoffzufuhr (1) und Blick in einen Halmgutkessel (2).

3 Kostenstruktur von Halmgutheizwerken

Zur Feststellung des wirtschaftlichen Erfolgs von einem geplanten Halmgutheizwerk muss der zu erwartende Gewinn in Relation zu dem Kapitalbedarf (inkl. Verzinsung) gesetzt werden. Dazu müssen alle Kosten, die für den Bau und Betrieb eines Halmgutheizwerkes notwendig sind, berücksichtigt werden. Die Kostenstruktur eines Halmgutheizwerkes lässt sich dabei unterteilen in:

- a) Kapitalgebundenen Kosten
 - Investitionskosten (Mehrwertsteuer)
 - Planungs-/ Genehmigungskosten
- b) Betriebsgebundene Kosten
 - Kosten für die Instandhaltung, Wartung und Reinigung
 - Verwaltung
 - Personalkosten
 - Versicherung
- c) Verbrauchsgebundene
 - Brennstoffkosten
 - Kosten der Aschentsorgung
 - Kosten für Strom und Hilfsstoffe

Leitfaden Halmgutheizwerke

Die Kostenstruktur von einem Halmgutheizwerk unterscheidet sich deutlich von der eines Gasheizwerks. Die Wärmegestehungskosten eines Gasheizwerks werden maßgeblich von den verbrauchsgebundenen Kosten (Brennstoffpreis) bestimmt, während diese beim Stroh- und Heuheizwerk sowohl von den verbrauchs- als auch von den kapitalgebundenen Kosten maßgeblich beeinflusst werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Aus diesem Grund hat bei einem Halmgutheizwerk die Auslastung einen höheren Effekt auf die Wärmegestehungskosten als bei einem Gasheizwerk. So sinken die Wärmegestehungskosten von einem Halmgutheizwerk um 38% bei einer Auslastung von 5.000 h/a im Vergleich zu einer Auslastung von 1.750 h/a. Bei einem Gasheizwerk beträgt die Differenz nur 7%.

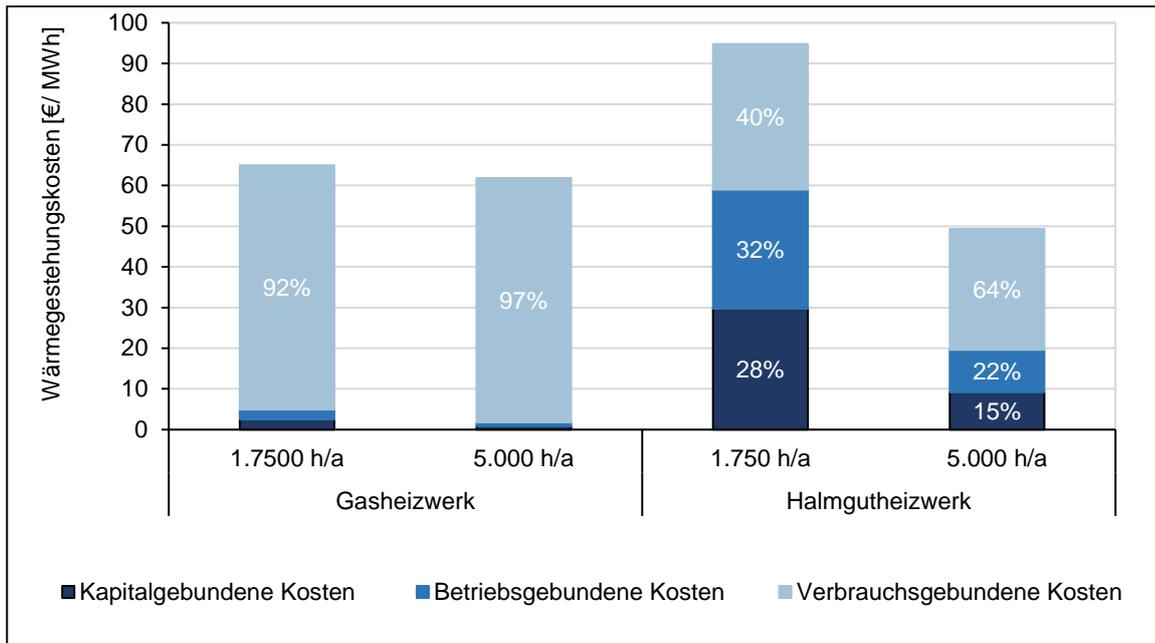


Abbildung 2 Kostenstruktur eines Halmgutheizwerkes im Vergleich zu einem Gasheizwerk

Daher ist ein Halmgutheizwerk bei einer Auslastung von 1.700 h/a i.d.R. nicht wettbewerbsfähig mit einem Gasheizwerk. Bei der Auslastung von 5.000 h/a hat ein Halmgutheizwerk dagegen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber einem Gasheizwerk.

4 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Halmgutheizwerken

Der Wärmepreis, die Auslastung, die Brennstoffkosten und die Förderung haben nach diesen Untersuchungen den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Halmgutheizwerks. Dabei nimmt der Effekt dieser Einflussfaktoren auf das Betriebsergebnis in folgender Reihenfolge ab: Wärmepreisentwicklung = Auslastung > Standortwahl > Brennstoffpreisentwicklung (Abbildung 3).

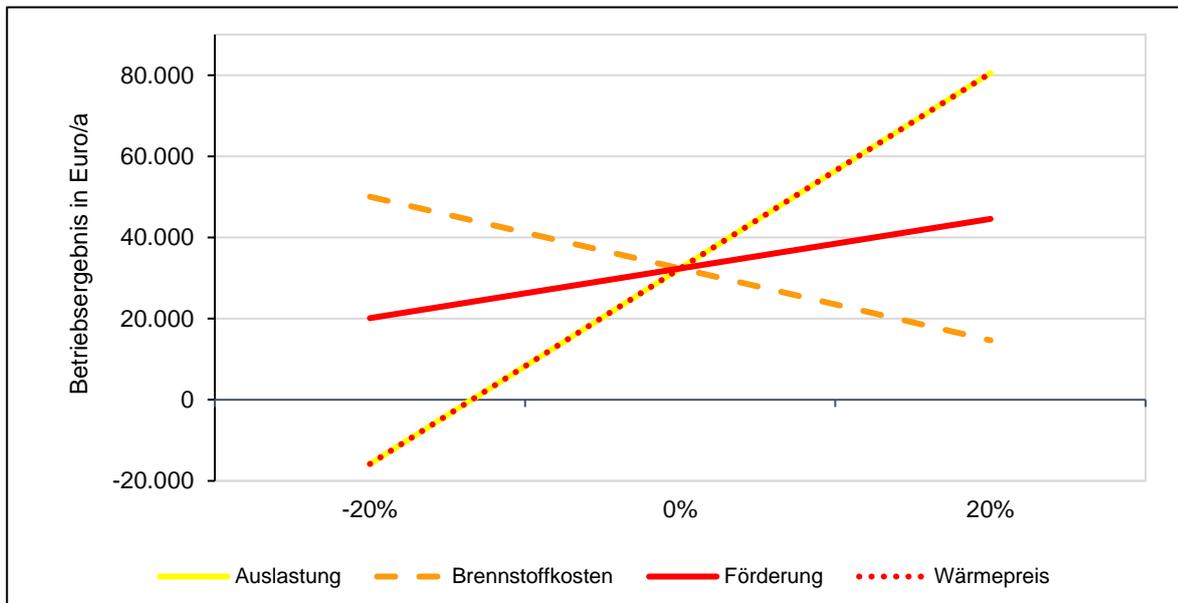


Abbildung 3 Veränderung des Betriebsergebnisses bei Veränderung des Wärmepreises, der Auslastung, des Brennstoffpreises und der Förderhöhe um 20%.

4.1 Wärmepreis

Der Wärmepreis setzt sich aus einem Leistungspreis (auch Grundpreis genannt), einem verbrauchsabhängigen Arbeitspreis und einem jährlich einmalig zu zahlenden Messpreis zusammen. Der Leistungspreis dient zur Abdeckung der Fixkosten. Beim Arbeitspreis handelt es sich um die verbrauchsgebundenen Kosten, die direkt von der bereitgestellten Wärmemenge abhängen.

Der Wärmepreis sollte in einem Wärmeliefervertrag vereinbart werden. Dabei sind die Bestimmungen der „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme“ (AVBFernwärmeV) zu berücksichtigen. Der Begriff Fernwärme ist hier definiert als die Versorgung Dritter unabhängig von der Netzleistung und schließt damit auch Nahwärmenetze mit ein (Topp, 2009). In einem Wärmeliefervertrag sollten folgende Punkte geklärt sein (FNR, 2014):

- Liefer- und Abnahmeverpflichtungen
- Vergütungsregelungen (mindestens Höhe der Wärmegestehungskosten)
- Vertragsdauer (mindestens 5 Jahre)
- Messverfahren
- Sonstige kommerzielle Bedingungen (z.B. Kündigungsfristen)

Damit das Heizwerk wirtschaftlich betrieben werden kann, muss der Wärmepreis mindestens so hoch sein, wie die Wärmegestehungskosten.

4.2 Auslastung

Die Auslastung hat einen großen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten eines Halmgutheizwerkes. In der Abbildung 4 sind die Wärmegestehungskosten von einem Halmgutheizwerk in Abhängigkeit von seiner Auslastung im Vergleich zum Gaspreis für Haushalte und Industrie dargestellt.

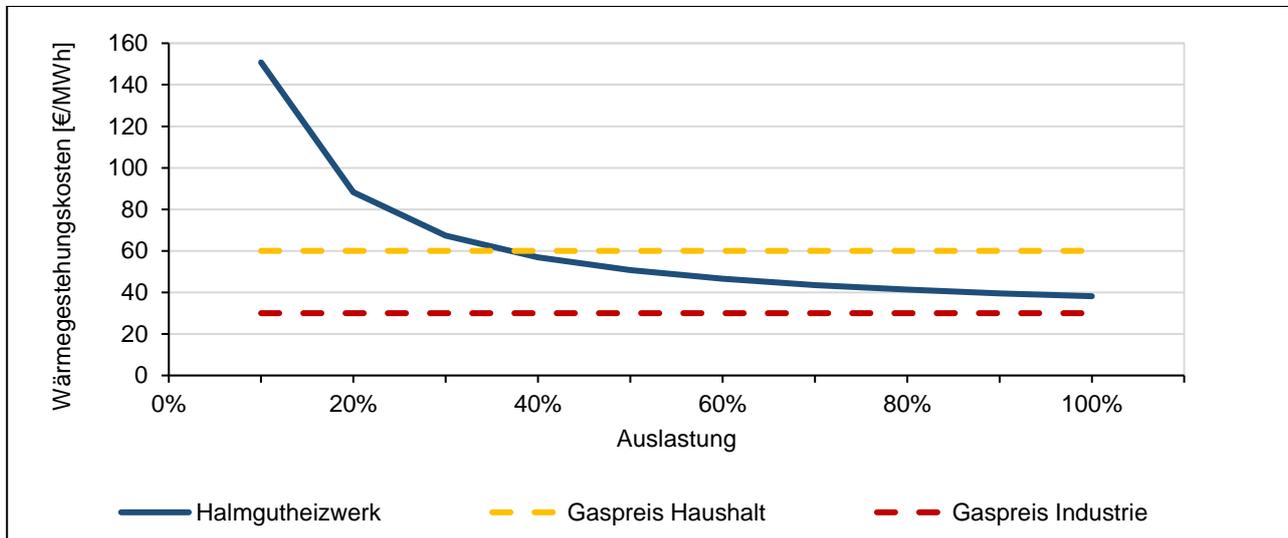


Abbildung 4 Wärmegestehungskosten eines Halmgutheizwerk in Abhängigkeit von der Auslastung und im Vergleich zum Gaspreis für Haushalte, Gewerbe und Industrie.

Die Auslastung eines Halmgutheizwerkes sollte über 50% liegen, um wettbewerbsfähig mit einem Gaspreismix für Industrie und Privathaushalte sein zu können. Aus diesem Grund sollte ein Halmgutheizwerk zum Erzielen einer möglichst hohen Auslastung nur die Grundlast decken. Die Deckung der Spitzenlast kann über ein Gasheizwerk gewährleistet werden. Außerdem muss die Dimensionierung der Anlage an den Wärmebedarf des Standorts angepasst sein. Dafür sind Wärmeabnehmer mit einem ganzjährigen hohen Wärmebedarf und einer hohen räumlicher Dichte erforderlich:

- Öffentliche Einrichtungen (Schwimmbäder, Schulen, Krankenhäuser),
- Betriebe (Molkereien, Schlachthöfe und landwirtschaftliche Betriebe mit Sauenhaltung) und
- Mehrfamilienhäuser.

Demgegenüber sind ländliche Strukturen, die häufig aus Siedlungen mit Privathaushalten mit einer großen räumlichen Distanz gekennzeichnet sind, nur bedingt geeignet. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Bestimmung des Wärmebedarfs und der Zahlungsbereitschaft für die abzunehmende Wärme in der frühen Planungsphase.

4.3 Brennstoffbereitstellungskosten

Stroh und Heu werden in den Heizwerken i.d.R. in Form von Ballen genutzt. Damit sind die Verfahren der Stroh- und Heubereitstellung bekannt und die Technik vorhanden. Eine weitere Aufbereitung (Verdichtung) des Halmguts zu Briketts oder Pellets ist derzeit noch zu kosten- und energieintensiv. Deswegen wird hier die Stroh- und Heubergung in Form von Ballen betrachtet. Die Kosten der Stroh- und der Heuballenbergung unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Verfahrensschritte und -parameter.

Bei der Strohbereitstellung werden folgende Verfahrensschritte berücksichtigt:

- Pressen,
- Vorkonzentration,
- Umschlagprozesse und
- Transport.

Die Verfahrensschritte der Etablierung und Pflege werden dem Hauptprodukt, dem Korn, angerechnet. Zudem muss ein Nährstoffentzug berücksichtigt werden, der durch Strohentnahme stattfindet. Dieser entspricht den Kosten für eine Ersatzdüngung in Höhe des Nährstoffentzugs durch die Strohentnahme. Die Strohentnahme kann darüber hinaus eine humuszerrende Wirkung haben, die sich negativ auf die Klimaschutzleistung der energetischen Strohnutzung und die Produktivität einer Ackerfläche auswirkt (Flessa et al., 2018). Geeignete Standorte für die Strohentnahme sind deswegen Regionen mit einem hohen Getreidefruchtanteil (ohne Körnermais), da hier ein Gleichgewicht von Abbau und Aufbau von Humus auch bei einer Strohentnahme gewährleistet werden kann.

Bei der Heubereitstellung wurde davon ausgegangen, dass die Grünlandfläche extensiv bewirtschaftet wird und ein einmaliger Schnitt durchgeführt wird. Eine Düngung und Pflegemaßnahmen fallen weg. Hier werden folgende Verfahrensschritte berücksichtigt:

- Mahd,
- Schwaden und Wenden,
- Pressen,
- Vorkonzentration,
- Umschlagprozesse und
- Transport.

Bei der Heubereitstellung wird die Humusbilanz nicht berücksichtigt, da auf Grünlandstandorten Humusaufbau stattfindet (Flessa et al., 2018).

Der durchschnittliche Marktpreis für Stroh lag 2018 in Deutschland bei 80 und für Heu bei 110 Euro/t (Zinke, 2019). Der Preis für Stroh und Heu unterliegt Schwankungen in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen und der Region. So führten die Trockenheit und die damit verbundene niedrigeren Erträge im Jahr 2018 zu einem starken Preisanstieg für Stroh und Heu. Zudem wird der Marktpreis indirekt vom Stroh- und Heubedarf der Tierproduktion oder Humusreproduktion beeinflusst. Die Nutzung von Heu und Stroh ist damit nicht in jeder Region aus wirtschaftlicher Sicht lohnenswert.

In der Praxis erhält ein Halmgutheizwerksbetreiber für die bereitgestellte Wärme ca. 50 - 58 Euro/MWh. Der Brennstoffpreis darf bei diesem Wärmepreis und bei einer Auslastung des Halmgutheizwerkes von 50% bei maximal 60 - 80 Euro/t liegen (Abbildung 5). Mit Anstieg der Auslastung können auch höher Brennstoffpreise gezahlt werden. So kann der Brennstoffpreis bei einer Auslastung von 60% bereits zwischen 60 und 90 Euro/t liegen. Der durchschnittliche Marktpreis für Stroh liegt in einem Bereich, den ein Halmgutheizwerksbetreiber bezahlen kann.

Anders verhält es sich beim Marktpreis für Heu, der über dem Preis liegt, den ein Halmgutheizwerksbetreiber zahlen kann. Die Nutzung von intensiv bewirtschafteten Grünland ist damit aus wirtschaftlicher Sicht nicht für den Einsatz in Heizwerken geeignet. Die energetische Nutzung von Heu aus extensiver Grünlandnutzung kann dagegen auch bei Preisen von 80 Euro/t zur Wertschöpfung im ländlichen Raum beitragen. Denn die extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen werden derzeit häufig nur gemulcht. Damit fallen hier nur Kosten an, während bei einer Heuernte für die energetische Nutzung die Kosten dem Gewinn durch den Verkauf des Heus gegenübergestellt werden können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei der Heuernte aufgrund der höheren Verfahrensschritte auch höhere Kosten als beim Mulchen anfallen.

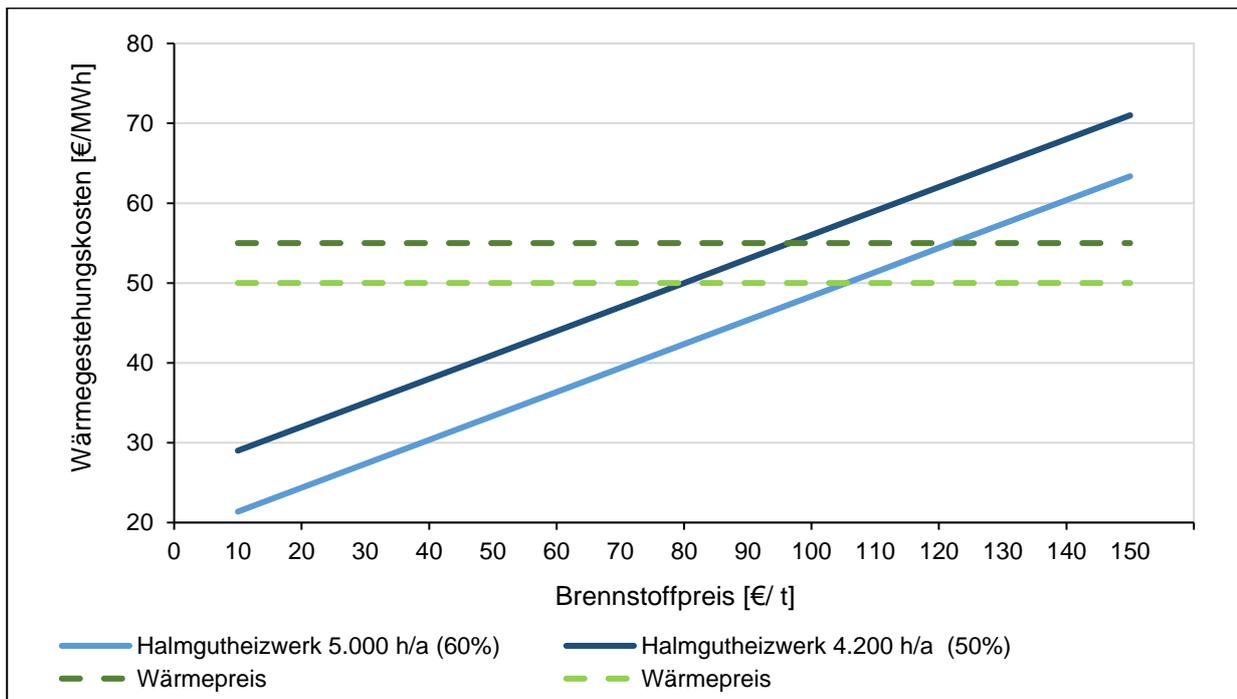


Abbildung 5 Wärmegestehungskosten im Vergleich zum Wärmepreis (niedrig: 50 bzw. hoch 80 Euro/t) in Abhängigkeit vom Brennstoffpreis

Die extensive Dauergrünlandnutzung ist z.T. als Agrarumweltmaßnahme förderfähig. Die Anforderung an die Prämienzahlung und die Höhe des Prämienatzes unterscheiden sich dabei in den Bundesländern. Die Heuernte lohnt sich teilweise nur unter der Voraussetzung einer Prämienzahlung für den Landwirt.

Um langfristig planen zu können, sollte der Heizwerksbetreiber Brennstofflieferverträge mit den Biomasselieferanten schließen. In diesem sollte die zu liefernde Brennstoffmenge, die Qualitätskriterien sowie der Brennstoffpreis und die Logistik über mindestens 5 Jahre geklärt werden.

4.4 Transport

Die Transportkosten sind insbesondere bei dem hohen Marktpreis für Heu ein wichtiger Einflussfaktor auf die Wettbewerbsfähigkeit von Halmgutheizwerken mit Gasheizwerken.

Die Transportkosten werden vom Transportweg und von der eingesetzten Transporttechnik beeinflusst. Die Wettbewerbsfähigkeit von einem LKW mit einem Schlepper wird vom Anschaffungspreis, der Auslastung sowie dem Dieserverbrauch und Zeitbedarf für den Transport bestimmt. Die Maschinenauslastung ist bei einem Schlepper durch seine vielseitigen Einsatzmöglichkeiten größer als bei einem LKW. Damit ist bei kurzen Transportwegen der Transport

mit einem Schlepper aufgrund der höheren Auslastung in der Regel kostengünstiger im Vergleich zum Transport mit einem LKW. Bei weiteren Transportwegen kann der Einsatz von einem LKW ökonomisch lohnenswert sein, da der Dieselverbrauch geringer und der Zeitbedarf kürzer ist im Vergleich zum Schlepper.

In einer Region mit dezentralen Biomasseaufkommen kann es deswegen sinnvoll sein, ein zentral gelegenes Lager anzulegen. Die Landwirte können dort die halmgutartige Biomasse mit einem Schlepper hin transportieren und der Transport von diesem Zwischenlager zum Heizwerk erfolgt dann mit einem LKW. Dies ist aber nur eine Lösung bei längeren Transportwegen (>100 km), da zwei Umschlagslinien anfallen und damit die Transportkosten insbesondere aufgrund der höheren Lohnkosten ansteigen (DBFZ, 2012).

Bei langen Transportwegen (>100 km) sollten zudem Leerfahrten vermieden und mit Hilfe einer Rückbefrachtung die Kosten gesenkt werden. Das heißt, dass das Stroh bzw. Heu zum Lager des Heizwerkes geliefert wird und in der Umgebung des Heizwerks der Lastwagen mit einer neuen Ware beladen wird. Deutlich wird eine Einsparung von Kosten durch das Vermeiden von Leerfahrten insbesondere bei Transportwegen von über 100 km. Für eine Rückbefrachtung müssen gute Transportnetzwerke bestehen. Die Rückbefrachtung von LKWs und die damit verbundene Vermeidung von Leerfahrten ist bereits Praxis, wird aber noch nicht ausreichend umgesetzt.

4.5 Lagerung

Die Lagerkosten werden maßgeblich von den kapitalgebundenen Kosten bestimmt. Diese werden durch Lagerbedarf und -art beeinflusst. Der Lagerbedarf von Stroh- und Heuballen ist aufgrund des geringen Masse/Volumen-Verhältnisses und der damit verbundenen geringen Energiedichte um einen rund 17-fachen Volumenbedarf höher im Vergleich zu fossilen Energieträgern (FNR, 2014). Bei Heizwerken bis zu 1 MW entspricht die Lagergröße in der Regel dem jährlichen Brennstoffbedarf.

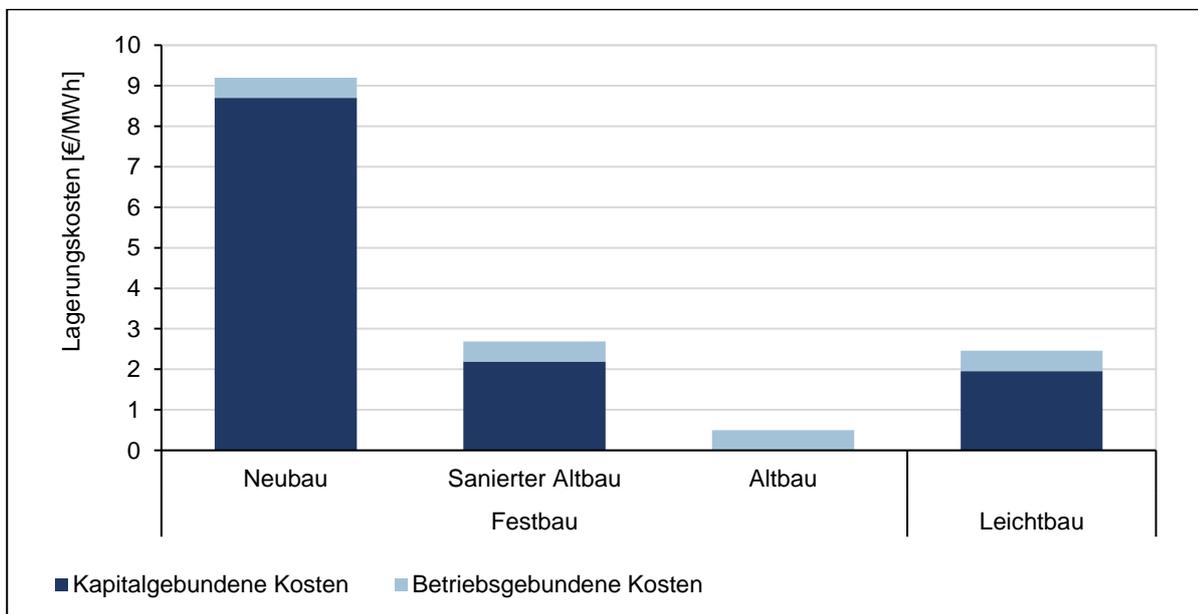


Abbildung 6 Kostenstruktur der Lagerung in Abhängigkeit von der Lagerart.

Bei der Lagerart wird zwischen festen Lagergebäuden (Festbaulager) und Leichtbau unterschieden. Bei Festbaulager kann zudem zwischen Neubau, sanierten Altbau und Altbau unterschieden werden. Die höchsten Kosten fallen mit 9,20 Euro/m³ bei einem Neubau eines Festbaulagers aufgrund der hohen Investitionskosten an (Abbildung 6). Durch das Vorhandensein eines Altbäudes am geplanten Standort des Heizwerks können die Kosten um ca. 90% und beim

Vorhandensein eines Altgebäudes mit Sanierungsbedarf um ca. 70% im Vergleich zu einem neugebauten Festbaulager gesenkt werden. Wenn keine Altgebäude am Standort vorhanden sind, können die Lagerkosten durch die Wahl einer Leichtbaulagerhalle um 70% im Vergleich zu einem neugebauten Festbaulager gesenkt werden.

Die Lagerung von Stroh und Heu kann außerdem in einer offenen Feldmiete oder einer Feldmiete mit Folienabdeckung erfolgen. Diese beiden Lagermöglichkeiten sind zwar deutlich kostengünstiger im Vergleich zu Fest- oder Leichtbauhallen, sind aber auch mit höheren Lagerverlusten (11% bzw. 8%) und einer Qualitätsminderung verbunden im Vergleich zur Lagerung in Fest- oder Leichtbauhallen (Lagerverluste. 2%) (DBFZ, 2012).

4.6 Brennstoffqualität

Die mit dem Abschnitt 2 beschriebenen Brennstoffeigenschaften von Halmgut steigern den Wartungs- und Reparaturaufwand und die damit verbundenen Kosten von Halmgutheizwerken. Diese machen 8% der Wärmegegestehungskosten von einem Heizwerk (ohne Lager und Nahwärmenetz) aus. Die Brennstoffqualität von halmgutartiger Biomasse hat damit einen großen Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage. Die Qualität des Brennstoffs hängt von dem Wassergehalt, der Brennstoffzusammensetzung und der in den Ballen enthaltenden Störstoffe (z.B. Äste, Steine, Erde) ab. Zum Teil kann der Heizwerksbetreiber bzw. der Landwirt Einfluss auf die Brennstoffqualität nehmen. So sollten nur Strohballen mit einem Wassergehalt unter 15% in einem Heizwerk zum Einsatz kommen. Dies sollte im Brennstoffliefervertrag festgelegt werden (vgl. Abschnitt 4.3).

Auf die Faktoren Brennstoffzusammensetzung und den Anteil an Störstoffen in den Ballen kann bei innerbetrieblicher Brennstoffbereitstellung ein höherer Einfluss genommen werden als beim Zukauf von Brennstoff. Dies soll am Beispiel eines Strohheizwerkes mit eigener Strohbereitstellung im folgenden Abschnitt verdeutlicht werden.

Der Betreiber eines Strohheizwerkes produziert sein Stroh im eigenen Betrieb. Durch eine höhere Schnitthöhe sowie das Auslassen von Randbereichen (z.B. Wald) senkt er den Anteil an Störstoffen. Zudem belässt er das Stroh nach der Ernte noch mehrere Tage zur Nährstoffauswaschung auf dem Feld. Dabei können die Gehalte an K (bis zu 40%) und Cl (bis zu 50%) erheblich gesenkt werden, während die Gehalte an N und S nur geringfügig beeinflusst werden (Dahms et al. 2017, Dietze und Heilmann, 2010). Die Reduktion von K wirkt sich steigernd auf den Ascheschmelzpunkt aus und kann damit zur Vermeidung von Verschlackungen im Brennraum beitragen (FNR, 2014). Zudem kann durch die Reduktion von Cl die Gefahr einer Hochtemperaturkorrosion und die Emission von HCl vermindert werden.

4.7 Aschenutzung und -verwertung

Die Entsorgung der Asche aus Halmgutheizwerken ist mit hohen Kosten (60 Euro/t) verbunden, da der Aschegehalt von Halmgut mit 4 % bis 6 % bezogen auf die Trockenmasse erheblich ist. Diese Kosten können durch eine Verwertung vermieden und zu gleich Ressourcen geschont werden. Die Nutzungsmöglichkeiten für Halmgut-asche reichen von der Nutzung als Dünger (Nährstoffrückführung), als Zuschlagsstoff für Beton und Zement bis hin zum Einsatz als Asphaltmischstoff (Naumann, 2019). Der Schwerpunkt wird in dieser Arbeit auf die Rückführung der Asche und der darin enthaltenen Nährstoffe (Asche als Dünger) auf Agrarflächen gelegt. So können die Nährstoffentzüge in Folge der Stroh- und Heuentnahme teilweise kompensiert werden (Kreislaufwirtschaft). Derzeit fallen Bundesweit aufgrund der geringen Anzahl von Halmgutheiz(kraft)werken jährlich ca. 5.000 t Halmgut-asche an (Bischoff et al., 2019). Aus Kostengründen ist derzeit nur eine dezentrale Nutzung der Halmgut-asche mit einem geringen oder keinen Aufbereitungsbedarf möglich. Dabei steht der Umweltschutz vor der Ressourceneffizienz und

deswegen müssen bei Nutzung der Halmgutaschen die Regularien der Gesetzgebung eingehalten werden.

Man unterscheidet bei der anfallenden Asche in Halmgutheizwerken zwischen der Brennraumasche mit einem Anteil von 80-90 Gew.-%, der Zyklonflugasche mit einem Anteil von 2-5 Gew.-% und der Gewebefilterasche mit einem Anteil von 5-15 Gew.-% (Obernhäuser, 1997). Diese Aschefractionen enthalten unterschiedliche Konzentrationen an Schwermetallen. Dabei nimmt die Schwermetallkonzentration in folgender Reihenfolge zu: Brennraumasche < Zyklonflugasche < Gewebefilterasche. Für den Einsatz als Düngemittel sind deswegen nur die Brennraumasche und Zyklonasche geeignet, während die Gewebefilterasche aufgrund der hohen Schadstoffgehalte nicht als Düngemittel zugelassen ist. In den Halmgutheizwerken wird die Gewebefilterasche generell getrennt ausgebracht und gelagert. Die Zyklonasche wird getrennt oder zusammen mit der Brennraumasche ausgetragen und gesammelt. Die Zyklonasche kann ebenfalls relevante Mengen an Schwermetallen enthalten und damit die Düngemittelqualität der Brennraumasche drastisch reduzieren. Aus diesem Grund sollte man die Brennraumasche und Zyklonasche getrennt voneinander austragen und lagern.

Tabelle 1 Definition der Düngemitteltypen nach DüMV (2012) und Möglichkeit der Zuordnung der Halmgutaschen zu den Düngemitteltypen (Schlegel, 2019)

Typenbezeichnung	Mindestgehalt	Zuordnung der Halmgutaschen
Kaliumdünger (Aufbereitung von Aschen)	10% wsl. K ₂ O	sehr eingeschränkt möglich (starke Schwankungen in den K ₂ O-Konzentrationen)
mineral. PK-Dünger	5% P ₂ O ₅ 5% K ₂ O	i.d.R. nur für Heuaschen möglich
org. mineral. PK-Dünger (mit mind. 10 % organ. Substanz)	0,5% P ₂ O ₅ 1% K ₂ O	Möglich
org. mineral. P-Dünger (mit mind. 10% organ. Substanz)	3% P ₂ O ₅	möglich (bei Strohaschen eingeschränkt)
org. mineral. K-Dünger (mit mind. 10% organ. Substanz)	3% K ₂ O	möglich (bei Strohaschen leicht eingeschränkt)

Hinsichtlich der Nährstoffe enthält Halmgutasche relevante Konzentrationen an P und K, während N und C bei der Verbrennung verloren gehen. In der Strohasche liegen die P₂O₅-Konzentrationen zwischen ca. 1 und 16%/ TM und die K₂O-Konzentrationen zwischen 2 und 15%/TM (Bischoff, 2019; Biertümpfel, 2010; Van Loo und Koppejan, 2008). Bei Landschaftspflegeheu liegt der P₂O₅-Gehalt zwischen 4 und 5%/TM und der K₂O-Gehalt zwischen 3 und 10%/ TM (Bischoff, 2019; Dahms, 2017). Die Halmgutaschen lassen sich damit nach DüMV unterschiedlichen Düngemitteltypen zu ordnen (Tabelle 1).

Es ist zu beachten, dass Halmgutaschen nur mineralische Bestandteile enthalten. Aus diesem Grund muss den Aschen Organik zugeführt werden, um als organisch-mineralischer Dünger eingeordnet werden zu können. Das Biomasseheizkraftwerk Emlichheim hat dies durch die Beimischung von Stroh erreicht. In Gefäßversuchen konnte bereits eine P- und K-Düngewirkung von Brennraumasche, Brennraum-Zyklonasche-Mischungen sowie Brennraumasche-Stroh-Mischung nachgewiesen werden, die bei 70-100% im Vergleich zu mineralischen Düngern liegen (Bischoff, 2019; Koal, 2019).

Durch die Rückführung der Asche auf Ackerflächen können zum einen die Kosten des Nährstoffentzugs durch die Strohentnahme für K und P zumindest teilweise kompensiert werden. Zum anderen können die Ascheentsorgungskosten um 80-90% reduziert werden.

4.8 Nahwärmenetz

In der Regel erfolgt die Einspeisung der in einem Halmguthheizwerk produzierten Wärme in ein bereits vorhandenes Nahwärmenetz. Im ländlichen Raum sind häufig keine Nahwärmenetze vorhanden, da hier die Wärmeversorgung dezentral über Heizungen erfolgt. Deswegen kann bei einer geplanten Neuinstallation von Halmguthheizwerken im ländlichen Raum der Neubau eines Nahwärmenetzes erforderlich sein. Ein Nahwärmenetz beinhaltet technische Einrichtungen innerhalb des Heizwerkes, das Wärmenetz und technische Einrichtungen auf der Verbraucherseite. Zu den technischen Einrichtungen innerhalb des Heizwerkes gehören die Kreislaufwasseraufbereitung zur Vermeidung von Korrosionsschäden und Kalkablagerungen, Druckhalteeinrichtungen und Umwälzpumpen.

Die Struktur eines Nahwärmenetzes wird von den baulichen Gegebenheiten (Straßenführung, andere Medienleitungen, räumliche Anordnung der Häuser) sowie den geographischen Bedingungen beeinflusst. Daneben müssen noch Wärmeanschlussdichten und deren zu erwartender zeitlicher Verlauf sowie die Eigentumsverhältnisse der durch den Leitungsbau berührten Flächen (Grunddienstbarkeit, Genehmigung) berücksichtigt werden. Der Standortbedingungen wirken sich außerdem auch auf die Wahl der Rohrleitungen aus.

Kunststoffmantelrohre (KMR) haben einen geringen Aufwand für den Tiefbau, ermöglichen eine geringe Verlegungstiefe und erreichen eine gute Funktionssicherheit (bei qualitativ hochwertiger Planung und Verlegung). Die Überwachung erfolgt über speziell hierfür entwickelte Lecküberwachungssysteme. Fernheizrohre mit GfK- oder PEX-Medienrohr sind aufgrund der Kunststoffausführung des Medienrohres Korrosionsbeständig und damit kann in der Regel auf Leckwarnsysteme verzichtet werden. Flexible Rohrleitungssysteme sind biegsam und wärmeisoliert und haben ein Mantelrohr aus gewelltem Polyethylen oder Stahl. Damit sind sie insbesondere auch für die grabenlose Verlegung mittels Erdverdrängungsraketen oder Spülbohrverfahren und damit an Standorten mit engem Verlegungsraum (z.B. durch viele kreuzende Medienleitungen, Erdbewegungen, Bahnschienen) geeignet.

Zudem müssen Freileitungen in Gebäuden berücksichtigt werden, sogenannte Kellerleitungen. Die verbraucherseitige Einrichtung ist die Hausübernahmestation (HÜS) mit den Armaturen sowie der Regel- und Messtechnik, die für die Entnahme eines Teilstroms aus dem Kreislaufwasser notwendig ist. Als Medium für den Transport der Wärme dient in der Regel Heizwasser mit einer Vorlauftemperatur zwischen 70 und 130 °C und einer Spreizung zwischen Vor- und Rücklaufleitung von 20 bis 40 °K. Dabei steigen die Wärmeverluste und die Kosten für die Rohrdämmung mit ansteigender Vorlauftemperatur.

Die Kosten für das Nahwärmenetz hängen von vielen Faktoren wie von den lokalen Standortbedingungen, den gewählten Rohrsystem und dem Verlegungsverfahren ab. Aus diesem Grund werden hier keine expliziten Kosten genannt, sondern nur Kostenbereiche dargestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2 Kosten für ein Nahwärmenetz unterteilt in Hausübergabestation, Rohrleitungsbau sowie die Planung.

Parameter	Kostenbereich
Hausübergangsstation	4.000 - 5.000 Euro ¹⁾
Rohrleitungsbau	50 – 400 Euro ¹⁾
Planung	15% der Gesamtkosten ²⁾

¹⁾ Nast, 2009; ²⁾ FNR, 2014

Die Kosten von einem Nahwärmenetzes wirken sich stark auf die Wärmegegostehungskosten eines Halmgutheizwerkes aus. So kann die Erforderlichkeit eines Neubaus von einem Nahwärmenetz über die Realisierbarkeit eines geplanten Halmgutheizwerks entscheiden.

Voraussetzung für den Neubau eines Nahwärmenetzes ist deswegen eine hohe Wärmedichte. Ohne Förderungen ist für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb eine Wärmedichte von mindestens 1,5 MWh/a pro Meter Wärmenetz erforderlich (FNR, 2014). Derzeit wird in Deutschland unter bestimmten Voraussetzungen der Neubau von Nahwärmenetzen schon ab einer Wärmedichte von mindestens 0,5 MWh/a pro Meter Wärmenetz gefördert (vgl. Abschnitt Finanzierung und Fördermöglichkeiten). Somit kann gegebenenfalls der Neubau von Nahwärmenetzen mit einer geringeren Dichte möglich sein.

5 Finanzierung und Fördermöglichkeiten

Die Investitionskosten sind wie beschrieben von Halmgutheizwerken sehr hoch. Aus diesem Grund spielt die Planung der Finanzierung und die sorgfältige Recherche nach Fördermöglichkeiten eine entscheidende Rolle für die Realisierung geplanter Halmgutheizwerke. Die Finanzierung von Halmgutheizwerken und gegebenenfalls auch von einem Nahwärmenetz erfolgt über Eigenmittel und Bankkredite. Ein potentieller Investor von einem Halmgutheizwerk muss dem Kreditgeber ausreichenden eigene Sicherheiten vorweisen können und ihn von der Kreditwürdigkeit des Konzeptes überzeugen. Neben einer erprobten Technik und einem Standort mit einem hohen Brennstoffpotenzial sowie einer hohen Wärmeabnehmerdichte spielen auch Aspekte der Umweltverträglichkeit eine wichtige Rolle (FNR, 2014). Können die Investitionen nicht vom Initiator des geplanten Halmgutheizwerkes gewährleistet werden ist die Contracting-Lösung eine Möglichkeit. Das bedeutet ein Contractor übernimmt die Investitionen (ggf. auch weitere Aufgaben) und der Contractornehmer zahlt für die erbrachte Energiedienstleistung (Wärme) (FNR, 2014).

In Deutschland gibt es unterschiedlich Förderprogramme, die für Halmgutheiz(kraft)werke in Frage kommen. Ein zentrales Förderinstrument für Anlagen zur Produktion von Wärme auf Basis von Erneuerbaren Energien ist auf Bundesebene das Marktanzreizprogramm (MAP) „Programm Erneuerbare Energien Premium“. Dieses MAP wird von der KfW und dem BMWi ausgeführt und gewährt Kredit und Tilgungszuschüsse für Biomasseanlagen zur Verbrennung fester Biomasse für die thermische Nutzung und Kraft-Wärme-Kopplungs-Biomasseanlage (KfW, 2019 a). Gefördert werden die Errichtung und Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse mit einer installierten Nennwärmeleistung von über 0,1 MW (bis 2 MW KWK-Anlagen). Außerdem werden die Errichtung und die Erweiterung eines Wärmenetzes inklusive der Errichtung der Hausübergabestationen gefördert, sofern mindestens 50% der Wärme aus erneuerbaren Energien stammt und das Wärmenetz überwiegenden zur Versorgung von Neubauten (60%) gebaut wird. Zudem sollte das Nahwärmenetz im Mittel mindestens eine Wärmedichte von 0,5 MWh/a pro Meter Wärmenetz haben (KfW, 2019 a). Folgend sind die Konditionen des MAP kurz zusammengefasst (KfW, 2019b):

- ab 1,00% effektiver Jahreszins
- für alle, die Wärme aus erneuerbaren Energien nutzen wollen
- Kredit bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben mit attraktivem Tilgungszuschuss
- 20% höherer Tilgungszuschuss für den Austausch besonders ineffizienter Heizungsanlagen

Weitere Informationen finden sich im Merkblatt zu diesem Anreizprogramm (KfW, 2019). Seit Juli 2017 fördert das BMWi mit dem „Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0“ Hochinnovative Niedertemperaturwärmenetze der vierten Generation. Diese Wärmenetze sollten einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien, eine effiziente Nutzung von Abwärme und ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau im Vergleich zu klassischen Wärmenetzen haben. Weitere Informationen finden sich unter BAFA (2018).

Einen Überblick über die Förderprogramme im Bereich Energieeffizienz und Umweltschutz für die einzelnen Bundesländer finden sie unter dem Link: <https://www.pius-info.de/service/foerderung-und-beratung/foerderprogramme-laender/>. Zudem kann man über die einzelnen Bundes- und Landesministerien und den Energieagenturen der Länder Informationen zu den Fördermöglichkeiten erhalten. Einen genaueren Überblick über die Fördermöglichkeiten in Deutschland und der einzelnen Länder erhält man zum Beispiel über die Förderdatenbank des BMWi.

6 Literatur

- Biertümpfel A., R. Heydrich, T. Graf, A. Vetter, 2010: Düngung mit Presskuchen und Strohasche-Auswertung 14jähriger Versuchsergebnisse -. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena, 2010. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/asch0210.pdf> (Zugegriffen April 2019)
- Bischoff, R., J. Schlegel, T. Hering, 2019: Biomasseaschen statt Mineraldünger? Erste Ergebnisse der Gefäßversuche. Fachgespräch zur Verwertung naturbelassener Biomasseaschen im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projektes "Biomasse-Asche-Monitoring (BAM)".
<https://www.thueringen.de/th9/tlllr/wir/service/veranstaltungen/materialien/fachgespraeche/index.aspx> (Zugegriffen: April 2019)
- Calderón, C., 2018: Bioenergy Europe Statistical Report European Bioenergy Outlook. Presentation. 14th European Bioenergy Future Conference 14.November in Hannover.
- CARMEN, 2004: Planungshandbuch. C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.). Straubing 2004
- DAFA (Deutsche Agrarforschungsallianz), 2013: Fachforum Grünland Forschungsstrategie der DAFA Entwurf vom 01.08.2013. <https://www.dafa.de/wp-content/uploads/FFG-2013-08-01-Strategieentwurf.pdf>.
- Dahms T, C. Oehmke, A. Kowatsch, S. Abel, S. Wichmann, W. Wichtmann, C. Schröder, 2017. Halm-gutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. 2. Auflage. Universität Greifswald. Institut für Landschaftsökologie.
- DBFZ (Deutsches Biomasse Forschungszentrum), 2014: DBFZ Report Nr. 13 - Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. DBFZ, Leipzig 2012. ISSN: 2190-7943
- Dietze M, H. Heilmann, 2010. Wirtschaftlichkeit einer dezentralen Strohheizung in Mecklenburg Vorpommern. Zwischenbericht Fo-Nr.: 3/15. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern.
- Flessa, H., A. Don, A. Jacobs, R. Dechow, B. Tiemeyer, C. Poeplau, 2018: Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustands-erhebung Herausgeber: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), November 2018.
- FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2014: Leitfaden Feste Biobrennstoffe 4. vollständig überarbeitete Auflage, Mai 2014.
- Hartmann H., (2009) Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. In: Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Hrsg.) Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S. 333-373.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- Koal P., T. Zicker, R. Bischof, J. Schlegel, R. Uptmoor, B. Eichler-Löbermann, 2019: Asche als alternativer Dünger? Agronomische Effektivität von Biomasse-Aschen als Phosphordünger. Fachgespräch zur Verwertung naturbelassener Biomasseaschen im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projektes "Biomasse-Asche-Monitoring (BAM)"
<https://www.thueringen.de/th9/tlllr/wir/service/veranstaltungen/materialien/fachgespraeche/index.aspx> (Zugegriffen: April 2019)
- Nast M., 2009: Ergebnisse im Bereich Bioenergie aus der Evaluation des Marktanreizprogramms (MAP). Vortrag auf dem 17. C.A.R.M.E.N-Symposium Konjunkturmotor Nachwachsende Rohstoffe Straubing 6.7.2009.

- Obernberger I., H. Holzner, P. Ruckenbauer, 1997: Zusammensetzung, Verwendungsmöglichkeiten und Umweltverträglichkeit von Aschen aus Biomassefeuerungen. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg): Highlights aus der Biomasseforschung 1996/1997, Tagungsband, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr und Österreichischer Biomasse-Verband. 15 Seiten In: VDI Bericht 1319, pp.199-222, 1997, "Thermische Biomassenutzung - Technik und Realisierung", ISBN 3-18-0913 19-3, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Schlegel J., R. Bischof, T. Hering, 2019: Betrachtung von Schad- und Nährstoffen im Rahmen des Biomasse-Asche-Monitorings (BAM) sowie rechtliche Voraussetzungen für eine Ascheverwertung. Fachgespräch zur Verwertung naturbelassener Biomasseaschen im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsenden Rohstoffe (FNR) geförderten Projektes "Biomasse-Asche-Monitoring (BAM).
<https://www.thueringen.de/th9/tlllr/wir/service/veranstaltungen/materialien/fachgespraeche/index.aspx> (Zugegriffen: April 2019)
- Topp A., 2009: Der Begriff der Fernwärme. In: Recht der Energiewirtschaft (RdE). RdE 4-5/2009. S. 133–138. Sonderdruck. Köln: Carl Heymanns Verlag, 2009.
- UBA (Umweltbundesamt), 2012: Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale_landflaechen_und_biomasse_lang_deutsch_bf.pdf
- UBA (Umweltbundesamt), 2018: Grünlandschutz.
<https://www.bfn.de/themen/landwirtschaft/gruenlandschutz.html>. (Zugriff: April 2019)
- UBA (Umweltbundesamt), 2019: Assessment of bio-CCS in 2°C compatible scenarios. Final report. Dessau-Roßlau, April 2019. ISSN 1862-4359.
- Weiser C, V. Zeller, F. Reinicke, B. Wagner, S. Majer, A. Vetter, D. Thraen, 2014: Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany. Appl Energy 114, 749-762. doi:10.1016/j.apenergy.2013.07.016
- Zinke O, 2019: Heu und Stroh: Preise könnten bald kippen. Agrarheute.
<https://www.agrarheute.com/markt/futtermittel/heu-stroh-preise-koennten-bald-kippen-553273>. Stand. 18.04.2019

6.1 Literaturhinweis

Schlussbericht im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten FuE-Vorhabens Wirtschaftlichkeit verschiedener Wertschöpfungsketten von halmgut-basierten Heizwerken mit Nahwärmenetzen. FKZ: 22400315