

HafenCity Universität Hamburg  
Fachbereich Infrastrukturplanung und Stadttechnik  
Studiengang: Stadtplanung

---

# **Holzpellets für Hamburgs Wärmeversorgung: Zukunft oder Abschied?**

---

BACHELORARBEIT  
zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Bachelor of Science (B.Sc.)

Til Marwitz  
geboren in Hamburg

1. Prüfer: Prof. Irene Peters, Ph.D.
2. Prüfer: Ivan Dochev, M.Sc.

Abgabedatum 26.01.2018

## **Danksagung**

Ich danke all jenen, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Frau Prof. Irene Peters, Ph.D., für das Bereitstellen des interessanten Themas und die überaus freundliche Hilfsbereitschaft, die sie mir entgegenbrachte. Ebenso danke ich Herrn Ivan Dochev, M.Sc., vielmals für seine Unterstützung und die Bereitschaft das Co-Referat zu übernehmen.

Weiterhin danke ich Herrn Roland Schwörer, Mitarbeiter der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BUE), Referat Erneuerbare Energien – Wärmekonzepte, und Herrn Dr. Henning Mangels, Umweltchemiker und Sachverständiger, die mir ihre Zeit und ihre Expertise zur Verfügung gestellt haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in allen meinen Entscheidungen unterstützt haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>6</b>
<b>Glossar</b>	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Die Rolle der festen Biomasse in der Wärmeversorgung Deutschlands	9
1.2 Fragestellung der Arbeit	10
1.3 Methode und Aufbau der Arbeit	10
<b>2. Holzpellets: Das Produkt und sein Markt</b>	<b>11</b>
2.1 Beschreibung des Produktes „Holzpellets“	11
2.2 Der deutsche Markt für Holzpellets	12
<b>3. Prozesskette vom Holz zur Verbrennung</b>	<b>16</b>
3.1 Herstellung	16
3.2 Transport	18
3.3 Lagerung	18
3.4 Einsatz von Holzpellets in Heizsystemen	20
<b>4. Emissionen von Holzpelletheizungen</b>	<b>23</b>
4.1 Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern	23
4.2 Emissionen bei der Pelletverbrennung im Vergleich mit Heizöl und Erdgas	25
4.3 Grenzwerte für kleine- und mittlere Feuerungsanlagen	27
4.4 Grenzwerte für Großfeuerungsanlagen	27
4.5 Emissionen aus der Vorkette bei Herstellung und Transport	27
<b>5. Förderung von Holzpellet-Anlagen und förderrechtliche Aspekte</b>	<b>28</b>
5.1 Bundesebene	29
5.2 Landesebene und Hamburg	32
5.3 Rechte und Pflichten von Betreibern und Kunden	33
<b>6. Vor- und Nachteile von Holzpellet-Anlagen</b>	<b>33</b>
6.1 Aus gesellschaftlicher (einschließlich volkswirtschaftlicher) Perspektive	33
6.2 Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive	35
6.3 Vor- und Nachteile auf einen Blick	36
<b>7. Holz- und Pelletheizungen in Hamburg: Status Quo</b>	<b>37</b>
7.1 Aktuelle Situation der Wärmeversorgung	37
7.2 Emissionen von Holzpelletanlagen in Hamburg	40
7.3 Verfügbarkeit von Biomasse in Hamburg	42
<b>8. Interesse und Handlungsmöglichkeiten der Stadt Hamburg</b>	<b>43</b>
<b>vis-à-vis Holzpelletheizungen</b>	<b>43</b>
8.1 Interessen der Stadt Hamburg in puncto Holzpelletheizungen	43
8.2 Handlungen der Stadt Hamburg und ihre Möglichkeiten	43
<b>9. Fazit &amp; Ausblick</b>	<b>48</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>49</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>58</b>

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Holzpellets und Baumstamm	11
Abb. 2: Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien im Jahr 2016 in Prozent	12
Abb. 3: Entwicklung und Verteilung des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien	13
Abb. 4: Pelletfeuerungen/Wärmebereitstellung in Deutschland	14
Abb. 5: Pelletproduktion und Inlandsbedarf in Deutschland	15
Abb. 6: Energiepreisentwicklung in Deutschland	16
Abb. 7: Prozesskette	16
Abb. 8: Holzeinschnitt im Sägewerk	17
Abb. 9: Holzpellet-Pressen	18
Abb. 10: Jahresbedarf und Holzpellets je nach Haustyp	19
Abb. 11: Die Holzpellettheizung	20
Abb. 12: Arten verschiedener Pelletbrenner	22
Tab. 1: Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung in Haushalten & GHD-Sektor	26
Tab. 2: Basisförderung für Holzfeuerungen von 5 bis 100 kW	30
Tab. 3: Innovationsförderung für Pelletfeuerungen von 5 bis 100 kW	30
Abb. 13: Förderungsübersicht MAP und APEE	31
Tab. 4: Vor- und Nachteile von Holzpellets	37
Abb. 14: Das Fernwärmeversorgungsgebiet in Hamburg	39
Abb. 16: Wer heizt wann	39
Abb. 17: Luftqualitäts-Messnetzwerk Hamburg	40
Tab. 5: Staubemissionen in Deutschland in Tsd. Tonnen	42
Abb. 18: Die wichtigsten Staubemissionen in Deutschland in Tsd. Tonnen	42



## Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich, vor dem Hintergrund des Klimaschutzes zukünftig mehr erneuerbare Energien einzusetzen, mit der Biomasse Holz in Form von Holzpellets. Dabei steht die Wärmeversorgung Hamburgs im Zentrum der Betrachtung. Theoretische Grundlagen und eine Beschreibung des Produktes Holzpellets im deutschen Markt sowie deren Prozesskette liefern die notwendige Basis für diese Arbeit.

Inwieweit ungewünschte Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern auftreten, wird angesichts der Luftschadstoffe analysiert. Bei der Betrachtung aus der wirtschaftlichen Perspektive nehmen bundesweite Förderungen und Subventionen von Holzpellet-Heizungen eine zentrale Rolle ein. Für die Einschätzung der Chancen und Risiken von Holzpellets dienen aufgeführte Vor- und Nachteile dieser Heizungen. Anhand der aktuellen Situation der Wärmeversorgung wird der Status Quo sowie die lokal verfügbare Menge der Biomasse Holz in Hamburg deutlich gemacht. Die Interessen und Handlungsmöglichkeiten der Stadt Hamburg zeigen ihr vergangenes, aktuelles und zukünftiges Verhältnis gegenüber Holzpellet-Heizungen auf.

Die zentralen Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich wie folgt beschreiben.

Bei der Herstellung als Abfallprodukt der Holzindustrie wird das Produkt Holzpellets im Markt in hoher Qualität angeboten. Insgesamt nimmt der Anteil an den biogenen Festbrennstoffen zu. Die Menge an Holzpellets ist stark abhängig von der Energie-Effizienz des Gebäudes. Generell liegt der Wert der Staubemissionen für Holzpellets bei der Verbrennung höher als bei den Endenergieträgern Heizöl und Erdgas, jedoch können diese mithilfe von Filtern und Beimischungen weiter gesenkt werden. Per Definition sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen als neutral festgelegt.

Volkswirtschaftlich fällt das CO<sub>2</sub>-Äquivalent für Holzpellets gering aus. Auch wird ein niedriger Primärenergiefaktor angegeben. Insgesamt haben Holzpellets ein niedriges Preisniveau.

Förderungen auf Bundes- und Landesebene in Höhe von bis zu circa 25 Prozent sind möglich. Hamburg selbst fördert zusätzlich gezielt Anlagen im Gebäudebestand ab 100 kW, sofern keine Fernwärme vorhanden ist.

Die Erneuerbarkeit von Holzpellets ist nur bei Aufforstung gewährleistet. Der Platzbedarf bei Lagerung und Befüllung sowie die Entsorgung der Asche sind einzelwirtschaftlich ein Nachteil. Das gilt ebenso für die hohen Anschaffungs- und Wartungskosten einer Holzpellet-Heizung. Status Quo: Letztendlich werden Holz-Hackschnitzel den Holzpellets bei größeren Anlagen vorgezogen, während kleine Anlagen auf kleinteilige Biomasse mit hoher Energiedichte angewiesen sind.

In Hamburg schränkt, aufgrund seiner geringen Verfügbarkeit, der Ressourcen-Vorrat Holz die Entwicklungsmöglichkeiten von Holzpellets ein. Hamburg sollte den Import von Holzpellets aus dem Ausland senken und diese aus der Region entsprechend des Bedarfs fördern. Letztendlich sollte die Holzpellet-Verbrennung mit Filtern verbessert und diese subventioniert werden.

## **Abstract**

This bachelor thesis relates to the biomass wood in the form of wood pellets considering the climate protection using renewable energies, whereby the focus is on the heating supply of Hamburg. By means of the theoretical basis and the specification of the product wood pellets in the German market as well as the process chain, the necessary foundation is laid.

In light of the relevant air pollutants it is analysed to what extent undesirable emissions occur that result from energy combustions. By consideration from the economic perspective nationwide subsidies of wood pellet heatings take a central role. To achieve a better assessment and evaluation with respect to the chances and risks of wood pellets, most important advantages and disadvantages of wood pellets heating systems are specified. Using the present situation of the heating supply, the status quo and the local available quantities of the biomass wood in Hamburg are recognised. The interests and opportunities for action of the city of Hamburg point out its former, actual and future relation to wood pellet heatings.

The central results of this thesis can be described as follows:

In the manufacture as waste product of the wood industry the product wood pellets are offered at high quality. Overall the proportion of biogenic solid fuels increases. The quantity of wood pellets is strongly dependant on the energy efficiency of the building. In general the determining values for dust emissions of wood pellets combustion are higher than for the energy source oil and natural gas, however they can be further reduced by filters and admixtures.

Economically the CO<sub>2</sub>-Equivalent for wood pellets is minor as well as a low primary energy factor is stated. Wood pellets are characterised by low price levels overall.

Subsidies on federal and state level are possible up to the amount of about 25 percent. Hamburg itself specifically supports facilities of existing buildings as of 100 kW, provided no district heating is available.

The renewability of wood pellets is only ensured with reforestation. The space requirements for storage and filling as well as the disposal of the ashes are micro-economically a disadvantage. This also applies to the acquisition and maintenance costs.

Status quo: Eventually wood chips are preferable to wood pellets in case of larger combustion facilities, whereas smaller facilities are dependent on small-format bio-mass with high energy density. Due to the limited availability of natural wood resources in Hamburg the city is limiting the development opportunities of wood pellets. Hamburg ought to reduce the import of wood pellets from abroad and support it's own region according to demand. Finally the wood pellets combustion should be improved with filters and supported by subsidies.

# **Glossar**

## **Biomasse**

Sämtliche durch Pflanzen und Tiere anfallende und erzeugte organische Substanz. Beim Einsatz zu energetischen Zwecken wird zwischen nachwachsenden Rohstoffen sowie organischen Reststoffen und Abfällen unterschieden.

## **Emissionen**

Emissionen sind gasförmige, flüssige und feste Stoffe, die von einer Anlage, einem Gebäude oder einem Verkehrsmittel in die Umwelt abgegeben werden. Die Abgabe von Wärme, Strahlung, Geräuschen und Gerüchen gilt auch als Emission.

## **Endenergie**

Endenergie ist der Teil der Primärenergie, der den Verbraucher nach Abzug von Übertragungs- und Umwandlungsverlusten erreicht und danach zur weiteren Verfügung steht. Endenergieformen sind zum Beispiel Holz, Erdgas oder Fernwärme.

## **Endenergieverbrauch (EEV)**

Als Endenergieverbrauch wird die Verwendung von Energieträgern in einzelnen Verbrauchssektoren bezeichnet, die unmittelbar zur Erzeugung von Nutzenergie oder für Energiedienstleistungen eingesetzt werden.

## **Energie**

Energie hat physikalisch betrachtet die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Energie wird in „Joule“ angegeben. Beispiele für Energieformen sind elektrische, chemische, kinetische, potenzielle oder auch thermische Energie.

## **Energieträger**

Energieträger sind Stoffe in denen Energie gespeichert ist und die für Umwandlungsprozesse nutzbar sind.

## **Erneuerbare Energien (EE)**

Energiequellen die für den Menschen unbegrenzt zur Verfügung stehen. Fast alle erneuerbaren Energien werden von der Sonne gespeist. Die drei ursprünglichen Quellen sind Sonnenstrahlung, Erdwärme und Gezeitenkraft. Diese können entweder direkt oder indirekt in Form von Biomasse, Wind, Wasserkraft, Umgebungswärme sowie Wellenenergie genutzt werden.

## **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**

Das Gesetz welches die Vorrang-Abnahmepflicht von erneuerbaren Energien durch die Netzbetreiber, die Vergütungssätze der einzelnen Erzeugungsarten als auch das Umlageverfahren der resultierenden Mehrkosten auf alle Stromabnehmer regelt. Es wurde mehrfach novelliert, zuletzt 2016.

## **Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz (EEWärmeG)**

Das Gesetz aus dem Jahr 2009 zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich regelt die Pflicht für Eigentümer von neuen Gebäuden, einen Teil des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien zu decken. Eine erste Novellierung des Gesetzes trat am 1. Mai 2011 in Kraft.

## **Fernwärme**

Thermische Energie, die durch ein System wärmedämmter Rohre zum Endverbraucher gelangt

## **Fossile Energieträger**

Fossile Energieträger sind im Laufe von Jahrtausenden unter hohem Druck und hoher Temperatur in der Erde aus Biomasse entstanden und ihr Vorrat ist endlich. Es sind Energierohstoffe mit unterschiedlichen Kohlenstoffverbindungen wie Öle, Kohlen und Gase.

## **Heizwert**

Bezeichnet die nutzbare Wärmemenge bei einer Verbrennung in Bezug auf den eingesetzten Brennstoff. Im Unterschied zum Brennwert kommt es beim Heizwert nicht zu einer Kondensation des Wasserdampfes im Abgas.

## **Holzpellets**

Zylindrische, normierte Presslinge aus getrocknetem, naturbelassenem Restholz wie Sägemehl, Hobelspäne und Waldrestholz mit circa 4 bis 10 mm Durchmesser und circa 10 bis 40 mm Länge. Sie werden unter hohem Druck ohne Zugabe von chemischen Bindemitteln hergestellt und haben einen Heizwert von circa 5 kWh/kg.

## **Kohlendioxid CO<sub>2</sub>**

Farb- und geruchloses Gas, welches natürlicher Bestandteil der Atmosphäre ist. Wird von Menschen und Tieren durch die Atmung freigesetzt. Wird von Pflanzen und Grünalgen mittels Photosynthese in energiereiche organische Verbindungen umgewandelt. Bei der vollständigen Verbrennung entsteht Kohlendioxid als Abfallprodukt der Energiegewinnung vor allem kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Kohlendioxid ist das wichtigste der klimarelevanten atmosphärischen Spurengase mit der Eigenschaft, für langwellige Wärmestrahlung schwer durchlässig zu sein. Es verhindert die gleichgewichtige Abstrahlung der kurzwelligen Sonnenstrahlung von der Erde und erhöht die Gefahr einer Temperaturerhöhung auf der Oberfläche.

## **Nutzenergie**

Die Energie, die direkt aus der Endenergie gewonnen wird und dem Endnutzer für seine Bedürfnisse zur Verfügung steht. Mögliche Formen sind Wärme zur Heizung von Räumen, Kälte zur Raumkühlung, Licht oder mechanische Arbeit.

## **Primärenergie**

Primärenergie ist der rechnerisch nutzbare Energiegehalt eines natürlich vorkommenden Energieträgers vor seiner Umwandlung.

## **Treibhausgase**

Atmosphärische Spurengase, die zum Treibhauseffekt beitragen. Beispiele sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>).

## **Vorkette**

Der vorgelagerte Prozess vor der Verbrennung von zum Beispiel Holzpellets. Hierzu zählt die Herstellung, der Transport und die Lagerung.

## **Wirkungsgrad**

Verhältnis von abgegebener Leistung zu zugeführter Leistung.

# 1. Einleitung

Biomasse deckt etwa 13,2 Prozent des Deutschen Endenergieverbrauchs für Wärme ab (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.4). Als erneuerbarer Energieträger, dessen Verfügbarkeit nicht durch Licht- oder Wetterverhältnisse beschränkt ist, kommt ihm eine besondere Bedeutung zu. In dieser Arbeit wird die feste Biomasse Holz in Form von Holzpellets in seiner Bedeutung und seinem Potential für Deutschland und insbesondere für Hamburg untersucht.

## 1.1 Die Rolle der festen Biomasse in der Wärmeversorgung Deutschlands

Die Wärmeversorgung von Gebäuden für Heizung und Warmwasser umfasste im Jahr 2015 insgesamt 32,3 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017a, S.36). Sie steht für einen Anteil, je nach Wetterjahr, von circa 15 bis 17 Prozent am deutschen Gesamt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß (vgl. Agora Energiewende, 2017, S.25). Somit kommt dieser Energieanwendung eine wesentliche Rolle im Klimaschutz zu.

Eine Strategie für die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudesektors stellt die Erhöhung der Energieeffizienz dar, also die Bereitstellung der gewünschten Energiedienstleistung für Raumwärme und Warmwasser mit weniger Energie-Input. Diese kann mit Hilfe einer besseren Dämmung der Gebäude sowie einer höheren technischen Effizienz der Versorgungsanlagen erreicht werden. Die andere Strategie besteht in der Nutzung erneuerbarer Energieträger für die Wärmeversorgung.

Erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung bestehen in erster Linie aus Solarthermie, Geothermie und Biomasse. In der Wärmeversorgung von Gebäuden bedeutet Biomasse vor allem Holz (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.14). Holz kann in verschiedenen Formen zum Heizen der Gebäude eingesetzt werden: Als Scheitholz für Kamine, als Frischholz und Altholz für größere Heizwerke, als Holzhackschnitzel für kleinere Heiz(kraft)werke und als Holzpellets für kleine Heizanlagen und Einzelöfen.

Aufgrund der Eigenschaft von Holzpellets mit der höchsten Energiedichte dieser Varianten (Heizwert gemessen in kWh/kg) und einer hohen Schüttdichte (kg Holzpellets pro m<sup>3</sup> Lageraum) eignen sie sich vorzugsweise für die kleinteilige Versorgung. Wie andere erneuerbare Wärmeenergieträger werden auch Holzpellets in Deutschland auf Bundes-, Landes und kommunaler Ebene gefördert.

Bei der Verbrennung von Holz entstehen jedoch auch ungewünschte Emissionen insbesondere in Form von Feinstaub. Das lässt sie mittlerweile in weniger günstigem Licht erscheinen. Darüber hinaus ist auch der Transport von Biomasse mit Emissionen verbunden. Je länger die Transportwege zum Ort der Nutzung, desto weniger trägt die Biomasse zum Klimaschutz bei. Für ihre sinnvolle Nutzung stellt deshalb die örtliche oder regionale Verfügbarkeit einen wesentlichen Faktor dar. So verwundert es nicht, dass nicht der Biomasse, sondern der Umgebungswärme die Hauptrolle als erneuerbarer Energieträger für die Wärmewende zugeschrieben wird (vgl. Agora Energiewende, 2017, S.47).

## **1.2 Fragestellung der Arbeit**

Der Stadtstaat Hamburg hat Holzpellets in der Wärmeversorgung gefördert und hat auch die Emissionen von Pelletanlagen im Blick. So gibt es zum Beispiel eine Vorgabe, dass dort, wo ein Fernwärmenetz liegt, keine Pelletanlage gebaut werden darf. Zudem hat Hamburg nur eine begrenzte Menge von Biomasse für die Verbrennung lokal und regional zur Verfügung. Das führt zur Fragestellung dieser Arbeit:

### **Welche Zukunft haben Holzpellets in Hamburg? Sind sie eine gute Lösung für die Wärmeversorgung in Hamburg, oder eher nicht?**

Eine umfassende Analyse dieser Frage sollte Holzpellets im Vergleich zu anderen Wärmeenergieträgern nach einer Reihe von Charakteristika bewerten, einschließlich der Sektorenkopplung und Systemintegration (also der Kopplung von Strom- und Wärmemarkt). Dies sprengt aber den Rahmen einer Bachelorarbeit. Deshalb beschränkt sich diese Arbeit darauf, die Verfügbarkeit von Biomasse für Holzpellets in Hamburg sowie die durch ihre Verbrennung ungewünschten Emissionen grob abzuschätzen und eine qualitative Aussage zu treffen, ob Holzpellets in Hamburg eine Zukunft haben werden und ob die Stadt ihre Verwendung weiter fördern sollte.

## **1.3 Methode und Aufbau der Arbeit**

Diese Arbeit stützt sich auf „weisse“ wie „graue“ Literatur, einschließlich Internetseiten und Fachzeitungen für den Praktiker, sowie zweier ausführlicher Interviews mit Experten: Herr Roland Schwörer, Mitarbeiter der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BUE), Referat Erneuerbare Energien - Wärmekonzepte und Herrn Dr. Henning Mangels, Umweltchemiker und Gutachter. Ihnen sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich für ihre Hilfe gedankt.

Die Arbeit ist in 9 Kapitel unterteilt. Zu Anfang erklärt Kapitel 2 das Produkt Holzpellets sowie seinen Markt in Deutschland. In Kapitel 3 wird in einfachen Zügen die Prozesskette der Herstellung von Holzpellets bis zu deren Einsatz bei der Verbrennung in Heizsystemen dargestellt. Nachfolgend gibt Kapitel 4 einen Überblick über die Emissionen von Holzpellettheizungen sowie deren Grenzwerte und erklärt, warum sie als „klimaneutral“ behandelt werden. Kapitel 5 behandelt verschiedene Förderungsprogramme von Holzpellet-Anlagen und die förderrechtlichen Aspekte für Betreiber und Kunden, da der betriebswirtschaftliche Aspekt bei der Anschaffung eines Heizsystems eine bedeutende Rolle spielt. Danach zeigt Kapitel 6 wichtige Vor- und Nachteile von Holzpellet-Anlagen sowohl aus volkswirtschaftlicher- als auch als einzelwirtschaftlicher Sicht auf. Kapitel 7 geht schließlich auf die aktuelle Situation der Holz- und Pellettheizungen in Hamburg ein. Kapitel 8 ergänzt im Besonderen das Interesse der Stadt Hamburg gegenüber Holzpelletanlagen mit ihren aktuellen und zukünftigen Handlungsmöglichkeiten. Den Abschluss bildet das Fazit mit Ausblick auf die Zukunft der Holzpellets für Hamburgs Wärmeversorgung in Kapitel 9.

## 2. Holzpellets: Das Produkt und sein Markt

Dieses Kapitel beschreibt das Produkt Holzpellets und skizziert den Markt für diesen Energieträger. Ergänzt wird dieser von Daten zu wirtschaftlichen Zusammenhängen.

### 2.1 Beschreibung des Produktes „Holzpellets“

Die Geschichte der Holzpellets beginnt mit der Entwicklung und Verbreitung des Pelletofens, der in den frühen achtziger Jahren in den USA von Jerry Whitfield in Seattle entwickelt und zur Marktreife gebracht wurde (vgl. Janzig, 2004). Die Verbrennung in entsprechenden Pelletöfen oder späteren Pelletkesseln ermöglicht fortan die Nutzung der enthaltenen Primärenergie für die Wärmeversorgung. Holzpellets sind in Deutschland erst seit ihrer offiziellen Zulassung im Jahr 1996 ein alternativer (Fest-)Brennstoff zu Kohle, Heizöl und Erdgas (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017).



Abb. 1: Holzpellets und Baumstamm

(Quelle: Franken-Pellets GmbH & Co. KG, 2017)

Aus der ursprünglichen Idee erwachsen, getrocknete nutzlose naturbelassene Resthölzer wie Sägemehle und Späne zu neuem Leben zu erwecken, wurden Presslinge in zylindrischer, circa 1 bis 4 cm länglicher und 0,4 bis 1 cm breiter, Form entwickelt (vgl. Pressestelle Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, 2017). Diese Pellets, englisch pellet gleich Kügelchen oder mittellänglich pelote, pelet (vgl. Bibliographisches Institut GmbH, 2017) sind im allgemeinen ein körniges und verdichtetes Schüttgut mit unebenen Abbruchkanten. Ab einem Durchmesser von mehr als 2,5 cm gelten sie als Briketts (vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013, S.35). Holzpellets werden zudem für Heizwerke und Heizkraftwerke mit zum Teil größeren Durchmessern als sogenannte Industriepellets oder auch Maxipellets angeboten (vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013, S.7).

Für den direkten Bezug der Holzpellets zur Raumwärme ist es notwendig, den Heizwert zu betrachten. Dieser weist bei Holzpellets je nach Baumart, Abbrennverhalten, Aschegehalt, Größe, Konsistenz und Wassergehalt Unterschiede auf, die bei der Konversion zu Energie beachtet werden müssen (vgl. Härdtlein et al. 2004, S.70ff). Grundsätzlich gilt: Je mehr Harze und Lignin enthalten sind, desto größer ist der Heizwert (vgl. Geitmann, 2005, S.154).

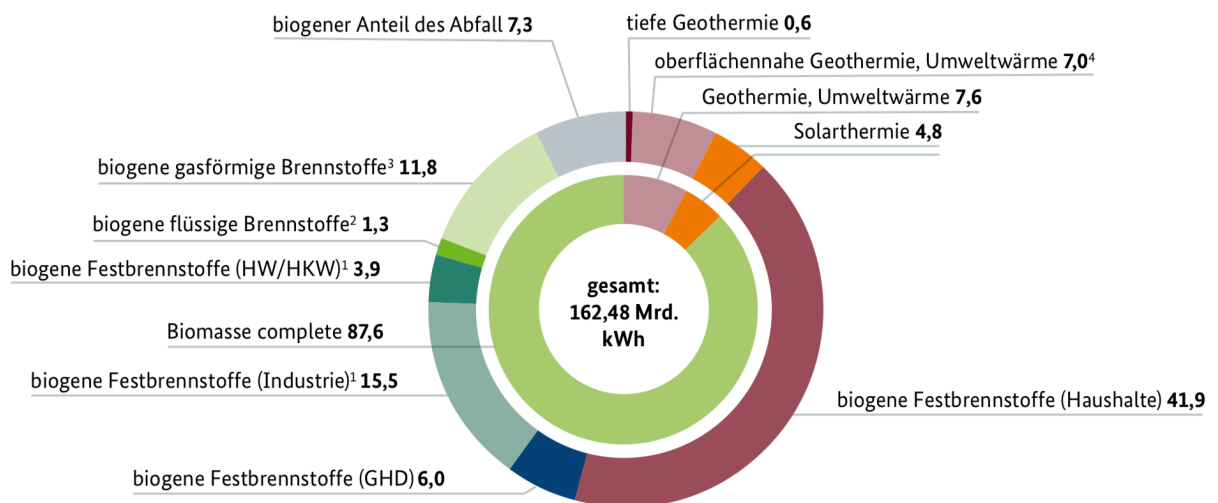
Allgemein wird die Nutzung von genormten und zertifizierten Holzpellets für einen störungsfreien Betrieb von Pelletheizungen empfohlen. Die Qualitätsanforderungen für Holzpellets sind

in Deutschland in der Norm „DIN EN 14961-2“ festgelegt. Diese unterscheidet mit A1, A2 und B drei Qualitätsklassen, wobei für Pelletheizungen in privaten Haushalten vorwiegend die Klasse A1 mit der höchsten Qualität relevant ist. Die Klassen A2 und B sind gegebenenfalls für größere Feuerungsanlagen z.B. im gewerblichen, industriellen oder kommunalen Bereich geeignet (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013a, S.7). Der Großteil aller in Deutschland genutzten Holzpellets verfügt über das Qualitätszeichen „DINplus“, welches zur Vertrauensbildung ein Zertifizierungsprogramm durchläuft, dass gleichzeitig alle Anforderungen, inklusive der Internationalen Norm „DIN EN ISO 17225-2 (A1)“, erfüllt (vgl. DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH, 2015, S.2).

Die heutigen Holzpellets haben pro Kilogramm einem Heizwert von circa fünf Kilowattstunden. Der direkte Vergleich mit den anderen Primärenergieträgern Heizöl und Erdgas zeigt, dass in etwa die doppelte Menge an Holzpellets benötigt wird, um den gleichen Heizwert zu erreichen, der dem eines Liter Heizöls bzw. eines Kubikmeter Erdgases entspricht (vgl. Energie-Agentur.NRW, 2013, S.3).

## 2.2 Der deutsche Markt für Holzpellets

Die Biomasse nimmt im Jahr 2016, mit einem Anteil von 87,6 Prozent, die größte Rolle innerhalb des deutschen Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien ein. Die restlichen 12,4 Prozent entfallen auf die Geothermie als Umweltwärme und die Solarthermie. Innerhalb der gesamten Biomasse liegt der Anteil der biogenen Festbrennstoffe bei ungefähr 42 Prozent, zu denen neben Scheitholz und Holz hackschnitzeln auch Holzpellets zählen, die ausschliesslich für die Wärmeversorgung in Haushalten verwendet werden.



1 inkl. Klärschlamm

2 inkl. Biodieselvebrauch in der Landwirtschaft

3 Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas

4 durch Wärmepumpen nutzbar gemachte erneuerbare Wärme (Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie Brauchwasser- und Gaswärmepumpen)

Ab 2015 Angaben für Gewerbe, Handel, Dienstleistungssektor (GHD) verfügbar

Abb. 2: Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien im Jahr 2016 in Prozent

(Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.14)



Bei der Betrachtung der Entwicklung des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien in Deutschland fällt auf, dass sich der Einsatz an fester Biomasse in den letzten 16 Jahren von circa 55 Mrd. kWh auf etwas über 120 Mrd. kWh mehr als verdoppelt hat. Auch die Wärmeerzeugung aus gasförmiger Biomasse ist stark gewachsen, sie hat sich von circa 5 Mrd. kWh auf circa 20 Mrd. kWh vervierfacht. Damit wird deutlich, welchen hohen Anteil die biogenen Brennstoffe generell an Zuwachs zu verzeichnen haben.

Würde man den gesamten jährlichen Holzeinschlag für die Energiegewinnung einsetzen, würde dies nur 4,7 Prozent des derzeitigen fossilen Energiebedarfs ausgleichen (Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften, 2012, S.97).

Endenergieverbrauch Wärme in Mrd. kWh

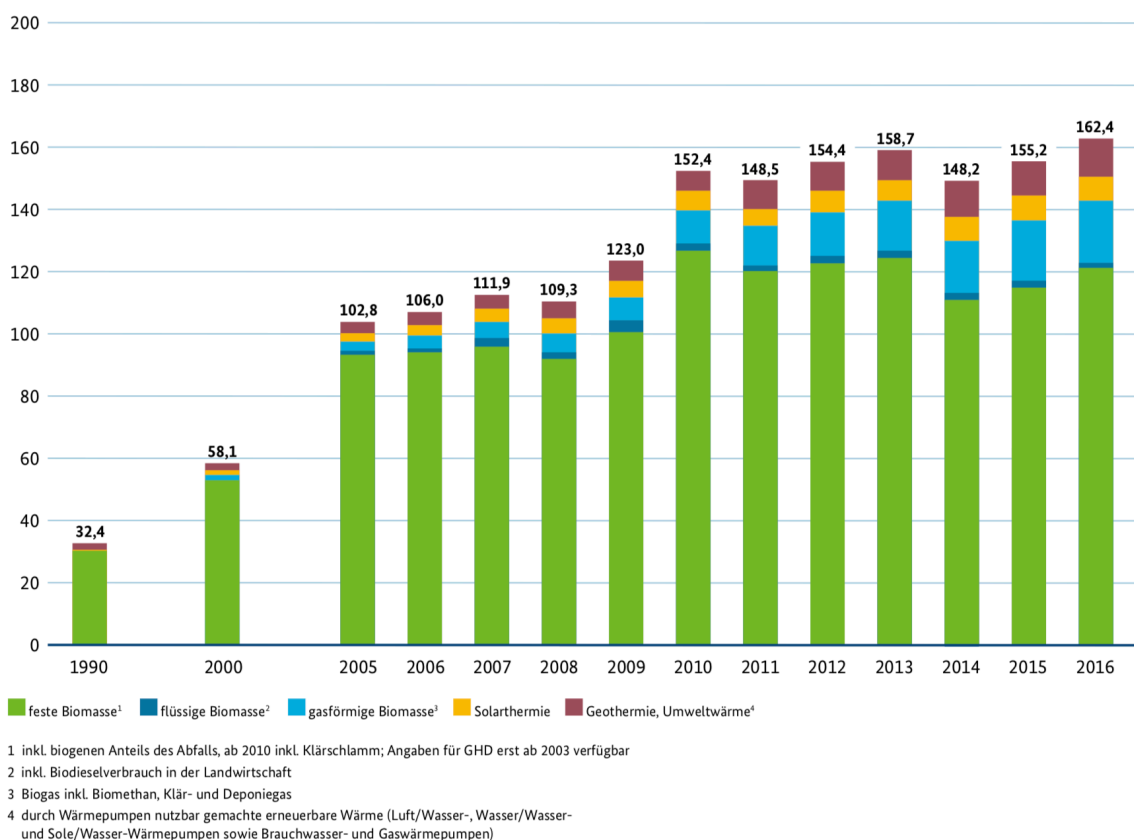


Abb. 3: Entwicklung und Verteilung des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien

(Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.14)

Insgesamt gibt es in Deutschland seit dem Jahr 2016 mehr als Vierhunderttausend Pellet-Feuerungsanlagen mit steigender Tendenz. Vergleicht man die produzierte Wärme (Endenergie), die große Pelletkessel > 50 kW gegenüber kleinen Pelletkesseln < 50 kW leisten, so wird deutlich, dass circa ein Drittel der produzierten Gesamtwärme von großen Pellet-Kesselanlagen geleistet werden. Diese machen dabei insgesamt aber nur einen Anteil von circa 5 Prozent aller Pellet-Feuerungsanlagen aus (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017a). Insgesamt beträgt die Wärmebereitstellung mit Hilfe von Pelletfeuerungen in Deutschland im Jahr 2016 circa 8.000 GWh mit steigender Tendenz von circa 8 Prozent zu 2017 (Abb. 4) und der Anteil von Holzpellets am Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien beträgt circa 5 Prozent (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017). Etwa 85 Prozent der rund 2,3

Millionen Tonnen Holzpellets, die jedes Jahr verbrannt werden, stammen auch wirklich aus deutschen Wäldern und werden in deutschen Pelletwerken gepresst (vgl. Czycholl, 2016).

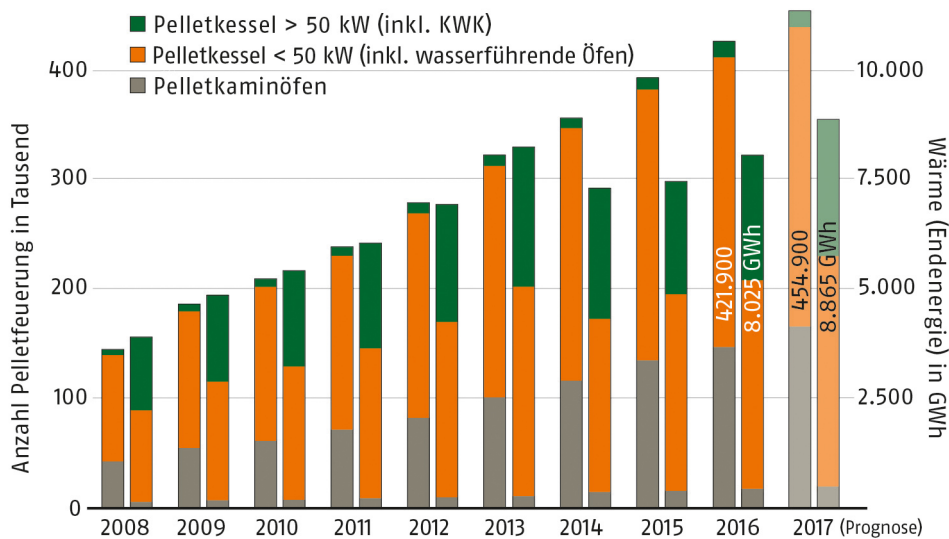


Abb. 4: Pelletfeuerungen/Wärmebereitstellung in Deutschland

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017a)

Deutschland ist der größte Holzpellethersteller in Europa (vgl. Deutscher Energieholz- und Pelletverband e.V., 2016). Inlandsproduktion und Inlandsbedarf sind mittlerweile nahezu ausgeglichen und lagen im Jahr 2016 bei je circa zwei Millionen Tonnen (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017b). Hiervon wurden circa 22 Prozent oder 435.000 Tonnen Holzpellets importiert und circa 18 Prozent entsprechend 367.000 Tonnen Holzpellets exportiert (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017c).

Noch vor 2006 war der Anteil an Holzpelletprodukten aus dem Ausland deutlich höher. Danach wurde die Zertifizierung "DINplus" eingeführt und ein Mix von Aus- und Inlandsprodukten bestimmt daraufhin den Markt, der sich bis heute fortlaufend auf überwiegend Inlandsprodukte ausrichtet (vgl. Thrän et al. 2017). Die Jahresbetrachtung der möglichen Kapazitäten in Höhe von zusätzlichen 1,3 Millionen Tonnen im vergangenen Jahr 2016 zeigt, dass für die nahe Zukunft ein ausreichendes Wachstumspotential zur Verfügung steht. Die Inlandsproduktion von Holzpellets besteht nahezu ausschließlich aus „DINplus“, in der Abbildung 2 als „EN-plus“ gekennzeichnet, zertifizierten Pellets. Die Deckung des Verbrauchs mit dieser Zertifizierung wird allerdings nur von etwas mehr als der Hälfte erreicht, der verbleibende andere Teil besteht aus Nicht-„DINplus“ zertifizierten Holzpellets (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017b).

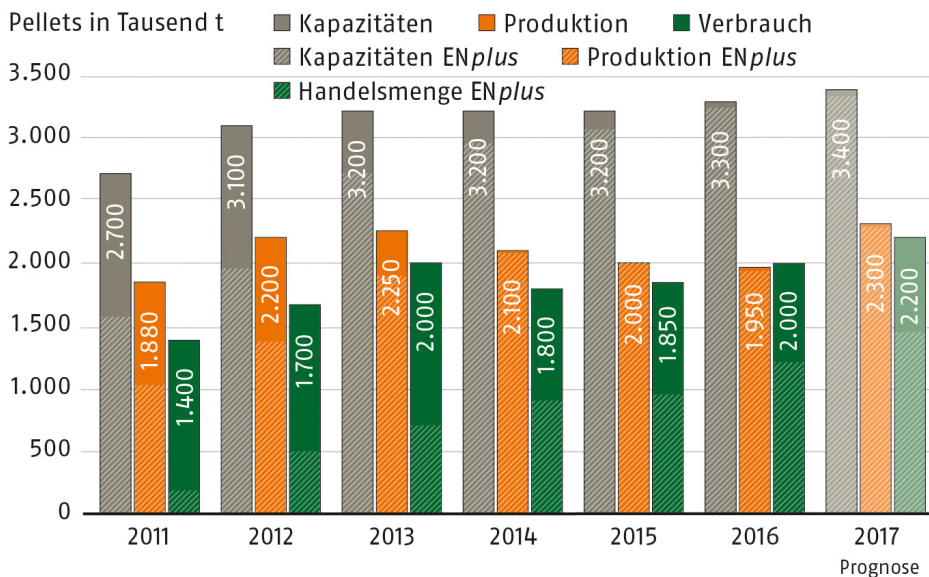


Abb. 5: Pelletproduktion und Inlandsbedarf in Deutschland

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017b)

Für die Bestimmung des Jahresbedarfs an Primärenergie von Gebäuden, die für die Bereitstellung einer gewissen Endenergiemenge notwendig ist, wird mit der Energiesparverordnung (EnEv) im Jahr 2002 der dimensionslose Primärenergiefaktor (PEF) eingeführt (siehe auch Kapitel 6 Abschnitt 1). Der jeweils berechnete Faktor dient als ein wichtiges Werkzeug für die energetische Bilanzierung sowie der Darstellung von Klimaschutzeffekten, insbesondere weil er zusätzlich zu dem Endenergiebedarf auch die vorhergehenden Prozessketten außerhalb der Systemgrenze der Endenergie umfasst. Hierzu zählen unter anderem die Gewinnung, Umwandlung, Lagerung, der Transport und die Verteilung des genutzten Energieträgers. Zwar kann im Zuge der Gebäudeplanung kein direkter Einfluss mehr auf die Vorketten bei der Energieerzeugung genommen werden, jedoch können die Verluste bei der Bereitstellung der Nutzenergie zum Beispiel mit Hilfe eines effizienten Heizsystems, einer qualitativ hochwertigen Gebäudedämmung oder aber mittels der Auswahl eines Energieträgers sowie weiteren Maßnahmen beeinflusst werden (vgl. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2017, S.7-14).

Fällt die Wahl auf Holzpellets als Primärenergieträger errechnet sich entsprechend für Holzpellets von Holz von Bäumen aus Kurzumtriebsplantagen (Plantagen mit einer geringen Wachstumszeit der Bäume von weniger als 25 Jahren) ein Primärenergiefaktor von 0,17 und für Holzpellets aus Waldrestholz ein Primärenergiefaktor von 0,14 (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012, S.45).

Die Abbildung 6 macht deutlich, dass der Pelletpreis (gemessen in Cent/kWh) in den letzten 10 Jahre im Vergleich zu Erdgas und Heizöl durchgängig relativ niedrig war. Die Grafik basiert auf einer Abnahme von 3.000 Liter Heizöl, 33.540 kWh Gas beziehungsweise 6 Tonnen Holzpellets. Die Verbraucherpreise bleiben bis auf eine Ausnahme Anfang 2016 mit aktuell circa 4,6 Cent/kWh deutlich unterhalb der Preise von Erdgas und Heizöl.

Je nach Liefermenge, Entfernung und Jahreszeit beträgt der Preis für ein Kilo Holzpellets im Durchschnitt circa 0,24 € im Jahr 2017 (vgl. Bruhn, 2017).

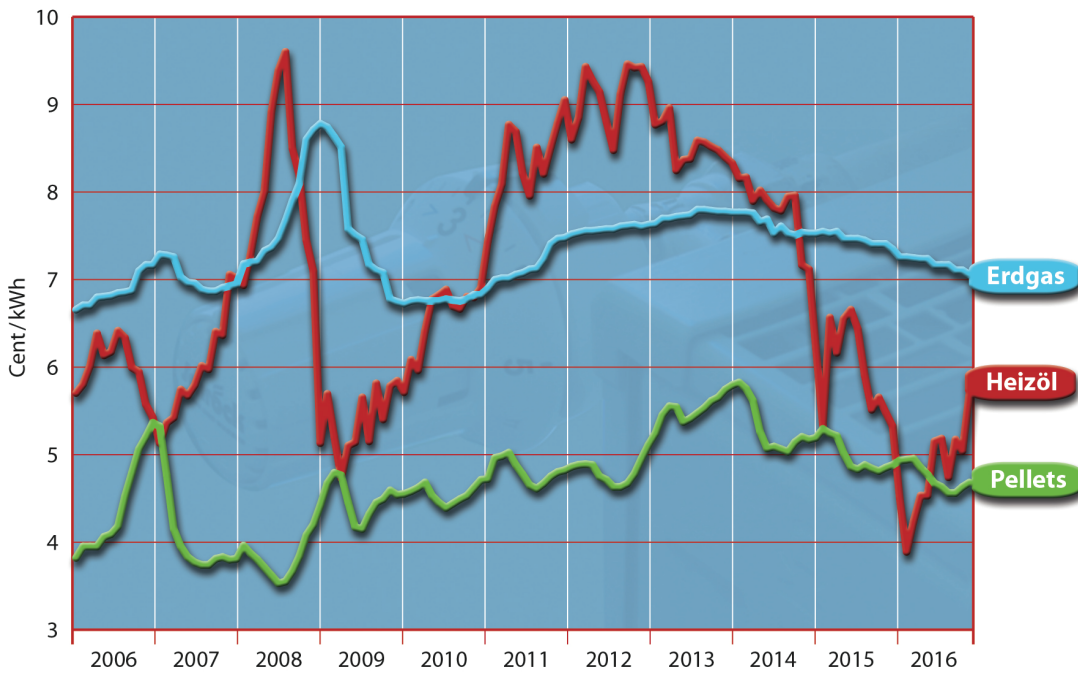


Abb. 6: Energiepreisentwicklung in Deutschland  
(Quelle: Solar Promotion GmbH, 2016)

### 3. Prozesskette vom Holz zur Verbrennung

Nachfolgend wird zum besseren Verständnis der Holzpellets, ihre Prozesskette genauer erläutert. Hierzu zählt die Herstellung, der Transport, die Lagerung und seine möglichen Einsatzbereiche.



Abb. 7: Prozesskette  
(Quelle: Eigene Darstellung)

#### 3.1 Herstellung

Während der Verarbeitung eines runden Holz-Baumstammes zu Schnittholz entstehen aus dem Stammholz nebenbei Abfallprodukte, die als Sägenebenprodukte oder Industriorestholz („Industry residues“) bezeichnet werden. Es fallen ein Drittel Sägespäne und sogenannte Hackschnitzel zu zwei Drittel an (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017d). Sägespäne entstehen infolge der Breite von Sägeblättern beim Sägen der Stammhölzer zu Brettern einerseits, während andererseits beim Abfräsen derselben die Hackschnitzel anfallen. Vor dem historischen Beginn der Pelettproduktion, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, wurden diese Sägenebenprodukte als Abfall entsorgt. Reines Schnittholz, Restholz oder aber Altholz wird zur

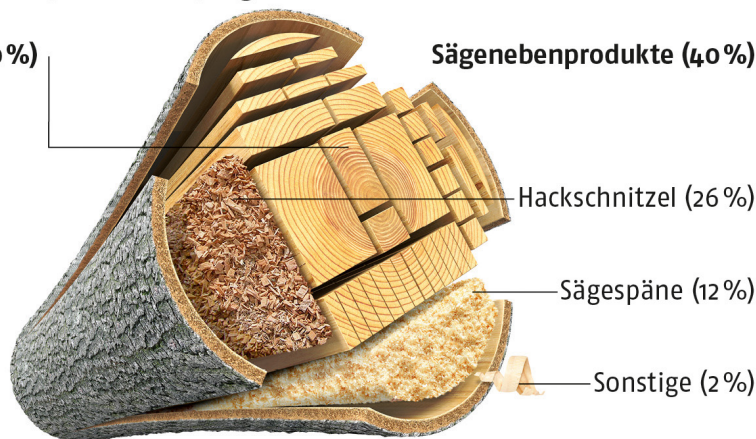
Herstellung der Holzpellets nicht benutzt, somit sollte das explizite Roden von Bäumen vermieden werden.

Nachfolgend ist anhand der Abbildung 8 (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017e, S.5), die den Aufbau von Holz im Schnitt zeigt, das Verhältnis von circa 60 Prozent Schnittholz zu circa 40 Prozent Sägenebenprodukten dargestellt (vgl. Döring, Mantau, 2012, S.6).

**100% Nadelholz\* (ohne Rinde) ergeben:**

**Schnittholz (60%)**

**Sägenebenprodukte (40%)**



\*Der Einschnitt in deutschen Sägewerken beruht zu über 95% auf Nadelholz.

*Abb. 8: Holzeinschnitt im Sägewerk*

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017e, S.5)

Hergestellt werden die Holzpellets in Pelletwerken, die in Deutschland zum Großteil meist direkt an das Sägewerk angegliedert sind (vgl. Vohrer, Mühlenhoff, Müller, 2015, S.19). Bei der Herstellung nehmen Säge-Nebenprodukte, wie Hackschnitzel und Späne, einen Anteil von 90 Prozent und Industrieholz (nicht-sägefähiges Rundholz), welches bei Durchforstungen oder als Koppelprodukt beim Rundholzeinschlag anfällt, einen Anteil von circa 10 Prozent ein (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017d).

Zu Beginn des Herstellungsprozesses muss das Holz besonders fein gehäckselt und anschließend getrocknet werden (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.46). Um einen Wassergehalt von 10 Prozent oder weniger zu erreichen, werden meist kontinuierliche Verfahren für die Trocknung der Sägenebenprodukte eingesetzt. In der Regel erfolgt diese über die Bandtrocknung im Gegensatz zur alternativen Trommeltrocknung, die aufgrund der schädlichen Abgase vom Deutschen Energieholz- und Pelletverband (DEPV) abgelehnt wird. Diese Abgase beinhalten mineralische Feststoffe, die sich auf den Holzpellets absetzen und deren Aschegehalt erhöhen. Es kommt zu einem schlechteren Brennverhalten, dass infolgedessen zu höheren Feinstaubemissionen bei der Verbrennung führt (vgl. Öko-Institut e.V., 2011, S.12).

Danach werden die Sägenebenprodukte unter hohem Druck durch eine Matrize in Form gepresst. Hierbei entsteht, mit Hilfe der Wärme beim Pressevorgang, der restlichen Feuchtigkeit im Holz sowie dem enthaltenen Lignin, ein natürlicher Klebstoff, der die Holzfasern zusammenhält. Dieser sorgt gleichzeitig für die glänzende Oberfläche der Presslinge. Um die Haftungseigenschaften der Holzfasern im Pellet zu verbessern, ist eine Zugabe von bis zu zwei Prozent anderer natürlicher Presshilfsmittel wie Stärke erlaubt (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017e, S.5). Insgesamt werden für die Herstellung einer Tonne Holzpellets sechs bis acht Kubikmeter Holzspäne oder Hackschnitzel benötigt (vgl. EnergieAgentur.NRW, 2013, S.4).



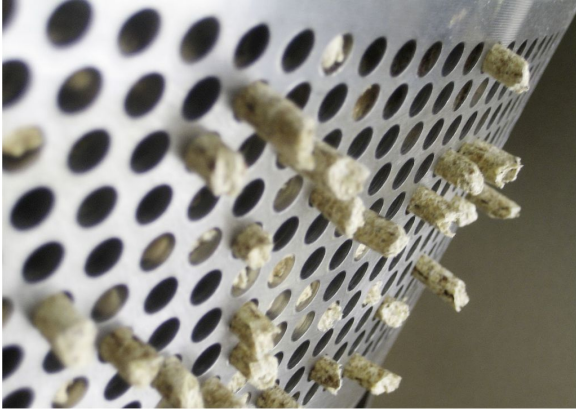


Abb. 9: Holzpellet-Press

(Quelle: Das Magazin für die Technische Gebäudesanierung, 2017)

### 3.2 Transport

Die Holzpellets werden überwiegend ab Werk geliefert. Der Hersteller transportiert die Holzpellets als Schüttgut von der Verladestation in Silo-Tankwagen (Beladung maximal 25 Tonnen) mit Luftdruckschläuchen zur Entnahme oder in abgepackten Säcken verschiedener Größen mit normalen Lastkraftwagen (Beladung maximal 20 bis 40 Tonnen) direkt, oder über Zwischenhändler, zum Endkunden (vgl. Selkimäki, Röser, 2008, S.7).

Der Vorteil der modernen Silo-Tankwagen liegt in einer schnelleren Be- und Entladungszeit über Pumpen mit flexiblen Schläuchen, die bis zu 30 Meter Reichweite haben. Weniger verbreitet ist der Transport durch Selbstabholung des Endkunden. Die Rieselfähigkeit der Pellets und die normierte Größe ermöglichen eine einfache Handhabung, einen leichten Transport sowie den Einsatz automatischer Fördersysteme.

Umweltverschmutzungen, wie sie bei fossilen Brennstoffen auftreten können, wenn Tanker verunglücken oder Pipelines lecken, entfallen bei dem Transport von Holzpellets. Auch die Gefahr von Explosionen, Bränden und Grundwasser-Verunreinigungen beim Lagern besteht im Vergleich zu den fossilen Energieträgern kaum, beziehungsweise gar nicht (vgl. EnergieAgentur.NRW, 2013, S.10).

### 3.3 Lagerung

Die Lagerung sollte in Abhängigkeit von der Heizlast, die den Wärmebedarf des Nutzers pro Jahr bestimmt, und seinem Anspruch an den Komfort für die Beschickung seiner Holzpellet-Heizung bestimmt werden. Eine Faustregel besagt, dass pro Kilowatt Heizlast circa 0,9 m<sup>3</sup> Lagerraum benötigt werden (vgl. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2012, S.14). Grundsätzlich liegt das nutzbare Volumen des Lagerraums bei circa zwei Dritteln des Raumvolumens (vgl. EnergieAgentur.NRW, 2013, S.13). Dementsprechend ergibt sich für die Lagerung von beispielsweise 6.000 kg Holzpellets, die energieäquivalent zu circa 3.000 Liter Heizöl sind, ein Lagerraumvolumen von 13,5 m<sup>3</sup>. Bei einer Deckenhöhe von 2,4 m entspricht dies einer Fläche von 5,6 m<sup>2</sup> (vgl. Wosnitza, Hilgers, 2012, S. 102).

Grundsätzlich bestimmt der Energiestandard eines Hauses den Jahresbedarf an Holzpellets. Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht diesen beispielhaft für einem Haustyp mit 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Auffällig sind die großen Unterschiede bei den Haustypen und deren Energieeffizienz (siehe Abbildung 10), die einen großen Einfluss auf die benötigte Menge an Holzpellets haben.






Haustyp		Pelletbedarf/Jahr	
Passivhaus		3 kg/m <sup>2</sup>	450 kg
3-Liter-Haus		6 kg/m <sup>2</sup>	900 kg
KfW-40 Haus		8 kg/m <sup>2</sup>	1.200 kg
KfW-60 Haus		12 kg/m <sup>2</sup>	1.800 kg
Bestand		44 kg/m <sup>2</sup>	6.600 kg

Abb. 10: Jahresbedarf und Holzpellets je nach Haustyp

(Quelle: Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V., 2012, S.13)

Die Gestaltung des Lagers ist abhängig von der Art und Weise des Weitertransports der Pellets zur Feuerung. Es wird von einer manuellen Lagerentnahme gesprochen, wenn dies zum Beispiel per Hand mit einer Schubkarre, mit Säcken oder mit Eimern geschieht. In diesen Fällen genügt ein gut erreichbarer Lagerraum. Heutige Zentralheizungsanlagen verfügen großteils aus Komfortgründen über eine durchgehend mechanisierte Brennstoffbeschickung. Diese macht eine automatische Auslagerung der Pellets notwendig. Der Lagerraum sollte dahingehend eingerichtet werden, dass die Pellets per Schwerkraft an dem tiefsten Punkt zusammenfließen, um über ein pneumatisches Absaugsystem entnommen werden zu können. Alternativ können die Holzpellets auch per Förderschnecke oder mit Hilfe eines Saugsystem ausgelagert werden. Die Möglichkeiten der Lagerung umfassen zum Beispiel Kleinsilos aus Holz-, metall- oder gewebebeschichteter Wände, sowie Lagerräume mit Schrägbodenauslauf oder Erdtanks.

Bei der Lagerung stellt der Schutz vor Feuchtigkeit von außen einen entscheidenden Faktor dar. Der Grund hierfür liegt zum einen in der Gefahr von Schimmelbildung und zum anderen in der Beeinträchtigung der automatischen Brennstoffbeschickung, die eine entsprechende Stabilität der Pellets voraussetzt, welche nur im trockenen Zustand gewährleistet ist. Mit einer hohen Schüttdichte von 650kg/m<sup>3</sup> fällt der Raumbedarf für Holzpellets im Vergleich zum Raumbedarf von Hackschnitzeln aus trockenem Fichten- oder Buchenholz ungefähr dreimal geringer aus.

Eine Belüftung des Lagerraumes ist nicht notwendig, da nach DIN 51 731 /3-7 der Wassergehalt von Pellets bereits bei unter 12 Prozent liegt (vgl. Hartmann et al. 2007, S.44-47), wird jedoch von dem VDI (Verein Deutscher Ingenieure ) empfohlen. Die Anforderungen an Holzpelletlagerungen beim Verbraucher sind in den VDI-Richtlinien 3464 geregelt (vgl. Verein Deutscher Ingenieure e.V, 2015).

### 3.4 Einsatz von Holzpellets in Heizsystemen

Holzpellets als Brennstoff bieten einen breiten Einsatzbereich. Sie können sowohl in Einzelöfen (bis 15 kW), in Einzel-Heizkesseln mit Anschluss an eine Zentralheizung (ab 3 kW bis 100 kW) oder in Einzelfällen in Großfeuerungsanlagen (ab 100 kW) eingesetzt beziehungsweise verbrannt werden (vgl. Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V., 2013, S.12).

In der Regel werden Holzpellets nur bis zu einer thermischen Leistung von circa 50 kW eingesetzt, da bei höheren Leistungen und entsprechend höherem Energieverbrauch Holzhackschnitzel oder gar Frischholz für Anlagen von mehreren Megawatt preislich deutlich attraktiver sind (vgl. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2009, S.12). Aus diesem Grund werden Holzpellets vorwiegend für kleinteilige Strukturen, Schulen, Altersheime genutzt. Der größte Fall stellt ein Nahwärmenetz dar.

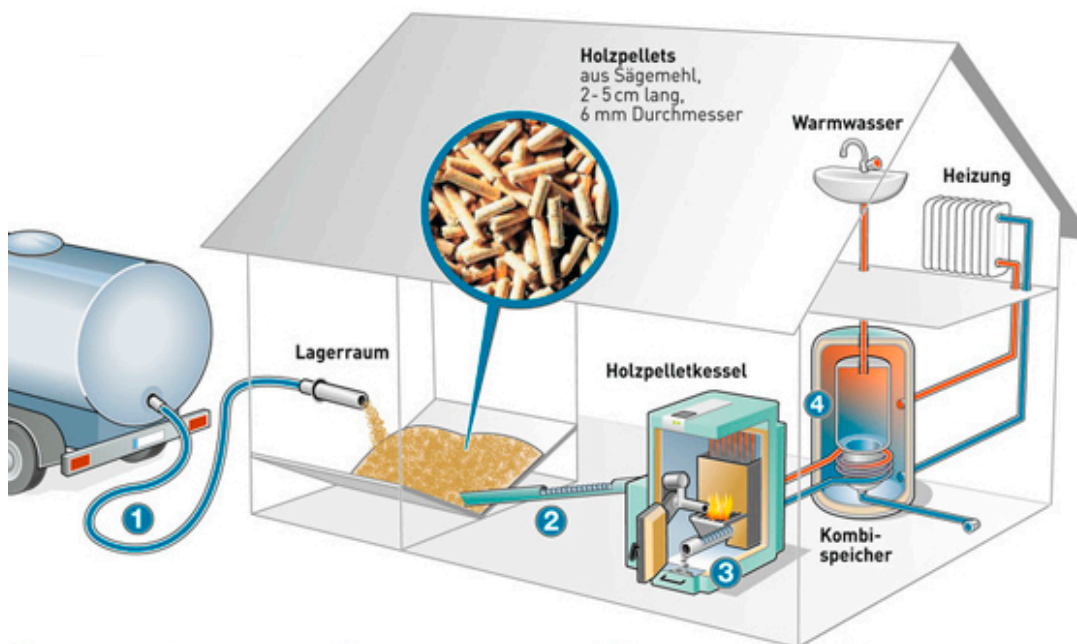


Abb. 11: Die Holzpellettheizung

(Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V., o.J.)

Für die Wärmeversorgung von Gebäuden gilt es, sowohl das Heizen der Räumlichkeiten als auch die Warmwasserversorgung mithilfe der Gebäudetechnik optimal zu gewährleisten. Hierfür bieten die Weiterentwicklung der Anlagentechnik und die Steigerung der Dämmqualität seitens der konstruktiven Aussenhaut das größte Potential zur Einsparung von Energie (vgl. Zhang, 2015, S.7).

Ähnlich der Nomenklatur von Heizungen, die im Bauwesen ihre Anwendung finden, jedoch mit herkömmlichen Brennstoffen wie Kohle, Heizöl oder Erdgas betrieben werden, gibt es bei Holzpellettheizungen unterschiedlichste Ausführungen.

Die Grundausführung besteht aus einem Pellettofen, der mithilfe der Luft über deren Konvektion und seiner Strahlungswärme hauptsächlich einzelne Räume beheizt. Weniger verbreitet, jedoch möglich, ist das Beheizen von ganzen Häusern mit einem niedrigen Energieverbrauch (vgl. Vohrer et al. 2015, S.19). Die hohe Schüttdichte der Holzpellets ermöglicht eine Brennstoff-Füllmenge von 20 bis 50 kg, so dass der tägliche Pelletbedarf, beispielsweise bei einer Feuerungsleistung von 1 kW und einer Brenndauer von 24 Stunden, etwa 5 kg beträgt. Die



genannte Füllmenge reicht dann für circa 1 bis 4 Tage und so müssen folglich, je nach Anforderung der Nutzer an die gewünschte Wohlfühltemperatur, relativ häufig Holzpellets nachgefüllt werden (vgl. Hartmann et al. 2007, S.83).

Eine komplexere Ausführung des Pelletofens dient dem höheren Komfort, indem ein Anschluss an das Zentralheizungssystem erfolgt, bei dem der Großteil seiner bei der Verbrennung der Holzpellets entstandenen Wärme mittels seiner sogenannten Wassertasche an das Heizwasser- und Brauchwasser abgegeben wird. Wird diese Ausführung an einen Holzpellet-Lageraum angeschlossen, ergibt sich die Möglichkeit zur automatischen Pelletbeschickung und der Pelletofen kann somit als vollautomatisches Heizsystem wirken (vgl. EnergieAgentur.NRW, 2013, S.7).

Der Pellet-Zentralheizungskessel wirkt als zentraler Hauptbestandteil zur Wärmeversorgung in Kombination mit dem Holzpelletlager, einem Puffer- oder Kombispeicher und einem Heizungs- und Brauchwassernetz. Er stellt im Vergleich zu den vorgenannten Pelletöfen die weiterentwickelte Heizungstechnik der Pelletheizung dar, allerdings weicht die Zielrichtung von den einzelnen oder erweiterten Pelletöfen ab.

Bei dieser Entwicklung wird versucht, eine Wärmeabgabe des Pellet-Zentralheizungskessel an den Raum am Aufstellungsort größtmöglichst zu vermeiden. Dementsprechend kann eine Aufstellung in einem Nebenraum oder Keller erfolgen und auch ein Anschluss an den Heizwasserkreislauf geschaffen werden. Schließlich besteht weiterführend eine gebäudetechnische Integration in ein Heizungs-Steuerungssystem und ermöglicht ähnliche Einsatzbereiche wie bei einem herkömmlichen Heizöl- und Erdgas-Zentralheizungssystem (vgl. Vohrer et al. 2015, S.19).

Grundsätzlich werden Feuerungsanlagen für Holz nach dem Bundes-Emissionsschutzgesetz in drei Größenkategorien eingeteilt. Die erste Kategorie beschreibt Kleinf Feuerungsanlagen, mit einer Leistung von bis zu ein MW, die für den Wärmeenergie-Bedarf von Energiesparhäusern, über Häuser mit höherem Wärmeenergie-Bedarf und darüber hinaus für z.B. Lager- und Produktionshallen ausreicht (vgl. Döring, 2011, S.165). Die zweite Kategorie sind Mittlere Feuerungsanlagen, die größere Objekte zum Beispiel Hallen im gewerblichen oder industriellen Bereich beheizen und deren Leistung bei über ein MW bis max. 50 MW liegt (vgl. Döring, 2011, S.179). Die dritte Kategorie beinhaltet Großfeuerungsanlagen ab einer Leistung von 50 MW (vgl. Umweltbundesamt, 2013).

Allgemein wird bei Kleinf Feuerungsanlagen zwischen Unterschubbrennern, Fallschachtbrennern und Retortenbrennern unterschieden (siehe Abb. 12 von links nach rechts). Hierbei gelangen die Pellets zum Beispiel über eine Schnecke oder einen Saugsystem, das mittels Vakuum funktioniert, entweder von unten, von der Seite oder von oben in die Brennkammer. Ziel dieser technischen Ansätze ist vor allem ein gezielt regulierbares Glutbett, welches einen hohen Ausbrand ermöglicht und in Kombination mit einer abgestimmten Belüftung wenig Asche zurück lässt, womit die besten Voraussetzungen für einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Holzpelletheizung und möglichst niedrige Schadstoffemissionen der Holzpelletheizung gewährleistet werden (vgl. Döring, 2011, S.166f).



Abb. 12: Arten verschiedener Pelletbrenner

(Quelle: Döring, 2011, S.166)

Allgemein führen niedrige Temperaturen, die beim Beginn deiner Verbrennung vorherrschen, zu einem höheren Anteil nicht vollständig verbrannter Holzpellets. Die unvollständige Verbrennung ist mit Schadstoffausstoß verbunden. Optimale Verbrennungsbedingungen herrschen nach dem Erreichen der Betriebstemperatur; dann gibt es auch die geringsten Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde Wärme. Hierbei geschieht die Zündung der Brenner mittels Heißluftgebläse oder Glühstab automatisch. Größere Kessel verfügen über eine energiesparende Steuerungstechnik zur Gluterhaltung.

Heutige Anlagen neuester Bauart können bei unterschiedlichen Auslastungen und Lastfällen technisch innerhalb einer Spannweite von 30 bis 100 Prozent betrieben werden (vgl. Döring, 2011, S.168f). Als Faustregel gilt, dass je geringer der Einfluss von Nutzerverhalten und Brennstoffqualität ausfällt und je höher der Automatisierungsgrad ist, desto kleiner sind die Emissionsmengen (vgl. Deutsche Umwelthilfe e.V., 2016, S.5).

Im Folgenden wird zur Bestimmung der Größe der Lagerräume und der Frequenz der Betankung beispielhaft eine Mehrfamilienhaus-Wohnanlage mit 25 Wohneinheiten im Neubau- und Bestand analysiert.

Bei einer Durchschnittsgröße von 50 m<sup>2</sup> ergibt sich eine mit Wärme zu versorgende Gesamtfläche von 1.250 m<sup>2</sup>. Bei einem KfW-40 Effizienzstandart für die Wohnanlage ergibt sich ein Holzpelletbedarf von 8 kg pro m<sup>2</sup> pro Jahr und insgesamt 10.000 kg für die zu versorgende Gesamtfläche. Unter der Annahme einer Schüttdichte von 650 kg/m<sup>3</sup> und einer maximalen 2/3 Befüllung, beträgt das benötigte Lagervolumen circa 23 m<sup>3</sup>. Insgesamt wird bei einmaliger Lieferung pro Jahr eine Lagerfläche von circa 10 m<sup>2</sup> mit einer Deckenhöhe von beispielsweise 2,5 m für den Lagerraum benötigt. Bei Altbau-Bestandsgebäuden steigt der Bedarf an Holzpellets aufgrund einer ineffizienteren Bauweise um das 5,5-fache, von 8 kg pro m<sup>2</sup> auf 44 kg pro m<sup>2</sup> pro Jahr. Demzufolge wird für die Wärmeversorgung dieser Gebäude ein deutlich größerer Lagerraum von 55 m<sup>2</sup> für die benötigten 55.000 kg Holzpellets benötigt. Aus wirtschaftlichen Gründen fällt dieser allerdings in einer Größe von circa 20 m<sup>2</sup> so aus, dass drei Holzpelletlieferungen nötig werden. Diese erhöhte Frequenz der „Betankung“ verursacht vermutlich einmal im Sommer und zweimal im Winter eine Holzpellet-Lieferung, da im Sommer der Wärmebedarf niedriger als jener im Winter ausfällt.

Hierbei ist zu erwähnen, dass die Holzpelletpreise im Sommer günstiger als im Winter sind und größere Lieferungen tendenziell günstiger ausfallen, weshalb Kunden mit größeren Lagerräumen profitieren können. Hinzu kommt, dass eine erhöhte Frequenz der „Betankung“, mit Zeiten von circa einer halben Stunde, zusätzliche Beeinträchtigungen in Form von zusätzlichem Lärm und Staub zur Folge haben.

## 4. Emissionen von Holzpellettheizungen

Allgemein findet die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität in den Staaten der Europäischen Union auf Basis der EU-Richtlinie von 2008/50/EG statt (vgl. Umweltbundesamt, 2014). Die Qualität der Luft ist abhängig von dem Anteil an Luftschadstoffen, zu denen vor allem Feinstaub, Stickstoffdioxide, Kohlenmonoxid, Ozon und eine Reihe von Schwermetallen zählen. Da diese sowohl negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen als auch auf deren Umwelt haben, wird die Beschaffenheit der Luft von den Bundesländern und dem Umweltbundesamt stetig überwacht. Deutschlandweit wird die Luftqualität an mehr als 650 Messstationen mehrmals am Tag gemessen (vgl. Umweltbundesamt, 2017, S.4). Allerdings ist das Netz der Überwachung zu grobmaschig und reicht nicht aus, um lokale Beeinträchtigungen auszuschließen.

Grundsätzlich ist zu konstatieren, dass je nach den Bedingungen bei der Verbrennung von biogenen Brennstoffen eine Abstimmung der Feuerungsanlage auf die Brennstoffe zu erfolgen hat, um eine effiziente und emissionsarme Verbrennung sicherzustellen. Dabei entscheidet die Homogenität des Primärenergieträgers, die stark schwanken kann, über ihre verbrennungstechnischen Eigenschaften. Aus diesem Grund sind in Deutschland gesetzliche Anforderungen an den Einsatz von Brennstoffen festgelegt, die unter Kapitel 4 Abschnitt 3 für kleine- und mittlere Feuerungsanlagen und unter Kapitel 4 Abschnitt 4 für Großfeuerungsanlagen erläutert sind (Döring, 2011, S.60).

### 4.1 Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern

Während der Verbrennung von Energieträgern reagieren diese und setzen aufgrund ihres Gehalts an Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff und Schwermetallen, Emissionen in Form von Feinstaub, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Schwefeloxide und Spuren an Schwermetallen frei. Nachfolgend sind die Emissionen im Einzelnen beschrieben.

#### **Staub**

Feinstaub wird auch Schwebstaub oder englisch Particulate Matter genannt, weil er nicht sofort zu Boden sinkt, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre schwebt. Er entsteht vor allem bei Verbrennungsprozessen, aber auch in der Metall- und Stahlerzeugung, durch Bodenerosion und aus Vorläufersubstanzen wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und Ammoniak.

Feinstaub sind Luftpartikel mit der Bezeichnung und Abkürzung  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ . Dabei steht PM für „Particulate Matter“ und die tiefgestellte Zehn oder Zweikommafünf für 10 oder 2,5 Mikrometer = 10 oder 2,5 Millionstel Meter.

Eine Teilmenge der  $PM_{10}$ -Fraktion sind die feineren Teilchen, deren Durchmesser weniger als 2,5 Mikrometer beträgt. Diese werden als "Feinfraktion" bezeichnet im Gegensatz zur "Grobfraktion" mit dem Größenbereich von 10 Mikrometern (vgl. Umweltbundesamt, 2017, S.4).

Für die beiden Partikelgrößen schreibt die EU-Richtlinie Grenzwerte für die Einhaltung von Luftqualitätsstandards vor. So darf der  $PM_{10}$  einen Jahresmittelwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschreiten. Dieser Wert wurde an 24 Prozent aller Messstationen in Deutschland im Jahr 2016 eingehalten, während die World Health Organisation (WHO) auch eine Empfehlung von nicht mehr als  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vorgibt (vgl. Umweltbundesamt, 2017, S.7).

Für Luftpartikel der Größe  $PM_{2,5}$  gilt seit 2010 europaweit ein ein Grenzwert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel. Dieser Wert wurde im Jahr 2016 in Deutschland an keiner Station überschritten

(vgl. Umweltbundesamt, 2017, S.8). Die Grenzwerte sind deshalb so wichtig, weil laut Untersuchungen der Weltgesundheitsorganisation, im Gegensatz zu anderen Luftschadstoffen, selbst geringste Feinstaubbelastungen schädigende Wirkungen auf die Gesundheit auslösen können (vgl. Umweltbundesamt, 2013a). Laut einer Statistik des Umweltbundesamt starben 2015 circa 41.500 Menschen an den Folgen der Feinstaubbelastung (vgl. Umweltbundesamt, 2017a). So ist zu erwarten, dass die aktuellen wissenschaftlichen Studien und laufenden Praxisuntersuchungen im Ergebnis auf effektive Maßnahmen zur Feinstaubvermeidung oder zumindest auf eine Reduzierung hinarbeiten (vgl. Döring, 2011, S.240).

Die Bereiche, innerhalb derer Feinstaubemissionen in Deutschland entstehen, umfassen Landwirtschaft mit 45 Prozent, Verkehr mit 20 Prozent, Stromerzeugung und Industrie mit jeweils 13 Prozent, Häusliche Energie mit 8 Prozent (zum Beispiel Öfen), und Biomasse-Verbrennung mit letztlich nur 1 Prozent (vgl. Schadwinkel, Stockrahm, 2017). Zum Bereich Verkehr ist zu erwähnen, dass aufgrund der EU-Abgasnormen mittlerweile alle neuen Dieselfahrzeuge mit effektiven Abgasfiltern ausgestattet sind, welche mehr als 99 Prozent der Partikel zurückhalten. Insofern kann damit gerechnet werden, dass der Anteil des Straßenverkehrs als Feinstaub- und Rußquelle in den nächsten Jahrzehnten zurückgehen wird (vgl. Deutsche Umwelthilfe e.V., 2016, S.3).

### **Andere Schadstoffe**

Kohlenmonoxid, als ein weiterer Schadstoff, entsteht im Rahmen unvollständiger Verbrennungsprozesse von kohlenstoffhaltigen Verbindungen. Aufgrund seiner giftigen, gefährlichen Wirkung auf die Gesundheit des Menschen (vgl. Cortis et al. 2015, S.101f) bestehen von Seiten der Behörden - wie bei Feinstaub, entsprechend einzuhaltende gesetzliche Auflagen.

Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Schwefeloxide (SO<sub>x</sub>) entstehen als Nebenprodukte bei den Verbrennungsprozessen der Holzpellet-Verbrennungsanlagen. Beide Gase sind reaktive Verbindungen und gelten als gesundheitsschädlich. In Verbindung mit Wasser können Schwefeloxide Schäden an Ernten, Böden und gebauten Strukturen (Saurer Regen) anrichten, da ihre Wirkungen korrodierend ausfallen, während Stickoxide säurebildend sind und reizend bis giftig auf die Schleimhäute wirken (vgl. Umweltbundesamt, 2016a, 2016b).

### **Treibhausgase, insbesondere CO<sub>2</sub>**

Neben dem Feinstaub ist Kohlenstoffdioxid, welches in Kurzform als CO<sub>2</sub> oder Kohlendioxid bezeichnet wird, das bekannteste Treibhausgas, welches auch bei Verbrennungsprozessen von kohlenstoffhaltigen Substanzen (Kohle, Erdöl, Erdgas, Holz, etc.) in privaten Haushalten zu Zwecken der Heizung und Warmwasserbereitung freigesetzt wird. Obwohl andere Treibhausgase mit einem höheren sogenannten Global Warming Potential (GWP) existieren, kommt CO<sub>2</sub>, aufgrund der aktuell freigesetzten Menge, eine große Bedeutung zu.

Sobald die genaue Zusammensetzung des Brennstoffs, sein Heizwert und der Wirkungsgrad der Anlage vorliegt, kann die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Umfangs beim Verbrennungsprozess erfolgen (vgl. Deutscher Bundestag, 2007, S.4f). Die Maßeinheit für die Bezugsgröße wird gemäß RED (Renewable Energy Directive oder entsprechend Erneuerbare Energie Richtlinie) unter Angabe des Energieinhalts eines Brennstoffs mit g CO<sub>2</sub>eq/MJ (Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Megajoule Kraftstoff) angegeben (vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.42).

## 4.2 Emissionen bei der Pelletverbrennung im Vergleich mit Heizöl und Erdgas

Tabelle 1 zeigt die Emissionen der Wärmeenergieträger Holzpellets, Heizöl und Erdgas im Vergleich. Diese beziehen sich vermutlich auf optimale Betriebstemperaturen, das heißt konstante Kesselsolltemperatur.

Grundsätzlich kann es bei unvollständiger Verbrennung während des Hoch- und Herunterfahrens von Verbrennungsanlagen sehr viel höhere Emissionen geben als während optimaler Betriebsbedingungen (vgl. Schwörer, 2017, Mangels, 2018).

### Staub

Bei der direkten Verbrennung von Holzpellets entstehen Staubemissionen in Höhe von 0,12 g/kWh. Im Gegensatz hierzu liegt der Wert bei den Heizöl- oder Erdgaskesseln bei unter 0,01 g/kWh (vgl. Umweltbundesamt, 2017b, S.80-84). Da folglich keine Staubemissionen von den vorgenannten Endenergieträgern Heizöl- und Erdgas ausgehen, liegt der Wert für Holzpellets bei der Verbrennung wie auch immer höher.

### Andere Schadstoffe

Die CO-Emissionen eines Pelletkessels liegen im Durchschnitt bei circa 1,30 g/kWh. Bei einem Gaskessel betragen die CO-Emissionen 0,05 g/kWh bei der Verbrennung und fallen damit deutlich geringer aus. Ein Heizölkessel weist mit 0,04 g/kWh während der Verbrennung den geringsten CO-Emissionswert auf (vgl. Umweltbundesamt, 2017b, S.80-84).

Bei der Betrachtung der NO(x)-Emissionen fällt auf, dass Holzpellets bei der Verbrennung im Vergleich mit Heizöl- und Erdgas mit 0,46 g/kWh am schlechtesten abschneiden. Beim Heizölkessel beträgt der Wert 0,15 g/kWh beziehungsweise 0,07 g/kWh NO(x) beim Gaskessel (vgl. Umweltbundesamt, 2017b, S.80-84).

### Beeinträchtigung aus Rückständen

Bei der Verbrennung von Holzpellets kommt es außerdem zu Beeinträchtigungen aus Rückständen in der Verbrennungsasche. Aschen gelten im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes als Abfälle. Hierbei kommt der Verwertung der Asche eine vorrangige Bedeutung vor dessen Beseitigung zu. Der Nutzen liegt in der Verwendung als Düngemittel, um den Nährstoffbedarf nach erfolgtem Biomasseentzug annähernd wiederherzustellen. Die Art der Herkunft der Biomasse Holzpellets kann sehr unterschiedlich sein (vgl. Döring, 2011, S.64). Allerdings kann die Asche aus Holzpellets je nach deren Herkunft auch Schadstoffe, zum Beispiel Schwermetalle enthalten. So nehmen Pflanzen bei ihrem Wachstum beispielsweise auch Schwermetalle aus dem Boden auf, die zum Teil in der Verbrennung freigesetzt teilweise in der Asche enthalten sein können. Deshalb muss mit Asche vorsichtig umgegangen werden.

Der Aschegehalt von Holzpellets liegt bei circa 0,5 bis 1,5 Prozent. Der Ascheanfall umfasst beispielsweise für ein Einfamilienhaus im Bestand ohne besondere Energieeffizienz mit einem Verbrauch von 6.000 kg hochwertigen Pellets im Jahr ca. 30 kg Asche (vgl. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2012, S.6).

## Treibhausgase, insbesondere CO<sub>2</sub>

Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern Heizöl und Erdgas beeinflusst die Holzpellet-Verbrennung langfristig den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre nur geringfügig.

Bei ihrer Verbrennung emittiert zwar auch CO<sub>2</sub> wie bei der Verbrennung von Erdöl oder Erdgas, jedoch unterscheiden sich Holzpellets erheblich von den fossilen Energien hinsichtlich ihrer klimaneutralen Wirkung. Das freigesetzte CO<sub>2</sub> enthält jenen Kohlenstoff, welcher nur Monate bis Jahre zuvor vom Baum im Zuge seines Wachstums mittels Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Dieser freigesetzte Kohlenstoff wird bei der Verbrennung wieder in die Atmosphäre zurückgeführt, womit ein relativ kurzfristiger Kreislauf geschlossen wird.

Obwohl auch Erdöl für die Heizöl-Herstellung und Erdgas zeitgeschichtlich ursprünglich aus Pflanzenresten geformt wurden und auch ihr Kohlenstoff-Anteil ursprünglich aus der Atmosphäre stammt, wurden diese Mengen des Kohlenstoff dennoch auf Grund von Ablagerung und Überdeckung mit Gesteinsschichten dauerhaft dem atmosphärischen Kreislauf entzogen. Insofern trägt die vergleichsweise Verbrennung von Heizöl und Erdgas ihren erstmaligen Anteil an der Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre, während die Holzpellet-Verbrennung kaum eine Beeinflussung darstellt (vgl. Deutscher Bundestag, 2007, S.19f).

Holz als Energieträger wird in Deutschland per Definition als CO<sub>2</sub> neutral betrachtet. Sowohl bei Heizöl mit Werten bei der Verbrennung von 266,47 g/kWh als auch bei der Verbrennung von Erdgas 201,37 g/kWh ergeben sich gegenüber Holzpellets nachteilige Emissionenwerte (vgl. Umweltbundesamt, 2017b, S.80-84).

Obwohl die CO<sub>2</sub>-Einbeziehung der erdgeschichtlichen Entstehung vom fossilen Brennstoff Erdöl oder Erdgas - mit gleichermaßen organischen Ursprungs wie bei Holz - entfällt, soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass nur beim Holz ein sogenannter klimaneutraler Kreislauf von CO<sub>2</sub> zu Null-Werten führt, nicht aber beim Energieträger Erdöl oder Erdgas als Brennstoff.

	CO <sub>2</sub> - Äq.	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub> - Äq.	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Staub	CO	NM VOC
	[g/kWh]				[g/kWh]			[g/kWh]		
<b>Heizöl / Diesel</b>										
VK inkl. Hilfsenergie	<b>50,87</b>	47,97	0,10	0,00	<b>0,20</b>	0,12	0,11	0,02	0,09	0,04
Direkte	<b>267,06</b>	266,47	0,00	0,00	<b>0,12</b>	0,01	0,15	0,00	0,04	0,01
<b>Erdgas</b>										
VK inkl. Hilfsenergie	<b>44,92</b>	26,79	0,71	0,00	<b>0,08</b>	0,01	0,11	0,01	0,09	0,03
Direkte	<b>201,91</b>	201,37	0,01	0,00	<b>0,05</b>	0,00	0,07	0,00	0,05	0,00
<b>Pellets Einzelfeuerung</b>										
Vorkette	<b>10,21</b>	9,58	0,01	0,00	<b>0,10</b>	0,03	0,11	0,01	0,06	0,01
Direkte	<b>0,58</b>	0,00	0,01	0,00	<b>0,34</b>	0,02	0,46	0,12	1,30	0,02
Hilfsenergie	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 1: Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung in Haushalten & GHD-Sektor  
(Quelle: vgl. Umweltbundesamt, 2017b, S.80-84)

### **4.3 Grenzwerte für kleine- und mittlere Feuerungsanlagen**

Die erste Verordnung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (1.BImSchV) über Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe, mit einer Nennwärmeleistung von 4 Kilowatt oder mehr, ausgenommen Einzelfeuerungsanlagen, wurde vom Deutschen Bundestag überarbeitet und tritt für alle Anlagen, die ab dem 22. März 2010 errichtet wurden, mit ihrer 1. Stufe in Kraft. Diese schreibt einen Grenzwert für Feinstaubemissionen beim Verbrennen von Presslingen aus naturbelassenem Holz in Form von Holzpellets von  $0,06 \text{ g/m}^3$  vor. Dieser Wert muss von Anlagen, die ab dem 1. Januar 2015 errichtet wurden, in einer 2. Stufe, auf  $0,02 \text{ g/m}^3$  Feinstaub, verringert werden.

Auch die Höchstwerte für die Kohlenstoffmonoxid-Emissionen wurden von  $0,8 \text{ g/m}^3$  für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von 4 bis 500 Kilowatt und von  $0,5 \text{ g/m}^3$  für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von größer als 500 Kilowatt in Stufe 1 auf  $0,4 \text{ g/m}^3$  für alle Anlagen in Stufe 2 verringert. Dabei beziehen sich die Konzentrationsangaben auf das Abgasvolumen im Normzustand (273 Kelvin, 1.013 Hektopascal) nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf (vgl. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017).

Laut Deutschem Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV), halten bereits ein Großteil der Heizungshersteller die Grenzwerte der zweiten Stufe für die heute betriebenen Pelletheizungen ein. Ist zusätzlich ein Pufferspeicher für das Warmwasser vorhanden, verlängern sich die Lauf- und Standzeiten der Pelletkessel und die Emissionen werden deutlich reduziert (vgl. Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V., 2010).

### **4.4 Grenzwerte für Großfeuerungsanlagen**

Die Dreizehnte Verordnung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (13.BImSchV) legt die Emissionsgrenzwerte für Großfeuerungsanlagen in Deutschland fest. Der § 5 setzt für den Einsatz von Biobrennstoffen wie z.B. Holzpellets Emissionsgrenzwerte von  $0,01 \text{ g/m}^3$  an Gesamtstaub fest. Bei einer Feuerungsleistung von 50 MW bis 100 MW und bei Einsatz von naturbelassenem Holz liegt der Grenzwert für Kohlenmonoxid bei  $0,15 \text{ g/m}^3$ . Ab einer Feuerungsleistung von mehr als 100 MW ist ein etwas höherer Wert von  $0,20 \text{ g/m}^3$  erlaubt.

Allgemein gilt, dass die genannten Emissionsgrenzwerte von keinem Tagesmittelwert überschritten werden dürfen (vgl. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017a). Im direkten Vergleich mit den erlaubten Grenzwerten für die Emissionen von kleinen- und mittleren Feuerungsanlagen fällt auf, dass die Vorschriften für Großfeuerungsanlagen bezüglich Feinstaub und Kohlenmonoxid strenger sind.

Die gesetzlichen Auflagen zur Reduzierung der Feinstaubemissionen von Holzpellet-Anlagen wurden in der Vergangenheit zwar schon sehr verschärft, jedoch greifen sie nicht bei der Problematik der Emissionen, die bei dem Transport der Holzpellets entstehen, ein (vgl. Schwörer, 2017).

### **4.5 Emissionen aus der Vorkette bei Herstellung und Transport**

Da bereits während der Herstellung und dem Transport von Holzpellets Schadstoffe in der Luft vom Holz bis zur Pelletverfeuerung auftreten (vergleiche Tabelle 1), werden diese zusätzlich im Folgenden aufgeführt und mit den Endenergieträgern Heizöl und Erdgas verglichen.

## **Staub**

Die Staubemissionen fallen während der Vorkette bei Holzpellets, Heizöl und Erdgas mit 0,01 g/kWh, 0,02 g/kWh und 0,01 g/kWh fast gleich gering aus (vgl. Umweltbundesamt, 2017c, S. 80ff). Deutlich besser schneiden die Holzpellets in ihren Kohlendioxid-Emissionen in Bezug auf die Vorkette mit 9,58 g/kWh gegenüber Heizöl mit 47,97 g/kWh CO<sub>2</sub> und Erdgas mit 26,79 g/kWh CO<sub>2</sub> ab.

Bereits bei der Bandtrocknung entstehen Emissionen im Hinblick auf eine zu hohe Feinstaubbelastung. Vereinzelt Messungen ergaben Werte von 5-10 mg/m<sup>3</sup> Feinstaub in der Abluft der Bandtrocknung. Damit stellt die Bandtrocknung die Hauptquelle der Emissionen einer Pelleieranlage für Feinstaubemissionen dar. Zwar könnten diese durch Sekundärmaßnahmen reduziert werden, jedoch wäre der Filteraufwand der Abluft und der Energiebedarf für eine entsprechendes Leitsystem sehr hoch, weshalb dies aus wirtschaftlichen Gründen in der Praxis nicht oder kaum umgesetzt wird. Aufwändige Abdichtsysteme und eine verbesserte Luftführung von modernen Trocknern erzielen bereits deutlich geringere Feinstaubemissionen. Jedoch gibt es noch keine umfassenden Untersuchungen zu deren Umfang (vgl. Öko-Institut e.V., 2011, S.13).

## **Andere Schadstoffe**

Bezüglich der Kohlenmonoxid-Emissionen liegt der Wert mit 0,06 g/kWh von Holzpellets um circa ein Drittel unter denen von Erdgas und Heizöl, welche 0,09 g/kWh aus der Vorkette mitbringen.

Die NO(x)-Emissionen betragen bei allen drei Endenergieträgern 0,11 g/kWh während der Vorkette und unterscheiden sich in dieser Hinsicht nicht.

## **Treibhausgase, insbesbesondere CO<sub>2</sub>**

Bei einem Transport der Holzpellets mit einem Lastkraftwagen oder Tankwagen entstehen circa 100 Gramm Treibhausgase als CO<sub>2</sub>-Äquivalente und 0,0079 Gramm Feinstaub pro Tonnenkilometer (vgl. Umweltbundesamt, 2012, S.14). Dementsprechend fallen die Emissionen je nach Länge der Transportwege unterschiedlich hoch aus. Auch abhängig von der Ladekapazität und Anzahl der zu beliefernden Kunden mit entsprechender Routenplanung, verändert sich das Maß der Emissionen.

## **5. Förderung von Holzpellet-Anlagen und förderrechtliche Aspekte**

Die Entscheidung für den Einbau einer Holzpellet-Anlage wird auf einzelwirtschaftlicher Ebene getroffen. Für diese Entscheidung spielt die Förderung durch die öffentliche Hand eine wichtige Rolle. Die Förderung von Holzpellet-Anlagen, sowie die Forderungen und Pflichten, die an sie geknüpft sind, stellen Teil des Instrumentariums der Öffentlichen Hand für die Gestaltung der Wärmeversorgung dar.



## 5.1 Bundesebene

Zur Förderung von Pelletfeuerungen, die im Zuge von Neubau oder Gebäude-Modernisierung eingebaut werden, gibt es auf bundesdeutscher Ebene zwei große Programme. Zum einen das bestehende Markt-Anreiz-Programm für erneuerbare Energien im Wärmemarkt (MAP) und zum anderen ein darauf aufbauendes weiteres Anreiz-Programm Energieeffizienz (APEE), welches in den Jahren von 2016 bis 2018 genutzt werden kann. Diese werden beide vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) angeboten. Hierbei fördert das BAFA mit Hilfe von Investitionszuschüssen die Installation von kleineren Holzpellet-Heizungen mit einer Leistung von 5 bis 100 kW. Die KfW hingegen fördert im Zuge des Programms „Erneuerbare Energien – Premium“ größere Holzfeuerungsanlagen von mehr als 100 kW mit zinsgünstigen Darlehen und Tilgungszuschüssen.

Zusätzlich im Rahmen der Programme gibt es für die Besitzer eine Abwrackprämie in Sachsen und dem Saarland, in Höhe von 1.250 bzw. 1.000 Euro für einen mehr als 15 Jahre alten, fossilen Brennstoff-Kessel, der nachweislich im Zuge des Heizungs-Neubaus stillgelegt wird, (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.4f, Kesselheld GmbH, 2018), damit das Ziel des 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien Gesetzes (EEWärmeG) erfüllt wird. Dies besagt in § 1: „Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energie-Importen, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien zu fördern“ (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017b).

Das Gesetz schreibt in § 3 eine anteilige Nutzung erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung beim Neubau von Gebäuden vor (für die öffentliche Hand auch bei der Renovierung von Bestandsgebäuden). Die im Anschluss daran beschriebenen beiden Förderprogramme, die nach § 13 vorgesehen sind, finden jedoch in erster Linie beim Gebäudebestand ihre Anwendung. Somit soll das Gesetz dabei helfen, den Anteil an erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14 Prozent zu erhöhen (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.6).

### **Markt-Anreizprogramm für erneuerbare Energien im Wärmemarkt (MAP)**

Teil 1 Förderungen über das BAFA (5 bis 100 kW Anlagen)

Das Programm berechtigt insbesondere gemeinnützige Organisationen oder Genossenschaften aber auch Privatpersonen, Freiberufler, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften und kommunale Zweckverbände, Unternehmen und sonstige juristischen Personen des Privatrechts zur Antragstellung. Der Bund und die Bundesländer selbst, sowie deren Einrichtungen und Hersteller von förderfähigen Anlagen oder deren Hauptkomponenten, sind nicht anspruchsberechtigt.

Als förderfähig gelten im einzelnen Pelletkessel mit und ohne Pufferspeicher (falls mit muss das Pufferspeichervolumen mindestens 30 Liter je kW Nennwärmeleistung betragen), Kombinationskessel zur Verfeuerung von Holzpellets und Scheitholz, Pelletkaminöfen mit Wassertasche und eine Kombination der vorgenannten Pelletanlagen mit einer Solaranlage oder Wärmepumpe. Für Neubauten ist eine Innovationsförderung möglich, wenn es Anlagen mit Brennwertnutzung oder Staubfilter sind. Pelletkaminöfen ohne Wassertasche sowie gebrauchte Anlagen werden nicht gefördert.

Die Allgemeinen Förderbedingungen für Pelletfeuerungen bis 1 MW sind ein begrenzter Staubausstoß von maximal 20 mg/m<sup>3</sup>, ein Kohlenmonoxid-Ausstoß von höchstens 200 mg/m<sup>3</sup>, ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage sowie ein Kesselwirkungsgrad von mindestens 89 Prozent bei Anlagen bis 100 kW und mindestens 90 Prozent bei Pelletkaminöfen mit einer Wassertasche. Diese Emissionswerte müssen mit Hilfe von technischen Datenblättern vom Hersteller bei Antragstellung nachgewiesen werden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit das MAP mit zusätzlichen KfW-Förderprogrammen zu kumulieren. Hierzu zählen z.B. die Förderprogramme, „Energieeffizient Bauen“ und „Energieeffizient Sanieren - Ergänzungskredit“. Alle weiteren Kombinationen von Förderprogrammen mit dem MAP werden nur genehmigt, sofern die vom BAFA geförderte Holzheizung nicht von der KfW finanziert wird (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.5).

Die Basisförderung im Gebäudebestand berechnet sich, bei Holzfeuerungen von 5 bis 100 kW, individuell je nach Leistung des Pelletkaminofens (mit Wassertasche), Pelletkessels oder Kombikessels (für Pellets) mit 80€ pro kW. Mindestens jedoch in Höhe von 2.000-3.500€ je nach Anlage. (Siehe Tabelle 2) Wird eine Brennwertechnik und/oder ein Staubfilter eingesetzt können zusätzlichen Gelder aus der sogenannten Innovationsförderung beantragt werden (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.6) (Siehe Tabelle 3).

Anlagentyp			Basisförderung	Mindestgröße Pufferspeicher	
Pelletkaminofen mit Wassertasche				mind. 2.000 €	-
Pelletkessel	ohne	neuer Pufferspeicher	80 €/kW	mind. 3.000 €	-
	mit			mind. 3.500 €	30 l/kW
Kombikessel (Pellet/Scheitholz)	ohne		80 €/kW + 2.000 €	mind. 5.000 €	55 l/kW*
	mit			mind. 5.500 €	
Kombikessel (Hackschnitzel/Scheitholz)			5.500 €		
Scheitholzkessel			2.000 €		
Hackschnitzelkessel			3.500 €	30 l/kW*	

\* Der Pufferspeicher muss ggf. vorhanden sein, aber nicht neu installiert werden.

Tab. 2: Basisförderung für Holzfeuerungen von 5 bis 100 kW

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.6)

In Bestandsgebäuden	Pelletkaminofen mit Wassertasche (nur mit Partikelfilter)			80 €/kW	mind. 3.000 €
	Pelletkessel	ohne	neuer Pufferspeicher		mind. 4.500 €
		mit			mind. 5.250 €
In Neubauten	Pelletkaminofen mit Wassertasche (nur mit Partikelfilter)			2.000 €	
	Pelletkessel	ohne	neuer Pufferspeicher	3.000 €	
		mit		3.500 €	
Nachrüstung	alle Holzfeuerungen, die als Neuanlage förderfähig wären			je 750 €	

Tab. 3: Innovationsförderung für Pelletfeuerungen von 5 bis 100 kW

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.6)

Zur Veranschaulichung: Eine Anlage von 20 kW Leistung kann grob geschätzt ein Gebäudeensemble von circa 20 Gebäuden mit einer zu beheizenden Fläche von circa 100m<sup>2</sup> je Gebäude im KfW-Standard 40 versorgen.

Teil 2 Förderungen über die KfW (mehr als 100 kW Anlagen)

Bei Pelletanlagen größer als 100 kW besteht die Möglichkeit einer Förderung im Rahmen des Marktanzreizprogramms MAP, genannt KfW-Premiumförderung, mit einer ebenso bezeichneten Basisförderung und weiteren Zuschüssen für den innovativen Ausbau zur Verringerung der Staubemissionen (max. 15 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Prozent Sauerstoff), zur Speicherung (ab 30l/kW) und zur Biomasse-KWK-Anlage. Der maximale Förderbetrag ist auf 100.000,-€ je Anlage begrenzt, wobei kleine und mittlere Unternehmen (KMU) plus 10 Prozent des Förderbetrags zusätzlich erhalten (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.9).

### Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)

Wird das vorgenannte Anreizprogramm MAP genutzt, ist es für den Fall möglich, einen Zusatzbonus von 20 Prozent für weitere Effizienz-Verbesserungen von Pelletheizungen zu erhalten. Die nachfolgende Grafik verdeutlicht die verschiedenen Fördermöglichkeiten vom Anreizprogramm APEE in Abhängigkeit von der MAP-Förderung. Sie zeigt sowohl die Wahlmöglichkeit einer Basisförderung oder Innovationsförderung und deren 20 prozentigen APEE Bonus in Euro bei unterschiedlichen Pelletheizungen, als auch gegebenenfalls die Fördermöglichkeiten bei Kombination mit einer Solaranlage, bei einer Gebäudeeffizienz-Steigerung und einer Heizungsoptimierung. Die Höhe der Boni dieser drei genannten Förderungen werden auf der rechten Hälfte der Grafik als Möglichkeiten aufgezeigt (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.10f).

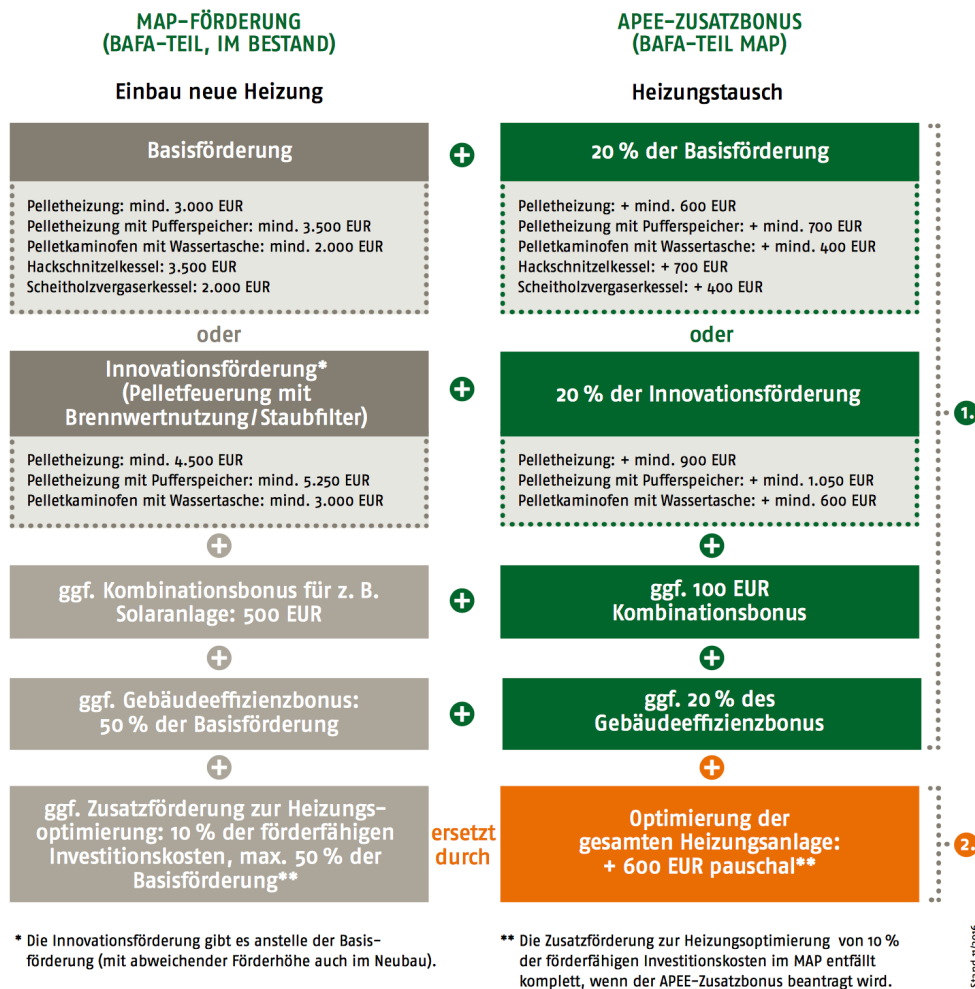


Abb. 13: Förderungsübersicht MAP und APEE

(Quelle: Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.12)

Für eine bessere Einschätzung der Größenordnung über die Höhe der Investitionszuschüsse sollen nachfolgende Zahlen der BAFA Aufschluss geben.

Im Zeitraum von 2000 bis 2016 wurden rund 411.000 kleinere Biomasseheizungen, z. B. Pelletkessel, in einem Umfang von rund 781 Millionen Euro gefördert. Die hierdurch angeschobenen Investitionen betragen ca. 5,92 Milliarden Euro. Das entspricht im Durchschnitt einem 13,2 prozentigen Förderungsanteil für diese Heizungen. Betrachtet man die Veränderung der Zahlen von 2015 und 2016, so ergibt sich eine Steigerung um 0,5 Prozent (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S.29). Im Segment „Biomasseanlagen“ bedeutet dies bundesweite Förderungen für circa 14.000 Pelletkessel und circa 1.300 Pelletöfen im Jahr 2016 mit einem Fördervolumen von durchschnittlich 2.920 Euro je Biomasseanlage (vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2017, S.28).

Allgemeine Rechtsgrundlage für den Besitzer bilden die Bundeshaushaltsordnung (BHO) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Insgesamt besteht kein Rechtsanspruch des Antragstellers auf die Förderung. Das BAFA und die KfW können aufgrund eigenen pflichtgemäßen Ermessens entscheiden. Allgemein steht die Gewährung der Förderung unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, S. 5f).

Zur Veranschaulichung: Ein großes Altersheim mit circa 250 Bewohnern braucht für die Deckung der Wärme-Grundlast einen Pellet-Kessel mit circa 400 kW Leistung.

## **5.2 Landesebene und Hamburg**

### Landesebene

Die Förderungen auf Landesebene in den verschiedenen Bundesländern bieten eine Ergänzung, der zuvor beschriebenen Förderprogramme auf Bundesebene. Die sechzehn verschiedenen Bundesländer und ihre Regierungen bieten, je nach energiepolitischer Zielsetzung, beispielsweise eine unterschiedliche Anzahl und inhaltliche Ausrichtung von Förderprogrammen (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.20ff).

### Hamburg

Das Förderprogramm in Hamburg nennt sich „Erneuerbare Wärme“ und ist Teil des Hamburger Klimaschutzprogramms. Es richtet sich an Holzpellets-Heizanlagen im Gebäudebestand ab 100 kW. Somit werden Grundeigentümer, Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Organisationen mit einem Zuschuss von 45 € je kW Nennwärmeleistung für Feuerungsanlagen bis 500 kW gefördert. Bei größeren Anlagen wird die Höhe des Zuschusses im Einzelfall festgelegt (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017f, S.21).

Die Anzahl der neuen Förderungen in den letzten 10 Jahren in Hamburg fällt mit circa zwei bewilligten Anträgen pro Jahr im Bundesdurchschnitt, besonders im Vergleich mit dem Süden Deutschlands, sehr gering aus. Außer fünf großen Holzpellet-Anlagen im Pflegebereich existieren kaum Beispiele im Einsatz mit erneuerbarer Wärme. Auch werden nur Anlagen gefördert, sofern keine Fernwärme für den Anschluss zur Verfügung steht. Obwohl die Anzahl, der

mit Fernwärme versorgten Wohneinheiten an allen Wohneinheiten, einen Anteil von nur circa 15 Prozent an der Wärmeversorgung ausmacht, macht diese Förderpolitik die Positionierung Hamburgers deutlich. Es spricht mehr für einen Fernwärmeausbau als für eine Zukunft der Holzpellets (vgl. Schwörer, 2017).

### **5.3 Rechte und Pflichten von Betreibern und Kunden**

Besitzer von geförderten Holzpellettheizungen können ihren Anspruch auf BAFA-Förderung (letzte Novellierung 2017) erst nach Herstellung der Betriebsbereitschaft der Anlage geltend machen. Dabei muss sich die Anlage, geografisch gesehen, in der Bundesrepublik Deutschland befinden und ist mindestens für die Dauer von sieben Jahren zweckgebunden zu betreiben. Während dieser Zeit, darf die Anlage nicht stillgelegt werden. Auch eine Veräußerung gilt nur als rechtmäßig, wenn der entsprechende Weiterbetrieb gewährleistet und nachgewiesen werden kann. Eventuelle Mieter und Pächter bedürfen einer schriftlichen Erlaubnis des Besitzers der versorgten Gebäude, ohne die weder die Errichtung noch das Betreiben einer geförderten Holzpellettheizung erfolgen darf.

Ein Antrag kann erst eingereicht werden und mit der tatsächlichen Subvention beziehungsweise der staatlichen Förderung gerechnet werden, wenn die Planung, Herstellung, und Bezahlung der Anlage erfolgt ist. Hierbei liegt der Zeitraum zwischen Antragsstellung und Bewilligung in der Regel bei circa vier Wochen. Wenn Anlagen im Gebäudebestand gefördert werden, muss sichergestellt sein, dass diese ab Antragstellung seit mindestens zwei Jahren in Betrieb waren, unabhängig davon ob sie ersetzt oder unterstützt werden (vgl. Braunschweiger, 2017).

Mit einer regelmäßigen und kostenlose Überprüfung der Anlage seitens der Bewilligungsbehörde muss sich der Besitzer oder aber Mieter bzw. Pächter einverstanden erklären. Sollte diese Nichteinhaltung der Emissionsanforderungen nachgewiesen werden können, dann dürfen Zuwendungsbescheid und Fördermittel zurückgefordert werden (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, S. 59f). Darüber hinaus sind auch Forderungen an die Betriebsdauer der geförderten Anlage geknüpft. Mindestens sieben Jahre lang nach Bewilligung der Förderung muss diese Anlage vom Besitzer - oder vom Erwerber nach einer Veräußerung - betrieben werden (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, S. 6).

## **6. Vor- und Nachteile von Holzpellet-Anlagen**

Die bisher geschilderten Aspekte von Holzpellettheizungen gilt es nun zu ordnen und gesammelt zu betrachten.

### **6.1 Aus gesellschaftlicher (einschließlich volkswirtschaftlicher) Perspektive**

#### **Vorteile**

Holz gilt als erneuerbarer Energieträger. Solange das Holz, das energetisch genutzt wird, auch in absehbarer Zeit nachwächst, ist das auch der Fall. Die in Deutschland verwendeten Holzpellets erfüllen zur Zeit das Kriterium der „Erneuerbarkeit“, da sie aus Säge-Abfällen stam-

men. Sobald Bäume abgeholzt werden und keine kompensierende Neupflanzung vorgenommen wird, ist Holz nicht mehr erneuerbar. Holzpellets erfüllen also die Vorgaben des im Jahr 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Aus Sicht des Klimaschutzes verläuft die Verbrennung von Holzpellets CO<sub>2</sub>-neutral, da nur so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird, wie vorher beim Holzwachstum aufgenommen wurde (vgl. Wosnitza, Hilgers, 2012, S.220f).

Einer der grossen Vorzüge von Holzpellets gegenüber anderen Brennstoffen besteht in der Besonderheit, dass diese in 90 Prozent der Fälle aus Abfallprodukten der Sägewerke hergestellt werden. Im Sinne der Abfallhierarchie, nach § 6 KrWG, handelt es sich um eine „Sonstige Verwertung“ und da aus den Sägenebenprodukten ein höherwertiges Produkt in Form von Holzpellets entstehen kann, wird diese Recycling-Fähigkeit mit dem englischen Wort als „Up-cycling“ bezeichnet. Hierbei erlangen die Holzpellets einen um circa 10% höheren Brennwert als reines Vollholz. Folglich haben Holzpellets gegenüber Scheitholz der verschiedensten Baumarten mit circa 5 kWh/kg einen um 0,5 bis 1 kWh/kg höheren Brennwert (vgl. Wosnitza, Hilgers, 2012, S.220f). Der Aufwand an Energie, der für die Bereitstellung von Holzpellets notwendig ist, fällt mit nur 2,7 Prozent im Vergleich mit Erdgas (10 Prozent) und Heizöl (12 Prozent) gering aus (vgl. Wosnitza, Hilgers, 2012, S.105).

Pellets bieten die Möglichkeit, als Ergänzungsbrennstoff zu den fossilen Brennstoffen in Großkraftwerken, die Treibhausbilanz in Form einer Mitbefeuerung („Co-Firing“) aufzubessern und damit die geforderten energiepolitischen Vorschriften einzuhalten (vgl. Brunsmeier, 2014, S.11).

Für den Einfluss der Verbrennung auf den Treibhauseffekt wird das CO<sub>2</sub>-Äquivalent betrachtet. Dieser Wert fällt mit 0,58g/kWh, verglichen mit den Emissionen von Heizöl 267,06g/kWh und Erdgas 201,91g/kWh, deutlich vorteilhafter aus. Auch während der Vorkette bis zur Verbrennung der Holzpellets entstehen gegenüber Heizöl circa 80 Prozent weniger und gegenüber Erdgas immerhin circa 65 Prozent weniger CO<sub>2</sub> Emissionen (Umweltbundesamt, 2017c, S. 80ff). Holzpellettheizungen ermöglichen insofern deutliche THG-Emissionsminderungen (minus 80 Prozent) zum Beispiel im Vergleich zu Biogas (vgl. Greenpeace e.V., 2010, S.7).

Bei einer Umstellung von Heizöl auf eine Pelletheizung kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um circa 5 t/a und bei Gas auf 2,5 t/a reduziert werden (vgl. Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, 2004, S.4).

Im Rahmen des EnEV wurde Mitte 2015 der Energieausweis für Gebäude eingeführt, der unter anderem die Primärenergie für eine entsprechende Endenergiemenge berücksichtigt. Hierbei weisen die Werte für Holzpellets mit einem niedrigen Primärenergiefaktor von circa 0,2 gegenüber Heizöl und Erdgas mit circa 1,1 deutliche Vorteile auf, der den insgesamt Energieverbrauchswert von Gebäuden positiv beeinflusst (vgl. Aldehoff, 2016).

Die natürliche Materialbeschaffenheit der Holzpellets schließt Umweltgefahren, wie sie in Form von Öltankerunfällen, undichten Gaspipelines, Gasexplosionen-, Boden- und Wasserverseuchungen auftreten, aus und stellt somit keine Gefahr für Meere, Süßgewässer und Böden dar (vgl. EnergieAgentur.NRW, 2013, S.10).

### **Nachteile**

Insgesamt braucht es mehr Transparenz über die Herkunft von Holzpellets.

Der Energieträger Holz für die Pellet-Herstellung ist nur dann erneuerbar, wenn er durch Aufforstung nachwachsen kann. Geschieht dies nicht, und sollte mehr Holz geschlagen und verbrannt werden als durch entsprechende Aufforstung wieder nachwachsen kann, fiele die CO<sub>2</sub>-

Bilanz entsprechend negativ aus. Die Auswirkungen zeigen sich seit einiger Zeit in riesigen Waldgebieten in Nord- und Osteuropa sowie Nordamerika, wo genau dies geschieht (vgl. Czycholl, 2016). Wird Biomasse verbrannt, muss die dadurch entstehende Freisetzung von CO<sub>2</sub> kompensiert werden, bis die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Hilfe eines Neuaufwuchs wieder ausgeglichen sind. In der Berechnungsmethodik der Novelle der EU zur Erneuerbare-Energien-Richtlinie erscheint diese verbleibende sogenannte „CO<sub>2</sub>-Schuld“ in den Berechnungen nicht. Daher besteht die Gefahr, dass ein europäischer „Energieholz-Hunger“ ein CO<sub>2</sub>-Defizit in Wäldern außerhalb der EU verursacht (vgl. Umweltbundesamt, 2018).

Ein deutlicher Nachteil ist die Emission von Staub. Bei der Verbrennung von Holzpellets entstehen 0,12 g/kWh Staub, während dieser Wert bei Heizöl- oder Erdgaskesseln bei unter 0,01 g/kWh liegt (vgl. Umweltbundesamt, 2017c S.80ff). Der Wert von 0,12 g/kWh ist als Durchschnitt zu betrachten, oder als der Wert, der bei optimaler Verbrennung resultiert. Bei unvollständiger Verbrennung, wie sie während des Hoch- und Herunterfahrens des Kessels erfolgt, können die Staub-Emissionen weit höher sein. In welchem Umfang der Wert von 0,12 g/kWh Mensch und Natur beeinträchtigt, gilt für eine adäquate Bewertung der Holzpellets noch zu reflektieren.

Setzt man die Staubemissionen ins Verhältnis zu anderen Quellen, tragen Holzpelletanlagen mit 3,8 Prozent zu den gesamten Staubemissionen und mit 6,8 Prozent zu den Feinstaubemissionen bei (vgl. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen/Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2012, S.15). Für den Fall, dass zukünftig Abgaben für Emissionen wie Feinstaub oder Stickoxide erhoben werden, würden Holzpellets als Energieträger teurer werden.

## **6.2 Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive**

### ***Vorteile***

Da es sich bei Holzpellets um ein Schüttgut handelt, können Feuerungsanlagen auch vollautomatisch betrieben werden (vgl. Döring, 2011, S.4). Dennoch ist dies im Vergleich zu Gas aber trotzdem nachteilhaft. Je kleiner und trockener die Holzhäckseln sind, desto automatisierter kann die Feuerungsanlage arbeiten (vgl. Schwörer, 2017). Dies ermöglicht die geringsten Emissionswerte unter den am Markt verfügbaren Kleinf Feuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe (d. h. Stückholz, Hackgut, Pellets) und somit auch die beste Umweltbewertung (vgl. Döring, 2011, S.4). Bedingt durch ihre kleine Form entstehen bei dem vollautomatischen Betrieb, zum Beispiel über eine Schnecke, keine Verstopfungen während der Beschickung des Brennkessels, als es zum Beispiel bei Hackschnitzeln der Fall sein kann. Infolgedessen wird die Überwachung der Anlage vor Ort vereinfacht und zusätzliche Wartungskosten gespart (vgl. Schwörer, 2017).

Im Zeitraum der letzten 10 Jahre war der Preis für Holzpellets im Vergleich zum Preis von Öl und Gas relativ niedrig. Die Verbraucherpreise bleiben bis auf eine Ausnahme Anfang 2016 mit aktuell circa 4,6 Cent/kWh deutlich unterhalb der Preise von Erdgas und Heizöl pro kWh.

Aus einzelwirtschaftlicher Sicht ergibt sich ein weiterer Vorteil in Form von geldwerten Förderungsmöglichkeiten auf Bundes- und Landesebene (siehe Kapitel 5). So können die hohen Anschaffungskosten einer Holzpelletheizung in Höhe von circa 20.000,- Euro um bis zu circa 25 Prozent gemindert werden (vgl. Lahner, 2013, S.57ff).

## Nachteile

Vor allem die hohen Anschaffungskosten einer Holzpelletheizung im Vergleich zu einer Öl- oder Erdgas-Heizung bedeuten einen Nachteil in einzelwirtschaftlicher Hinsicht. Mit circa 20.000,- Euro ist diese im Vergleich zu einer Öl-Heizung circa 40 Prozent teurer und im Vergleich zu einer Erdgas-Heizung fast doppelt so teuer (vgl. Lahner, 2013, S.57ff). Die Förderung auf Bundes und Landesebene ändert nichts daran, dass Holzpellet-Heizungen teurer sind als Gas- oder Ölheizungen.

Hinzu kommt, dass Platz geschaffen werden muss, für die Lagerung der Holzpellets in Form eines Kleinsilos, eines Lagerraums oder eines Erdtanks, wie unter Kapitel 3 Abschnitt 3 beschrieben (vgl. Hartmann et al. 2007, S.45). Dieser Umstand erfordert, zumindest in vielen Städten Deutschlands im Zuge immer weiter steigender Grundstücks- und Immobilienpreise, ebenfalls diesen zusätzlichen Kostenfaktor einzukalkulieren.

Die Anlieferung der Holzpellets mit Hilfe eines Silo-Tankwagens oder Lastkraftwagens, wie unter Kapitel 3 Abschnitt 2 beschrieben, benötigt eine ausreichend große Zuwegung, die angesichts zunehmender Verdichtung und Urbanisation in Deutschlands Städten tendenziell problematischer werden kann. Je nach Wärmebedarf und Größe des Pelletspeichers müssen die Holzpellets eventuell mehrmals im Jahr geliefert werden. (Beispiel siehe Kapitel 3.4)

Die Selbstständigkeit der Holzpelletheizung ist von zwei Faktoren eingeschränkt. Zum einen von der Entsorgung der Asche, welche je nach Verbrauch und Größe des Auffangbehälters circa alle 5-15 Wochen (vgl. symweb GmbH, 2018) erfolgen muss. Zum anderen muss der Wärmetauscher des Kessels für einen möglichst guten und gleichmäßigen Wärmeübergang regelmäßig gereinigt werden. Der Aufwand für die Reinigung des Kessels bzw. Pelletofens ist abhängig davon, ob diese manuell, mechanisch oder automatisch geschieht (vgl. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2012, S.15). Letzteres führt zusammen mit einer automatischen Beschickung zu einer erhöhten Störungsanfälligkeit mit entsprechend höheren Wartungskosten und höherer Geräuschkentwicklung der Anlage (vgl. Mangels, 2018).

## 6.3 Vor- und Nachteile auf einen Blick

	Vorteile	Nachteile
<b>Gesellschaftlich/ Volkswirtschaftlich</b>	Erneuerbarer Energieträger: Holzverbrennung gilt als klimaneutral	Erneuerbarkeit nur bei Aufforstung
	Abfallprodukte nach Konvention als „erneuerbar“ betrachtet	ungenügende Transparenz über die Herkunft
	größere Unabhängigkeit von erdöl- und erdgasfördernden Ländern	Importe aus dem Ausland verursachen zusätzliche Emissionen
	niedriger Primärenergiefaktor von circa 0,2 (CO <sub>2</sub> -Äquivalent von 0,58g/kWh ist gering)	Staubemissionen in Höhe von 0,12 g/kWh
	schließt Umweltgefahren aus	



	Vorteile	Nachteile
<b>Einzelwirtschaftlich</b>	Circa 10% höherer Brennwert als Vollholz (circa 5 kWh/kg)	Platzbedarf bei Lagerung und Befüllung
	Geringer Energieaufwand für die Bereitstellung	Entsorgung der Asche
	Mitbefeuerung („Co-Firing“) zur Verbesserung der Treibhausbilanz	Störanfälligkeit + Wartungskosten
	Förderung der Holzpellet-Heizung von bis zu circa 25 Prozent	Hohe Anschaffungskosten
	Mit circa 4,6 Cent/kWh niedriges Preisniveau	Häufige Anlieferung (bei hohem Wärmebedarf und geringer Pelletspeichergröße)
		Lokale Emissionen

Tab. 4: Vor- und Nachteile von Holzpellets

(Quelle: Eigene Darstellung)

## 7. Holz- und Pelletheizungen in Hamburg: Status Quo

### 7.1 Aktuelle Situation der Wärmeversorgung

Hamburg benötigt über 50 Prozent seines gesamten Endenergiebedarfs in Form von Wärme. Hierzu zählen die Beheizung von Wohnräumen, Gewerberäumen und Räume öffentlicher Einrichtungen, sowie deren Versorgung mit Warmwasser (vgl. Ecofys Germany GmbH, 2014, S. 2). Wärmeerzeugung erfolgt entweder in den Gebäuden selbst, oder außerhalb von Gebäuden; dann wird sie mit Heißwasserrohren (vereinzelt noch Dampf) zum Ort des Verbrauchs transportiert. Dies heißt „Fernwärme“, sobald der Wärmelieferant eine andere juristische Person als der Gebäudebesitzer ist.

Im Jahr 2012 wurden 20,9 Prozent des Wärme-Gesamtverbrauchs in Hamburg durch Fernwärme gedeckt. Der Großteil wurde jedoch gebäudeseitig bereitgestellt, zu 63,2 Prozent mit Erdgas, zu 10,5 Prozent mit Heizöl und zu 5,4 Prozent über andere Energieträger wie zum Beispiel Kohle, Scheitholz, Holz-Hackschnitzel, Holzpellets und andere Biomassen (vgl. Maaß, Sandrock, 2015, S.5).

Für Hamburg liegen keine Daten zur Anzahl von Pelletheizungen vor. So kommt man auf circa 800 gebäudeseitige Holzpellet-Heizungen wenn angenommen wird, dass sie in Hamburg ebenso häufig wie im Bundesdurchschnitt vertreten sind (das sind 0,2 Prozent der circa vierhunderttausend Holzpellettheizungen in Deutschland) (vgl. Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2017g). Letztendlich werden für die Wärmeversorgung bei größeren Anlagen Holz-Hackschnitzel den Holzpellets vorgezogen, da diese aufgrund ihrer weniger aufwändigen Herstellung circa die Hälfte kosten. Größere Anlagen können die Feststoffe in größeren Stücken verarbeiten; es sind die kleinen Anlagen, die auf kleinteilige Biomasse mit hoher Energiedichte

angewiesen sind. Größere Anlagen von mehreren Megawatt können mit Hackschnitzeln oder auch mit Holzscheiten und Altholzstücken betrieben werden (vgl. Schwörer, 2017).

Das in Hamburg stetig weiter wachsende Fernwärmenetz versorgt aktuell circa 450.000 Wohneinheiten mit Fernwärme, bis zum Jahr 2025 soll die Anzahl auf 525.000 Wohneinheiten anwachsen (vgl. Vattenfall Wärme Hamburg GmbH, 2013, S.6). Diese Tendenz des Ausbaus, besonders in verdichteten Stadtbezirken, lässt, insbesondere bei einer Anschlussmöglichkeit an das zentrale Fernwärmenetz, Pelletheizungen ungünstiger erscheinen, zumindest aus Sicht der Stadt bzw. des Betreibers des Fernwärmenetzes. Nur im dezentralen Ein- und Mehrfamilienhaus-Bereichen, die darüberhinaus über kein zentrales Erdgas-Versorgungsnetz verfügen und noch mit Heizöl versorgt werden, sind Holzpellets für die Wärmeversorgung sowohl bei den Gebäudebesitzern als auch aus Sicht der Stadt Hamburg eine klimafreundliche Alternative (vgl. Schwörer, 2017). Hierzu zählen beispielsweise größere Teile der Stadtbezirke, in denen bisher keine spezifizierten Bebauungspläne, sondern noch Baustufen-Pläne ohne aktuell städtebaulich-planerische Zukunft, existieren und darüber hinaus keine Erdgas-Anschlussmöglichkeiten bestehen. Beispielsweise sind Stadtteile von Hamburg im Nord-Westen wie Lurup, Stellingen und Schnelsen und im Osten/Südosten wie Farmsen, Tondorf und Allermöhe betroffen.

Insbesondere der Rückkauf der privaten Energienetze für die Wärmeversorgung von der Stadt Hamburg erschwert eine Übersicht des Erdgasnetzes, sowie den derzeitigen Stand der seit Mai 2015 gestarteten Umstellung für die deutsche Erdgasversorgung, da bis 2029 der Großteil des Erdgasnetzes schrittweise von „L-Gas“ mit niedrigem Brennwert auf „H-Gas“ mit höherem Energiegehalt umgestellt wird (vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2015, S.2).

Vor allem, da die Fernwärmeversorgung bis 2025 ohne Kohle auskommen soll, ist die Zukunft der beiden Kohle-Heizkraftwerke in Wedel und Tiefstack seit längerem in der Diskussion. Für das Fernwärmenetz stellen sie keine energiepolitische Alternative mehr dar, wobei Wedel in 5 Jahren stillgelegt und Tiefstack im Jahr 2024 auf Erdgas umgestellt werden soll (vgl. dpa-infocom GmbH, 2017).

Abbildung 14 zeigt den fernwärmeversorgten Stadtraum in Hamburg. Es fällt auf, dass die Fernwärme nördlich der Elbe eher im Zentrum liegt und dass Randbereiche der Stadt nicht versorgt sind.



Abb. 14: Das Fernwärmeversorgungsgebiet in Hamburg  
(Quelle: Vattenfall Wärme Hamburg GmbH, 2013, S.6)

Aufgrund der relativ geringen Speichermöglichkeiten wird die Wärme bedarfsabhängig produziert. Die nachfolgende Abbildung 16 verdeutlicht die Verteilung des Wärmebedarfs Hamburgs über den Zeitraum eines Jahres in Stunden. Hierbei fällt auf, dass ein bestimmter Wärmebedarf permanent benötigt wird und der teure Brennstoff Gas in reinen Heizwerken ohne Stromproduktion nur selten eingesetzt wird (vgl. Drieschner, 2017).

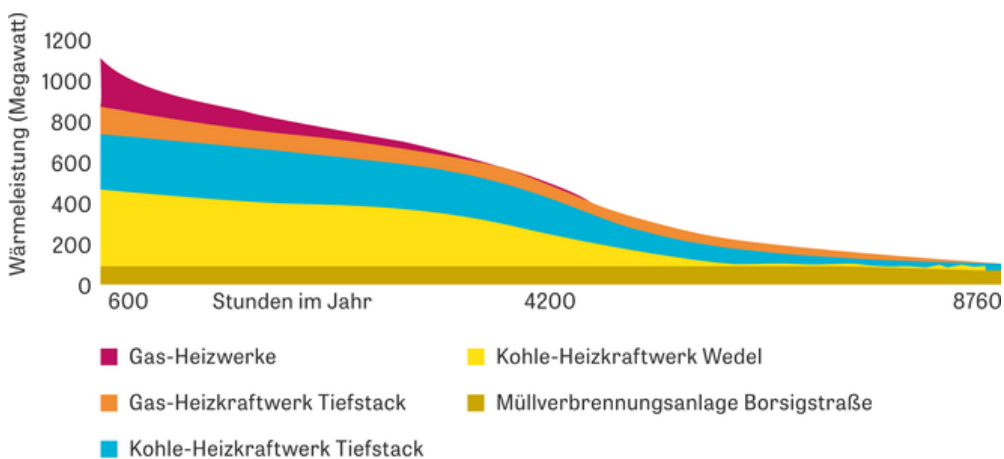


Abb. 16: Wer heizt wann  
(Quelle: Zeit Online GmbH, 2017)

## 7.2 Emissionen von Holzpelletanlagen in Hamburg

Zur Abschätzung der Belastung der Hamburger Luft mit Feinstaub werden zum einen die lokalen Feinstaubkonzentrationen, die Menschen mit ihrer Atemluft einatmen, und zum anderen nachfolgend die Jahresmengen in Hamburg betrachtet.

Das Hamburger Luftqualitäts-Messnetzwerk ist zu grobmaschig, um etwaige lokal auftretende hohe Konzentrationen zu messen (vgl. Schwörer, 2017). Das Luftqualität-Messnetzwerk in Hamburg betreibt aktuell 16 Messstationen, die unterschiedliche Schadstoffe erfassen (vgl. Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Institut für Hygiene und Umwelt, 2018). Daraus bildet Hamburg unter anderm einen Luftqualitätsindex, der die Hamburger Luft in Form von Noten beurteilt.  $PM_{10}$  wird aktuell an acht Stationen,  $PM_{2,5}$  an drei Stationen im Hamburger Stadtgebiet gemessen.

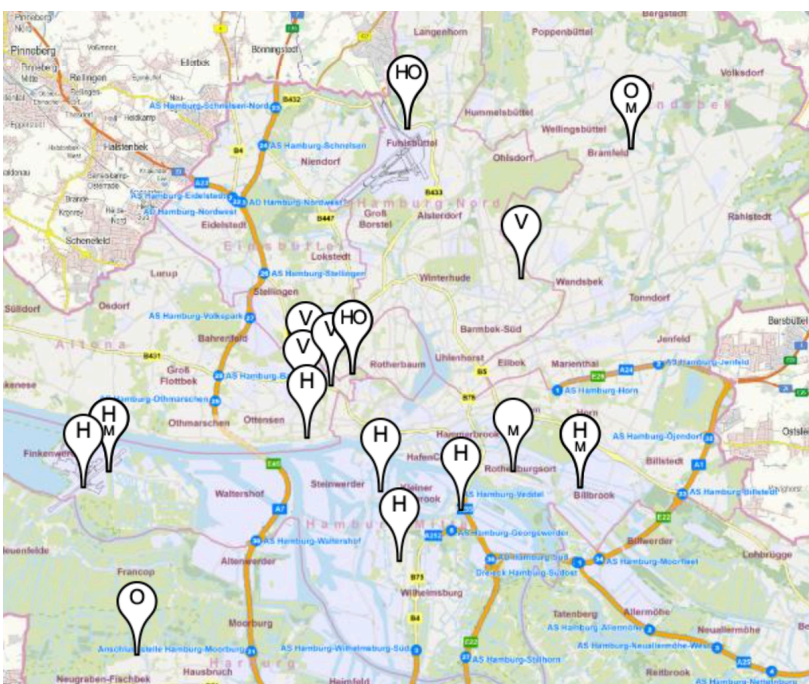


Abb. 17: Luftqualitäts-Messnetzwerk Hamburg

(Quelle: vgl. Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Institut für Hygiene und Umwelt, 2018)

Was die Jahresmengen betrifft, so hat der Autor ursprünglich versucht, Schätzungen von Mengen-Emissionen (in kg) vergleichbar zu machen mit Messungen von Konzentration (durch Hochrechnen unter Annahme eines Luftvolumens). Dies hat er aber nach Gespräch mit den Experten unterlassen. Wesentliches Ergebnis der Experteninterviews war, dass die schnelle Auflösung von Feinstaub-Konzentrationen sehr stark von lokalen Wetterbedingungen abhängt, sodass keine Allgemeinen Aussagen über lokale Belastungen getroffen werden können.

In der Regel werden Staubemissionen aus Heizungsanlagen über den Schornstein in eine höhere Luftschicht emittiert. Je nach Höhe der Schornsteine (circa 15 m bis 25 m) werden die Staubemissionen in der Regel anders verwirbelt, schneller verdünnt und breiten sich anders aus als die Emissionen aus dem Verkehr, welcher in Bodennähe (circa 0 m bis 5 m) stattfindet. Aufgrund der komplexen, meteorologischen Einflüsse, wie Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck etc., ist es schwierig, eine allgemeine Aussage über (lokale Effekte) von Emissionen

aus Schornsteinen zu machen. Im Zusammenhang mit diesen meteorologischen Einflüssen folgen einige Erklärungen zur Verteilung von Emissionen in Hamburg.

Grundsätzlich findet Vermischung und Transport der Luftpartikel unterhalb der planetarischen Grenzschicht, die sich im Mittel bei circa 1.000 m befindet, statt. Hierbei nimmt die Lufttemperatur in vertikaler Richtung nach oben hin ab und warme Luft steigt unbegrenzt auf. Ab einer Höhe von über circa 50 m ist der Einfluss der Erdoberfläche noch da, aber es findet ein Reibungseinfluss aufgrund von Windrichtungsänderungen mit der Höhe statt. Generell ist über Städten die Luft wärmer und die Wolkendecke höher als über Land.

Bei einer Inversionswetterlage in Hamburg im Winter (statt warmer Luft, die aufsteigt und abkühlt, liegt eine warme Luftschicht über einer kälteren bodennahen Luftschicht) verteilen sich Luftschadstoffe unterhalb von 500 m Höhe auf horizontaler Ebene, da keine Berge Einfluss nehmen. So führte eine Smogwetterlage im Jahr 1986 zu einer Luftverschmutzung von Hamburg aus bis nach Helgoland. (Nachgewiesen werden konnte dies, anhand des typischen Hamburger Schadstoffspektrums in der Luft.) Bei ähnlichen Inversionswetterlagen in Städten wie Sophia oder Stuttgart, die in einem Talkessel liegen, ist der Luftaustausch zur Reduzierung der Emissionskonzentration noch stärker eingeschränkt (vgl. Mangels, 2018).

Ruß ist ein Anzeichen für unvollständige Verbrennung. Dort wo es Ruß (aus einer Holzverbrennung) vorhanden ist, gibt es auch andere Schadstoffe aus der Verbrennung, die ggfs. schneller als der Ruß in der Luft verteilen, oder die sich an den Ruß anhaften, wie z. B. die polyzyklischen aromatischen Kohlenstoffe (PAKs). Nicht alle dunklen Streifen an Fassaden in der Nähe von Holzverbrennungen müssen Ruß aus dieser Verbrennung sein. In Bereichen in denen sich Wasser, aufgrund von Kondensation der Luftfeuchtigkeit, an Fassaden sammelt, lagern sich auch Partikel aus der Luft ab und können die Fassade dunkel färben (vgl. Mangels, 2018).

Holzpellet-Anlagen sind aus Sicherheitsgründen häufig überdimensioniert. Nach VDI werden diese auf Höchstlast ausgelegt, für die seltenen Fälle von niedrigen Außentemperaturen für Hamburg. Holzpelletheizungen lohnen sich eher für größere Anlagen, weil das Verhältnis von Staub zu kWh Wärme von kleineren Anlagen deutlich schlechter ausfällt.

Für eine Schätzung der Jahresmengen an Feinstaub aufgrund von Holzpelletheizungen in Hamburg, wird an dieser Stelle die Anzahl und Leistung dieser grob geschätzt. Bei circa 800 Holzpelletheizungen in Hamburg mit einer Durchschnittsleistung von 10 kWh Wärme und einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 1.600 Stunden pro Jahr, ergibt bei einer Staubemission in Höhe von 22,81 g pro kWh insgesamt circa 29,20 Tonnen pro Jahr.

Da keine genauen Werte für die Staubemissionen der verschiedenen Quellen in Hamburg vorliegen, sind Durchschnittswerte für Deutschland in Tabelle 5 dargestellt, um den Einfluss der Verbrennung von Holzpellets zumindest ungefähr zu veranschaulichen.

Geschätzte Staubemissionen aller Holzpelletheizungen in Deutschland:

Circa 400.000 Holzpelletheizungen in Deutschland mit einer Durchschnittsleistung von 10 kWh Wärme bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 1.600 Stunden pro Jahr ergibt bei einer Staubemission in Höhe von 22,81 g pro kWh insgesamt circa 14.600 Tonnen pro Jahr. Somit verursachen Holzpelletheizungen mit 15 Tonnen circa 4,3 Prozent aller Staubemissionen in Deutschland (gesamt 345 Tonnen).

*Tab. 5: Staubemissionen in Deutschland*

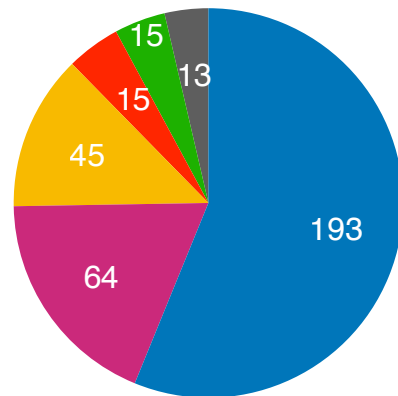
*Abb. 18: Die wichtigsten Staubemissionen*

Staub (Gesamt)	
Quelle	2015
Energiewirtschaft	11,2
Verarbeitendes Gewerbe	4,0
Verkehr <sup>2)</sup>	44,5
Haushalte und Kleinverbraucher <sup>3)</sup>	27,1
Militär und weitere kleine Quellen	0,2
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	15,4
Industrieprozesse	193,4
Landwirtschaft	63,9
Abfall und Abwasser	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>359,8</b>

in Tsd. Tonnen

(Quelle: vgl. Umweltbundesamt, 2017d)

- Industrieprozesse
- Landwirtschaft
- Verkehr
- Diffuse Emissionen aus Brennstoffen
- Holzpellets
- Haushalte und Kleinverbraucher



in Deutschland in Tsd. Tonnen

(Quelle: Eigene Darstellung)

### 7.3 Verfügbarkeit von Biomasse in Hamburg

Generell nimmt Biomasse im Bereich der Wärmeversorgung unter den erneuerbaren Energien eine bislang dominierende Rolle ein (vgl. Maaß, Sandrock, 2015, S.37). Im Jahr 2006 verfügte Hamburg über ein Biomassepotential von ungefähr 50.000 t Holz pro Jahr. Davon existieren circa 60 Prozent der Biomasse Holz in Hamburg im Wohnumfeld als Straßenbäume, ohne dass dabei das Wald-Stammholz berücksichtigt ist (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.20). Insgesamt 8 Prozent der Hamburger Bodenfläche wird als Waldfläche, mit jährlich weitgehend regelmäßigem Aufwuchs, genutzt (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.10). Als potentiell energetisch nutzbar gelten hierbei nur Derbholz und Holz aus der Erstdurchforstung. Unter der Annahme, dass 50 Prozent davon energetisch genutzt werden können, verbleiben aus dem Wald ein Holz-Biomassepotential von circa 1.100 Tonnen Feuchtmasse mit 20 Prozent Wassergehalt (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.29).

Ausschlaggebend für eine kurz- bis mittelfristige energetische Nutzung der Hamburger Biomasse Holz ist die Realisation von regionalen Nutzungs- beziehungsweise Verbrennungskapazitäten. Darüber hinaus erscheint aufgrund des Abtransports des Holzes, in der Regel direkt am Ort des Fällens und Beschneidens des Baumes, eine lokale Abnahme mit geringen Logistikkosten erstrebenswert.

Findet die Biomasse Gras zunehmend mehr ihre Verwendung in der Vergärung, so wird auch die Nachfrage nach Holzhäckseln als Strukturmaterial für die Kompostierung abnehmen. Schließlich können auf diese Weise zusätzliche Verbrennungs-, Pelletierungs- und Brikettierungs-Kapazitäten geschaffen werden, um das Energiepotential weiter auszuschöpfen (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.31).

Auch um Hamburg herum ist Biomasse nur begrenzt vorhanden. Dafür existieren Windkraftanlagen (wegen der geografischen Gegebenheiten Norddeutschlands) zur elektrischen Stromversorgung, die gleichwohl eine Rolle in der Wärmeversorgung spielen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sieht das Potential für Biomasse als begrenzt an. Insofern sollte die Biomasse in erster Linie dort genutzt werden, wo diese anfällt, was zur Einschätzung führt, dass eine individuelle Heizung mit Pellets demgegenüber die Ausnahme bleibt. Auch die Autoren des 2010er Gutachten zum Masterplan nehmen an, dass die in Hamburg anfallende Biomasse in erster Linie in der Nah- und Fernwärme eingesetzt wird (vgl. Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, 2010).

Theoretisch gesehen könnte Hamburg nach Stand 2014 maximal 25 Prozent des Wärmebedarfs durch lokale erneuerbare Energieressourcen decken (vgl. Dietrich, 2014).

## **8. Interesse und Handlungsmöglichkeiten der Stadt Hamburg vis-à-vis Holzpellettheizungen**

### **8.1 Interessen der Stadt Hamburg in puncto Holzpellettheizungen**

Generell gilt es überregional für Deutschland und somit auch für Hamburg, den Energiebedarf grundsätzlich zu reduzieren und gleichzeitig den Anteil der eingesetzten erneuerbaren Energien zu erhöhen. Konkret bedeutet dies bis 2050 eine Reduzierung des Primär-Energieverbrauchs von 50 Prozent verbunden mit einer entsprechenden Reduzierung der Wärmeversorgung für Hamburg gegenüber 2008 (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010, S.5). Vor allem eine höhere Effizienz in der Erzeugung, Verteilung und Nutzung der Energie liegt hierbei im Interesse der Stadt (vgl. Pfnür et al. 2016, S.4).

Damit Hamburg als Industriestandort zukünftig wettbewerbsfähig bleiben kann, bilden ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, ein wirksamer Klima- und Umweltschutz sowie eine wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung unter Wahrung von wettbewerbsfähigen Energiepreisen hierfür die zentralen Voraussetzungen (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010, S.3). Bisher hängt die Wärmeversorgung der Hamburger Haushalte fast vollständig von Importen fossiler Energieträger ab und die erneuerbaren Energien spielen nur eine untergeordnete Rolle. Deshalb kommt es darauf an, insbesondere im Interesse der Versorgungs- und Kostensicherheit von Energieträgern, den Anteil von Erdgas- und Erdöl-Importen aus dem Ausland zu reduzieren, da diese besonders von Krisen wie in der Ukraine, dem Nahen Osten und Russland negativ beeinflusst werden können. Im selben Zusammenhang fördert eine regionale Wertschöpfung die Kapitalkraft Hamburgs sowie die Anzahl von Arbeitsplätzen im Zuge einer sozialen Wärmepolitik (vgl. Maaß, Sandrock, 2015, S.12).

Des Weiteren liegt eine Reduzierung der Wärmekosten, die jährlich in Höhe von ca. 76 Millionen Euro (Stand im Jahr 2013) für Transfergeldempfängern von der Hamburger Sozialbehörde gezahlt werden, im direkten Interesse der Stadt (vgl. Maaß, Sandrock, 2015, S.13).

### **8.2 Handlungen der Stadt Hamburg und ihre Möglichkeiten**

Im Bestandsbereich kann die Stadt Hamburg im Rahmen ihrer Gesetzgebung, wie das Land Baden-Württemberg es 2007 vorgemacht hat, wurde ein Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie (EWärmeG) erlassen, welches im Gegensatz zum erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EeWärmeG) des Bundes, auch Anforderungen an den Gebäudebestand festlegt.



Eine Rechtsklausel des EEWärmeG sieht ausdrücklich eine sogenannte Öffnungsklausel für diese Art Regelungen der Bundesländer im Gebäudebestand vor.

Ein weiterer Ansatz eröffnet sich, auf der Grundlage der konkurrierenden Gesetzgebung für die Stadt Hamburg als Bundesland im Rahmen der Wärmeversorgung und der Gebäudeeffizienz, mit entsprechenden Gesetzesänderungen. Diese können bestehendes Bundesrecht insbesondere im Baugesetzbuch (BauGB) für neues planerisches Handeln ausser Kraft setzen und praktisch neue Spielräume für politisches Handeln eröffnen. In der praktischen Umsetzung finden energetische Festsetzungen in den Bebauungsplänen ihre Anwendung. Der Einfluss der Stadt Hamburg in Form von neuen oder veränderten Gesetzen mit bestimmten Gebäudeanforderungen in den Bebauungsplänen, welche im Bereich des Neubaus leichter umzusetzen sind als im Gebäudebestand, stößt jedoch in beiden Fällen aus Wirtschafts- und Selbstbestimmungsgründen der Eigentümer, besonders bei Selbstnutzung, auf Bedenken und Ablehnung (vgl. Maaß, Sandrock, 2015, S.13f).

Ein Ansatz besteht im Dialog der Stadt mit allen beteiligten Grundeigentümern, das Bewusstsein für die Vorteile einer effizienteren Wärmeversorgung in Verbindung mit den Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs zu schaffen. Wichtige Ansprechpartner können hierbei unter anderem Interessenverbände wie der Grundeigentümer-Verband oder der Mieterschutzbund sein. Dieser Dialog könnte mit Hilfe von Events in Form von Ausstellungen, Präsentation oder Vorträgen zur Aktualität des Themas Energie stattfinden.

Überdies übt die Stadt Hamburg eine Vorbildfunktion bei der Umsetzung von Maßnahmen wie z.B. der Sanierung landeseigener Gebäude aber auch der Errichtung eigener energieeffizienter Gebäude aus (vgl. Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, 2010, S.4). Bis zum Jahr 2050 plant der Hamburger Senat eine umfangreiche energetische Sanierung der öffentlichen Gebäude. In diesem Zusammenhang gibt es beispielsweise für den Hamburger Schulbau bereits einen Rahmenplan, der Sanierungsziele definiert und ein Energiemanagement vorsieht (vgl. Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, 2015, S.14f).

Darüber hinaus gilt für alle öffentlichen Neubauten nach der Gebäudeeffizienzrichtlinie der EU aus dem Jahr 2015 die Vorschrift, ab 2019 ausschließlich „Niedrigstenergiegebäude“ zu errichten (vgl. Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, 2013, S.6f). Das Ziel sämtlicher baulicher Vorschriften zu Effizienzmaßnahmen, welche die erforderliche Grundlage für eine zukünftige Wärmeversorgung bilden, ist es, den Wärmebedarf der Gebäude auf ein Minimum zu reduzieren, sodass die zusätzlichen Anstrengungen für die Bereitstellung der ressourcensparenden erneuerbaren Energien ihre volle Wirkung entfalten können und ihren Einsatz rechtfertigen (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010, S.4).

Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, mit einem Anteil am gesamten Energieverbrauch in Höhe von 38 Prozent, macht das große Energie-Einsparpotential vom Hamburger Gebäudebestand deutlich (vgl. Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, 2010, S.16).

Zusätzlich ermöglicht die Erhebung von Datensätzen mit Informationen zur Hamburger Wärmeversorgung eine Transparenz, die bei Verfügbarkeit für Unternehmen diesen wiederum die Möglichkeit verschafft, gezielt Haushalte und Unternehmen zu ihrem Energieverbrauch entsprechend zu beraten und positiv zu beeinflussen.

Des Weiteren können die Erfahrungen anderer Städte im bundesweiten Vergleich für Hamburg als Orientierungshilfe im Hinblick auf bessere Technologien, energiegerechte Stadtentwicklungen und Handlungsprogrammen zum Klimaschutz dienen (vgl. Konsalt Gesellschaft für Stadt- und Regionalanalysen und Projektentwicklung mbH, 2014).



Grundsätzlich muss abgewogen werden, in welchem Umfang Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmebedarfs notwendig sind, da individuell je nach Beschaffenheit des Gebäudes zunächst bevorzugt nach Sanierungsbedürftigkeit priorisiert werden sollte. Bisher werden Sanierungsmaßnahmen, die warmmietenneutral ausfallen würden, häufig jedoch nicht umgesetzt. Dies lässt sich auf das „Investor/Nutzer-Dilemma“ zurückführen, wonach einerseits ein Vermieter kein Interesse an energetischen Sanierungsmaßnahmen hat, da nur der Mieter selbst von niedrigeren Heizkosten profitiert. Schließlich investiert der Mieter nicht in ein Haus oder eine Wohnung, welche ihm nicht gehört (vgl. Klinski, 2010, S.283ff). Aus diesem Grund sollte die Stadt Hamburg beispielsweise für Vermieter Änderungen in Form von zusätzlichen Steuererleichterungen schaffen.

### ***Handlungsmöglichkeiten***

In die Planungsüberlegungen der Stadt Hamburg sollten zukünftig noch stärker energetische Gesichtspunkte mit einbezogen werden. So könnte beispielsweise eine Integrierte Energie-Leitplanung seitens der Stadt einen verbindlichen Handlungsrahmen schaffen, mit dem eine effiziente Energieversorgung aus erneuerbaren Energien zusammen mit dem Klimaschutz vorausschauend festgelegt wird.

Zur Frage, ob es eine Zukunft für Holzpellets gibt, sollen verschiedene Aspekte der Prozesskette (siehe Kapitel 3), der Emissionen und der Nachteile beim Einsatz von Holzpellets in Klein- und Großanlagen betrachtet werden. Wie die Stadt Hamburg in punkto Holzpellets agieren kann und sollte, wird nachfolgend beschrieben.

### ***Abnahme der Umtriebszeit stoppen oder besser erhöhen***

Die Forstwirtschaft in Deutschland zielt derzeit auf eine Abnahme der Umtriebszeit (Zeitraum zwischen einer Naturverjüngung oder Pflanzung bis zur Endnutzung mittels Abholzung) der Wälder von durchschnittlich 125 Jahre auf 60 Jahre ab. Dies hat zur Folge, dass der maximale Holzvorrat als Biomasse-Kohlenstoff innerhalb von 10 Jahren im Vergleich um circa 5 Prozent des jährlichen fossilen Brennstoffverbrauchs vernichtet wird (vgl. Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften, 2012, S.92). Aufgrund dieser wirtschaftspolitischen Maßnahmen der Forstwirtschaft muss durchaus kritisch davon ausgegangen werden, dass der Rohstoff für die Holzpelletproduktion langfristig nicht vollumfänglich aus deutschen Ressourcen gesichert werden kann.

Zwar ist das Einsammeln von Restholz aus dem Wald energetisch sinnvoll, jedoch bleibt es in der Realität in größerem Umfang aus, da es aufgrund der Zertifizierung des Hamburger Waldes für „Nachhaltige Forstwirtschaft“ nicht oder nur sehr selten erlaubt ist (vgl. Schwörer, 2017).

### ***Import von Holzpellets aus dem Ausland senken - Pellets für Hamburg sollten aus der Region kommen***

Eine Möglichkeit zur besseren Primärenergie-Ausbeute liegt im Bereich des Transportes. Je weiter der Transportweg vom Rohstoff Sägenebenprodukte über die Holzpellet-Produktionsanlage zur Holzpellet-Kleinfeuerungs- oder Großfeuerungsanlage ausfällt, desto nachteiliger wird der Primärenergiefaktor. Hierbei macht sich insbesondere der Einfluss der Importware mit einem derzeitig circa 22 Prozent-Anteil des gesamten Holzpellet-Verbrauchs in Deutschland bemerkbar. Wird also die zur Verfügung stehende Endenergie für die Veranschaulichung der Möglichkeiten herangezogen, kann eine bessere Energiebilanz nur im Rahmen des gefor-

derten Klimaschutz erreicht werden, wenn auch der Importanteil von Holzpellets aus dem Ausland zukünftig gesenkt wird. Das steht allerdings der Verfügbarkeit in Hamburg aufgrund einer geringen Menge an Biomasse entgegen (siehe Kapitel 7 Abschnitt 3).

#### *Bisher ungenutzte Sägenebenprodukte heranziehen*

Wird ein Großteil der Sägenebenprodukte aus allen anderen holzverarbeitenden privaten und stadteigenen Betrieben verarbeitet, kann, zusätzlich zum überwiegenden Anteil der Sägenebenprodukte, die in großen Sägewerken anfallen und auch dort direkt zu Holzpellets verarbeitet werden, ein weiteres Potential der Resource Holz genutzt werden.

#### *Herstellungsverfahren von Holzpellets mit Filtern und Abwärmennutzung eines BHKW's verbessern*

Das Herstellungsverfahren der Holzpellets bietet die Möglichkeit von weiteren technischen Verbesserungen in unterschiedlichen Bereichen. Hierzu zählt eine Optimierung der eingesetzten Filter, welche direkt die Emissionswerte reduzieren. Besonders eine gute Verbrennungsführung hat Auswirkungen auf die entstehenden Schadstoffwerte (vgl. Mangels, 2018). Auch erscheint es sinnvoll, die für die Trocknung der Holzpellets auf einen Wassergehalt von circa 10 Prozent, benötigte Wärme aus der Abwärme eines Blockheizkraftwerkes einer Biogasanlage zu nutzen, da dieser Einsatz der erneuerbaren Wärme mit dem KWK-Bonus beim Stromverkauf des BHKW's honoriert wird (vgl. Projects Energy GmbH, 2009, S.46).

#### *Holzpellet-Verbrennung mit Filtern verbessern*

Der Einsatz von zusätzlichen Filtern reduziert die Emissionen geht jedoch zu Lasten zusätzlich hoher Kosten und zusätzlicher Energie. Entweder muss eine Pumpe zur Erzeugung eines mechanischen Soges eingesetzt werden oder die Holzpellets mit höheren Temperaturen verbrannt werden, damit die Rauchgase mit einem höheren Druck durch die Filtermatten drücken. Offene Filter wie z.B. elektrostatische Filter können den Ascheanfall weiter reduzieren. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen kommen diese bisher nur in großen Anlagen zum Einsatz. Holzpellet-Anlagen mit Brennwerttechnik und Wasserdampfkondensation im Schornstein führen zwar zu geringen Emissionen bei der Verbrennung, jedoch entsteht dabei ein Kondensat, das die Feinstaubpartikel enthält und wiederum entsorgt werden muss (vgl. Mangels, 2018).

Extra entwickelte Verbrennungssysteme wie z.B. der Rezirkulationsbrenner, bei dem ein Anteil der Rauchgase erneut in der Brennkammer zirkulieren, gewährleisten alternativ eine vollständige Verbrennung (vgl. Döring, 2011, S.169). Diese sind allerdings mit höheren Investitions- und Wartungskosten verbunden.

#### *Umrüstung von Heizöl- oder Gasbrennern auf Holzpellets*

Heizöl- oder Gasbrenner können mit Hilfe von speziellen Anbaubrennern auf den Betrieb mit Holzpellets umgerüstet. Hierbei entstehen jedoch auch Kosten in Höhe von circa 2.000,- Euro die bedacht werden müssen.

### *Einsatz des Minerals Koalinit bei der Herstellung von Holzpellets*

Eine vielversprechende Möglichkeit zur Reduzierung der Feinstaubemissionen bei der Verbrennung von Holzpellets in handelsüblichen Kleinf Feuerungsanlagen wurde vor kurzem vom Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) erforscht. Es wurde herausgefunden, dass das Zumischen des Minerals Koalinit bei der Herstellung der Holzpellets zu einer Verringerung der Feinstaubemissionen von fast 50 Prozent führt. Die Maßnahme ist vor allen Dingen kostengünstig und leicht umzusetzen (vgl. Technische Universität Hamburg-Harburg, 2017).

### *Holzpellet-Tankstellen fördern*

Beispielsweise sind für Endverbraucher bereits erste Selbstbedienungs-Tankstellen für Holzpellets eingerichtet worden. Als eine vierte Bezugsquelle gibt es seit Ende 2010 in Bayern die Möglichkeit, an einer Holzpellet-Tankstelle Tag und Nacht flexible Mengen von Holzpellets selbst abzuholen (vgl. IFA Technology GmbH, 2010). Mit derzeit drei Tankstellen in Deutschland ist Pellet2go hierbei der größte Anbieter (vgl. pellets2go GmbH, 2017).

### *Bioenergieanlagen subventionieren*

Bei der Betrachtung der Preise für Holzpellets muss vor allem auf ihre wirtschaftliche Abhängigkeit vom weltweit gestiegenen Bedarf an Papier hingewiesen werden, da dieser Anstieg der Preise nicht nur auf den Bedarf an Bioenergieholz zurückzuführen ist. Diese Abhängigkeit führt zur Notwendigkeit von Subventionen für Bioenergie-Anlagen aufgrund des hohen Preisniveaus (vgl. Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften, 2012, S.97).

### *Verkürzte Übergangsfristen für Altanlagen*

Auf der politischen Ebene können Städte und Kommunen ihren Beitrag mithilfe von lokalen Maßnahmen leisten, welche die Emissionen von Holzfeuerungs-Anlagen auf die Umwelt reduzieren, und damit grundlegend zur Verbesserung der Luftqualität beitragen.

Eine Möglichkeit besteht in einer Verordnung zu verkürzten Übergangsfristen für Altanlagen. Die Stadt München sieht zum Beispiel vor, dass Altanlagen spätestens bis 2019 ausgetauscht oder stillgelegt werden müssen, während Aachen gegenüber der 1. BImSchV für ältere Anlagen strengere Grenzwerte vorsieht. In Gegenden mit mangelhafter Luftqualität kann auch ein Verbot zur Installation und des Betriebens von Biomasse-Feuerungsanlagen ausgesprochen werden. Eine Ausnahmeregelung für Öfen und Kessel mit Umweltzeichen oder mit vergleichbar niedrigen Feinstaubemissionen einzuführen, bleibt dabei gleichwohl möglich. Darüber hinaus können lokale Förderprogramme zum Austausch oder zur Stilllegung von Altanlagen vorgesehen werden, die entsprechend hohe Emissions- und Effizienzanforderungen für neue Anlagen vorsehen (vgl. Deutsche Umwelthilfe e.V., 2016, S.6).

### *Holzpellets als Ersatz für Scheitholz, zur Reduzierung lokaler Feinstaubemissionen*

Eine Weitere Möglichkeit der Reduzierung von Emissionen liegt in der Überzeugung der Scheitholznutzer besser doch die effektiveren Holzpellets zu nutzen. Mit einer Kapazität von 155 Millionen m<sup>3</sup> ergibt sich ein großes Wachstumspotenzial für die Pelletsindustrie (vgl. Rüdiger, 2011).

## 9. Fazit & Ausblick

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung von Gebäuden untersucht die vorliegende Arbeit, ob der Einsatz der festen Biomasse in Form von Holzpellets zur Wärmeversorgung in Hamburg eine erfolversprechende Zukunft hat.

In Deutschland haben Holzpellets für die Verbrennung in Heizsystemen ihre Vorzüge aufgrund ihrer Abfallherkunft unter anderem als Industrie-Restholz, der Unbedenklichkeit für die Umwelt beim Transport und der Klimaneutralität bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Darüber hinaus verdeutlichen Förderprogramme des Bundes in Verbindung mit dem Land Hamburg im Rahmen ihrer Energie-Sparpolitik das verstärkte Interesse an der Biomasse Holzpellets. Obwohl Holzpellets einen guten Beitrag leisten, um sich aus der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu lösen, schränkt die begrenzte Verfügbarkeit von Biomasse in Form von Holzpellets in Hamburg dennoch die Aussichten auf ein Wachstum im Energiesektor für die Wärmeversorgung gravierend ein.

Ebenso beeinträchtigen ungewünschte Emissionen aus der Verbrennung die anfängliche Begeisterung nach Einführung der Holzpellets für den alternativen Energielieferanten gegenüber der fossilen Brennstoffdominanz. Holzpellets lassen sich direkt am Abfallort (meist Sägewerk) herstellen und müssen, im Unterschied zu Erdgas aber ähnlich wie beim Heizöl, zum Ort der Verfeuerung mit Tanklastzügen transportiert und vor Ort gelagert werden. Dieser Umstand erfordert kurze Wege und entsprechend adäquate Lagerraumgrößen, um die Umweltbelastung aus dem Transportweg so gering wie möglich zu halten. Dennoch besteht in dieser Hinsicht ein erschwerender Nachteil gegenüber Erdgas, der sich allerdings wirtschaftlich über den Preisvorteil größtenteils rechtfertigen lässt.

Ein folgenschweres Merkmal besteht in der erhöhten Staub-Emission gegenüber Heizöl- und Erdgas, von denen vergleichsweise keine Staubemissionen bei der Verbrennung ausgehen. Ein weiteres Merkmal liegt im Vergleich zu Heizöl und Erdgas, wonach die doppelte Menge Holzpellets für den gleichen Heizwert erforderlich sind. Dieser Tatsache lässt sich nur mit einem entsprechenden Lagerraum inklusive Befüllungs- und Beschickungsanlage begegnen, der wiederum höhere Investitions- und Wartungskosten verursacht. Insgesamt liegen die Kosten einer Pellettheizungsanlage mit ungefähr einem Drittel über denen einer vergleichbaren Heizöl - oder Erdgas-Heizungsanlage. Jedoch bieten hier verschiedene Förderprogramme des Bundes in Verbindung mit denen der Stadt Hamburg Anreize sowohl im Wohnungsneubau als auch im Altbausanierungsbereich.

Der Anteil von Holzpellets am Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien beträgt deutschlandweit bisher nur circa 5 Prozent, wobei 95 Prozent dieser Wärme von kleinen Pelletkesseln bis 50 kWh erbracht werden, denn größere Kessel werden, bleibt man beim Energieträger Holz, mit den günstigeren Hackschnitzeln befeuert.

Als kritisch für die zukünftige Entwicklung als Alternative müssen wachsende innerstädtische, verdichtete Stadtquartiere mit Fernwärme-Anschlussmöglichkeit gesehen werden - hier haben Pellettheizungen keine Zukunft. Aber in Hamburger Stadtgebieten mit Heizöl-Heizungsanlagen, insbesondere denen ohne Möglichkeit für einen Gasanschluss, bestehen für Pellettheizungen Entwicklungschancen.

## Quellenverzeichnis

- 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2012)  
Holzpellets, Hackschnitzel und Stückholz - Fachinformationen für Verbraucher, verfügbar unter:  
[https://www.3-n.info/media/4\\_Downloads/pdf\\_engNtztz\\_Hlz\\_3NHolzbrochuere\\_2012.pdf](https://www.3-n.info/media/4_Downloads/pdf_engNtztz_Hlz_3NHolzbrochuere_2012.pdf)  
(Aufruf: 11.12.2017).
- Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (o.J.)  
Wie funktioniert eine Holzpellettheizung?, verfügbar unter:  
<https://www.forstpraxis.de/aktualisierte-dvd-ueber-erneuerbare-energien/>  
(Aufruf: 07.12.2017).
- Agora Energiewende (2017)  
Wärmewände 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor, verfügbar unter:  
[https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende\\_EW/Waermewende-2030\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf) (Aufruf: 25.01.2018).
- Aldehoff, L. (2016)  
Primärenergiefaktor und -bedarf. In: klimaKönner, (Hg.): Klimakönner GmbH, verfügbar unter:  
<https://www.klimakoenner.de/blog/primaerenergiefaktor> (Aufruf: 23.12.2017).
- Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik (2010)  
Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg. Möglichkeiten zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen einer Verursacherbilanz, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/4312988/d35ac390ff234478e818023286d2a2b4/data/basisgutachten-masterplan-klimaschutz.pdf> (Aufruf: 03.10.2018).
- Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Institut für Hygiene und Umwelt (2018)  
Überblick aktiver Stationen, verfügbar unter:  
<http://luft.hamburg.de/clp/messstationen-aktuelle-messdaten/clp1/> (Aufruf: 21.01.2018).
- Bibliographisches Institut GmbH (2017)  
Pellet, verfügbar unter:  
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Pellet> (Aufruf: 01.12.2017).
- Braunschweiger, D. (2017)  
BafA Förderung 2017, verfügbar unter:  
<http://www.bafa-forderung.de> (Aufruf: 20.12.2017).
- Bruhn, K. (2017)  
Wirtschaftlichkeit von Biomassefeuerungen, verfügbar unter:  
[http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/mb\\_wirtschaftlichkeit\\_biomassefeuerungen.pdf](http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/mb_wirtschaftlichkeit_biomassefeuerungen.pdf) (Aufruf: 05.12.2017).
- Brunsmeyer, M (2014)  
Nachhaltigkeitsbewertung der Bereitstellung von Wald- und Industrierestholz für alternative Energieholzprodukte zur thermischen Nutzung, S.11, verfügbar unter:  
<https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:9965/datastreams/FILE1/content>  
(Aufruf: 22.12.2017).
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2017)  
Bericht 2016/2017. Energie. Wirtschafts- und Mittelstandsförderung. Außenwirtschaft. Abschlussprüferaufsichtsstelle, Eschborn, S.28, verfügbar unter:  
[http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Bundesamt/jahresbericht\\_2016\\_2017.html](http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Bundesamt/jahresbericht_2016_2017.html) (Aufruf: 19.12.2017).

- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017)  
Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV), verfügbar unter:  
[https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_1\\_2010/BJNR003800010.html#BJNR003800010BJNG000100000](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/BJNR003800010.html#BJNR003800010BJNG000100000) (Aufruf: 13.12.2017).
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017a)  
Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen - 13. BImSchV), verfügbar unter:  
[https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_13\\_2013/BJNR102300013.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_13_2013/BJNR102300013.html) (Aufruf: 20.12.2017).
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017b)  
Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG) § 1 Zweck und Ziel des Gesetzes, verfügbar unter:  
[https://www.gesetze-im-internet.de/eew\\_rmeg/\\_1.html](https://www.gesetze-im-internet.de/eew_rmeg/_1.html) (Aufruf: 19.12.2017).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012)  
Primärenergiefaktoren von biogenen Energieträgern, Abwärmquellen und Müllverbrennungsanlagen, S.45, verfügbar unter:  
[http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL\\_ON122012.pdf?\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL_ON122012.pdf?_blob=publicationFile&v=2) (Aufruf: 26.12.2017).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015)  
Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, verfügbar unter:  
[http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Foerderbekanntmachungen/marktanreizprogramm-erneuerbare-energien.pdf?\\_blob=publicationFile&v=9](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Foerderbekanntmachungen/marktanreizprogramm-erneuerbare-energien.pdf?_blob=publicationFile&v=9) (Aufruf: 23.12.2017).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)  
Erneuerbare Energien und Zahlen, in: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2015, Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, verfügbar unter:  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2015-09.pdf?\\_blob=publicationFile&v=24](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2015-09.pdf?_blob=publicationFile&v=24) (Aufruf: 10.01.2018).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017)  
Erneuerbare Energien und Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016, Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, verfügbar unter:  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2016.pdf?\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2016.pdf?_blob=publicationFile&v=8) (Aufruf: 09.12.2017).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a)  
Energieeffizienz in Zahlen, Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, S.36, verfügbar unter:  
[http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?\\_blob=publicationFile&v=10](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?_blob=publicationFile&v=10) (Aufruf: 10.01.2018).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010)  
Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, verfügbar unter:  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?_blob=publicationFile&v=3) (Aufruf: 27.12.2017).

- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2015)  
Umstellung von L- auf H-Gas. Was Sie wissen sollten, S.2, verfügbar unter:  
[https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/service/UmstellungLGas.pdf;jsessionid=C2E2789B5D7AE93D5A32BD781F410E78?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/service/UmstellungLGas.pdf;jsessionid=C2E2789B5D7AE93D5A32BD781F410E78?__blob=publicationFile&v=3) (Aufruf: 06.01.2018).
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2017)  
Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren, verfügbar unter:  
[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/\\$file/705\\_2015-04-22\\_grundlagenpapier-primaeenergiefaktoren.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06fbc70ecf24f3a7c1257e51003da425/$file/705_2015-04-22_grundlagenpapier-primaeenergiefaktoren.pdf) (Aufruf: 11.12.2017).
- Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2013)  
Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. In: Drucksache 20/8493, S.6f, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/4050236/7601507cdff399f1d9a7434b8a2a3a78/data/masterplan-klimaschutz.pdf> (Aufruf: 29.12.2017).
- Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2015)  
Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. In: Drucksache 21/2521, S.14f, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/4658414/b246fbfbbf1149184431706972709508/data/d-21-2521-hamburger-klimaplan.pdf> (Aufruf: 29.12.2017).
- Cortis, J., Bender, K., Rothschild, M., Kamphausen, T. (2015)  
Tödliche Holzpellets, in: Rechtsmedizin, Nr. 25, 2015, S. 101f.
- Czycholl, H. (2016)  
Die naive Sorglosigkeit der Holzpellets-Heizer. In: Welt, verfügbar unter:  
<https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article153440851/Die-naive-Sorglosigkeit-der-Holzpellets-Heizer.html> (Aufruf: 22.12.2017).
- Das Magazin für die Technische Gebäudesanierung (2017)  
Holzpellets emittieren Kohlenstoffmonoxid!, verfügbar unter:  
[https://www.tga-fachplaner.de/Cache/GENTNER/10023/GV-SVG-EXPORT-202302-110127\\_NTU1NTM5Wg.JPG](https://www.tga-fachplaner.de/Cache/GENTNER/10023/GV-SVG-EXPORT-202302-110127_NTU1NTM5Wg.JPG) (Aufruf: 12.12.2017).
- Deutscher Bundestag (2007)  
CO<sub>2</sub>-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich, verfügbar unter:  
<https://www.bundestag.de/blob/406432/70f77c4c170d9048d88dcc3071b7721c/wd-8-056-07-pdf-data.pdf> (Aufruf: 06.12.2017).
- Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V. (2010)  
DEPV warnt vor Verbrauchertäuschung durch Feinstaubstudie, verfügbar unter:  
[https://www.zukunftsheizen.de/fileadmin/user\\_upload/3\\_Technik/3.6\\_Projekte\\_und\\_Studien/3.6.7\\_Feinstaubemissionen/DEPV-Kritik\\_an\\_Feinstaubstudie\\_IWO.pdf](https://www.zukunftsheizen.de/fileadmin/user_upload/3_Technik/3.6_Projekte_und_Studien/3.6.7_Feinstaubemissionen/DEPV-Kritik_an_Feinstaubstudie_IWO.pdf) (Aufruf: 13.12.2017).
- Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V. (2012)  
Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets, S.13, verfügbar unter:  
[http://www.laendlepellets.at/fileadmin/user-files/laendle-pellets/Dokumente/DEPV\\_Empfehlungen\\_zur\\_Lagerung\\_von\\_Holzpellets\\_2012\\_01.pdf](http://www.laendlepellets.at/fileadmin/user-files/laendle-pellets/Dokumente/DEPV_Empfehlungen_zur_Lagerung_von_Holzpellets_2012_01.pdf) (Aufruf: 10.12.2017).
- Deutscher Energieholz- und PelletVerband e.V. (2013)  
Entwicklungen und Perspektiven Deutscher Pelletmarkt, S.12 verfügbar unter:  
[http://ish2013.bdh-koeln.de/pdf/vortrag\\_301.pdf](http://ish2013.bdh-koeln.de/pdf/vortrag_301.pdf) (Aufruf: 11.12.2017).
- Deutscher Energieholz - und PelletVerband e.V. (2016)  
Klimaschutzziele mit moderner Holzenergie erreichen, verfügbar unter:  
[http://www.depv.de/media/filebase/files/Downloads/Publikationen/DEPV\\_Flyer\\_CO2%20sparen%20mit%20Pellets.pdf](http://www.depv.de/media/filebase/files/Downloads/Publikationen/DEPV_Flyer_CO2%20sparen%20mit%20Pellets.pdf) (Aufruf: 14.12.2017).

- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017)  
Geschichtliche Entwicklung der Holzpellets, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/de/energietraeger\\_pellets/entwicklung\\_der\\_holzpellets/](http://www.depi.de/de/energietraeger_pellets/entwicklung_der_holzpellets/) (Aufruf: 07.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017a)  
Pelletfeuerungen/Wärmereitstellung in Deutschland, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/Pelletfeuerung\\_Waerme.jpg](http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/Pelletfeuerung_Waerme.jpg)  
(Aufruf: 09.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017b)  
Pelletproduktion und Inlandsbedarf in Deutschland, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/Pelletproduktion\\_und\\_Inlandsbedarf\\_ENplus.jpg](http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/Pelletproduktion_und_Inlandsbedarf_ENplus.jpg) (Aufruf: 09.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017c)  
Pelletaußenhandel Deutschland, 2017, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI\\_Aussenhandel\\_Deutschland.jpg](http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI_Aussenhandel_Deutschland.jpg) (Aufruf: 09.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017d)  
Pellets: Aus Deutschland und aus Sägenebenprodukten!, verfügbar unter:  
<http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Infoblaetter/Verbraucher-Infoblatt%20Produktion%20und%20Herkunft%20von%20Pellets.pdf> (Aufruf: 10.12.2017)
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017e)  
Zündstoff - Das Magazin des Deutschen Pelletinstituts, S.5, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Veroeffentlichungen/DEPI\\_Zuendstoff\\_Basiswissen\\_Holzpellets.pdf](http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Veroeffentlichungen/DEPI_Zuendstoff_Basiswissen_Holzpellets.pdf) (Aufruf: 10.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017f)  
Förderfibel. Heizen mit Holzpellets, verfügbar unter,  
[http://depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Veroeffentlichungen/DEPI\\_Foerderfibel.pdf](http://depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Veroeffentlichungen/DEPI_Foerderfibel.pdf) (Aufruf: 03.12.2017).
- Deutsches Pelletinstitut GmbH (2017g)  
Verteilung Pelletheizungen in Deutschland, verfügbar unter:  
[http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI\\_Verteilung\\_PelletheizungenD.jpg](http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI_Verteilung_PelletheizungenD.jpg) (Aufruf: 03.01.2018).
- Deutsche Umwelthilfe e.V. (2016)  
Heizen mit Holz. Umweltfolgen und Lösungsansätze, verfügbar unter:  
[http://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Pressemitteilungen/Verkehr/Cleanheat\\_Hintergrundpapier\\_03-2016.pdf](http://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Verkehr/Cleanheat_Hintergrundpapier_03-2016.pdf) (Aufruf: 22.12.2017).
- Dietrich, B. (2014)  
Mögliche technische Potenziale zur Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Quellen, S.4, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/4403714/c8f72f46e3ac9b02bd4d31354671d629/data/d-vortrag-dietrich.pdf> (Aufruf: 03.01.2018).
- DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH (2015)  
Zertifizierungsprogramm: Holzpellets zur Verwendung in Kleinfeuerungsstätten, S.2, verfügbar unter:  
[http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente\\_1/zertifizierungsprogramme/Holzpellets\\_Zertifizierungsprogramm.pdf](http://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/zertifizierungsprogramme/Holzpellets_Zertifizierungsprogramm.pdf) (Aufruf: 01.12.2017).



- dpa-infocom GmbH (2017)  
Fernwärmeversorgung soll bis 2025 ohne Kohle auskommen. In: Welt, verfügbar unter:  
<https://www.welt.de/regionales/hamburg/article170261130/Fernwaermeversorgung-soll-bis-2025-ohne-Kohle-auskommen.html> (Aufruf: 06.01.2018).
- Drieschner, F. (2017)  
Die Hotspots der Zukunft. In: Zeit Online GmbH, verfügbar unter:  
<http://www.zeit.de/2017/01/waermeversorgung-hamburg-2017-heizung> (Aufruf: 03.01.2018).
- Döring, P., Mantau, U. (2012)  
Standorte der Holzwirtschaft - Sägeindustrie - Einschnitt und Sägenebenprodukte 2010. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S.6, verfügbar unter:  
[http://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn051270.pdf](http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn051270.pdf) (Aufruf: 10.12.2017).
- Döring, S. (2011)  
Pellets als Energieträger. Technologie und Anwendung. Heidelberg, 2011.
- Ecofys Germany GmbH (2014)  
Flächendeckende Erhebung und Kartierung des energetischen Zustandes des Hamburger Gebäudebestandes, S.2 verfügbar unter:  
<https://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2014-gebaeudeerhebung-hamburg.pdf> (Aufruf: 03.01.2018).
- EnergieAgentur.NRW (2013)  
Holzpellets. Der Brennstoff der Zukunft, verfügbar unter:  
[http://www.alt-bau-neu.de/database/data/datainfopool/2013\\_BroschuereHolzpellets\\_final.pdf](http://www.alt-bau-neu.de/database/data/datainfopool/2013_BroschuereHolzpellets_final.pdf) (Aufruf: 01.12.2017).
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2009)  
CO<sub>2</sub>-Verminderung in Deutschland. Teil I - Methodik und Zusammenfassung, S.12, verfügbar unter:  
[https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE\\_CO2-Endbericht\\_komplett.pdf](https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO2-Endbericht_komplett.pdf) (Aufruf: 14.12.2017).
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2013)  
Pelletheizungen: Marktübersicht, verfügbar unter:  
[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/m/u/mu\\_pellet2013\\_web.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/m/u/mu_pellet2013_web.pdf) (Aufruf: 06.12.2017).
- Franken-Pellets GmbH & Co. KG (2017)  
Pellets groß, verfügbar unter:  
[https://www.frankenpellets.de/wp-content/uploads/2014/03/pellets\\_gross.png](https://www.frankenpellets.de/wp-content/uploads/2014/03/pellets_gross.png) (Aufruf: 01.12.2017).
- Geitmann, S. (2005)  
Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe. Mit neuer Energie in die Zukunft, Brandenburg, 2005, S.154.
- Greenpeace e.V. (2010)  
Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter. Bewertung des Energieträgers Erdgas und seiner Importabhängigkeit, S.7, verfügbar unter:  
[https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/Studie\\_Erdgas\\_-\\_Bruecke\\_ins\\_regenerative\\_Zeitalter\\_0.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/Studie_Erdgas_-_Bruecke_ins_regenerative_Zeitalter_0.pdf) (Aufruf: 23.12.2017).
- Hartmann, H., Reisinger, K., Thuneke, K., Höldrich, A., Roßmann, P. (2007)  
Bioenergie-Kleinanlagen, Gülzow, 2007.

- Härdtlein, M., Eltrop, L., Thrän, D. (2004)  
Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 23. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004, S.70ff.
- IFA Technology GmbH (2010)  
Pellet-Tankstelle, verfügbar unter:  
<https://www.ifa-technology.de/media/files/kmdownloadlocal/de/Pellet-Tankstation.pdf>  
(Aufruf: 11.12.2017).
- Janzing, B. (2004)  
Der Holzofen aus der Werkstatt eines Flugingenieurs, in: Pellets, Markt und Technik. Monatlich, Januar 2004, verfügbar unter:  
[http://ee-waerme-info.i-ner.de/images/7/74/Janzing-Whitfield\\_Pelletofen.pdf](http://ee-waerme-info.i-ner.de/images/7/74/Janzing-Whitfield_Pelletofen.pdf) (Aufruf: 07.12.2017).
- Karl, J. (2006)  
Dezentrale Energiesysteme. Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt, Oldenbourg Verlag, München, 2006, S.390.
- Kesselheld GmbH (2018)  
Abwrackprämie für Heizungen: Höhe & Anforderungen, verfügbar unter:  
<https://www.kesselheld.de/abwrackpraemie-heizungen/> (Aufruf: 24.01.2018).
- Klinski, S. (2010)  
Energetische Gebäudesanierung und Mietrecht - Hemmnisse und Reformüberlegungen. In: Zeitschrift für Umwelt und Recht, S. 283ff.
- Konsalt Gesellschaft für Stadt- und Regionalanalysen und Projektentwicklung mbH (2014)  
Europäische Vorbilder Im Wärmermarkt und ihre Übertragbarkeit auf die Freie und Hansestadt Hamburg, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/4377308/26aba70d63b5619cec5015e34db7ffc3/data/d-vortrag-ramboell.pdf;jsessionid=AD167BFCCB7CD4F3B9A309227B4442E3.liveWorker2> (Aufruf: 29.12.2017).
- Lahner, M. (2013)  
Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien in Einfamilienhäusern, verfügbar unter:  
[https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO-Mrst4rYAhVSo6QKHRHoCUkQFgg7MAI&url=https%3A%2F%2Fmonami.hs-mittweida.de%2Ffiles%2F4143%2FDIPLOMARBEIT\\_Lahner\\_MatNr\\_29636.pdf&usq=AOvVaw2yW6s\\_d18qnortskJ9SiCL](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO-Mrst4rYAhVSo6QKHRHoCUkQFgg7MAI&url=https%3A%2F%2Fmonami.hs-mittweida.de%2Ffiles%2F4143%2FDIPLOMARBEIT_Lahner_MatNr_29636.pdf&usq=AOvVaw2yW6s_d18qnortskJ9SiCL) (Aufruf: 11.12.2017).
- Landesinitiative Zukunftsenergien NRW (2004)  
Holzpellets. Versorgung mit Holz für kleine Wohneinheiten. Zukunftsenergien. Unterstützt von Land und Wirtschaft, verfügbar unter:  
<http://www.etteldorf-metterich.de/pdf/holzpellets.pdf> (Aufruf: 24.12.2017).
- Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften (2012)  
Bioenergy - Chances and Limits, (Hg.): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Berlin, 2012.
- Maaß, C., Sandrock, M. (2015)  
Ökologisch-soziale Wärmepolitik für Hamburg, verfügbar unter:  
[http://www.hamburg-institut.com/images/pdf/studien/150529\\_oekologisch-soziale\\_Waerme\\_BUND\\_HH.pdf](http://www.hamburg-institut.com/images/pdf/studien/150529_oekologisch-soziale_Waerme_BUND_HH.pdf) (Aufruf: 28.12.2017).

- Mangels, H. (2018)  
Umweltchemiker und Sachverständiger, Interview, Hamburg, 18.01.2018, durchgeführt von Marwitz, T.
- Pfnür, A., Winiewska, B., Mailach, B., Oschatz, B. (2016)  
Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt. Vergleichende Studie aus energetischer und ökonomischer Sicht, S.4, verfügbar unter:  
[http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/pressemitteilungen\\_pdf/studie\\_dezentrale\\_vs\\_zentrale\\_waermeversorgung.pdf](http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/pressemitteilungen_pdf/studie_dezentrale_vs_zentrale_waermeversorgung.pdf) (Aufruf: 27.12.2017).
- pellets2go GmbH (2017)  
Standorte und Preise, verfügbar unter:  
<http://www.pellets2go.de/standorte-und-preise/> (Aufruf: 11.12.2017).
- Pressestelle Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG (2017)  
Die zehn wichtigsten Fragen zum Thema Holzpellets, verfügbar unter:  
[https://www.radloff-und-bahr.de/fileadmin/user\\_upload/documents/Holzpellets\\_Infos.pdf](https://www.radloff-und-bahr.de/fileadmin/user_upload/documents/Holzpellets_Infos.pdf) (Aufruf: 01.12.2017).
- Projects Energy GmbH (2009)  
Studie zum Biomassepotential in der Freien und Hansestadt Hamburg, verfügbar unter:  
<http://www.hamburg.de/contentblob/3978800/9c03b523a6bc9e77f95e4d06954f1ea3/data/biomassestudie.pdf> (Aufruf: 27.12.2017).
- Rüdiger, A. (2011)  
Pellets: Verdammt zur Nischenexistenz. In: ingenieur.de, verfügbar unter:  
<http://www.ingenieur.de/Themen/Erneuerbare-Energien/Pellets-Verdammt-Nischenexistenz> (Aufruf: 25.12.2017).
- Schadwinkel, A., Stockrahm, S. (2017)  
Was Sie über Feinstaub wissen sollten: In Zeit Online GmbH, S.1-2, verfügbar unter:  
<http://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2017-02/luftverschmutzung-feinstaub-stuttgart-gesundheit> (Aufruf: 13.01.2018).
- Schwörer, R. (2017)  
Mitarbeiter der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BUE), Referat Erneuerbaren Energien - Wärmekonzepte, Interview, Hamburg, 27.11.2017, durchgeführt von Marwitz, T.
- Selkimäki, M., Röser, D. (2008)  
Pellet logistics and transportation of raw materials in Finland. In: Pellettime, S.7, verfügbar unter:  
[http://www.northernperiphery.eu/files/archive/Downloads/Project\\_Publications/10/Study\\_Reports/Pellet%20logistics%20and%20transportations%20of%20raw%20materials%20in%20Finland.pdf](http://www.northernperiphery.eu/files/archive/Downloads/Project_Publications/10/Study_Reports/Pellet%20logistics%20and%20transportations%20of%20raw%20materials%20in%20Finland.pdf) (Aufruf: 10.12.2017).
- Solar Promotion GmbH (2016)  
Energiepreisentwicklung in Deutschland, verfügbar unter:  
[http://www.eanok.de/fileadmin/bilder/4\\_2016\\_Energiepreis.jpg](http://www.eanok.de/fileadmin/bilder/4_2016_Energiepreis.jpg) (Aufruf: 16.12.2017).
- symweb GmbH (2018)  
Pelletheizung Häufig gefragt, verfügbar unter:  
<http://www.pellets-heizung.info/glossar/wie-oft-muss-ich-die-asche-entsorgen-9.htm> (Aufruf: 03.01.2018).

- Technische Universität Hamburg-Harburg (2017)  
TUHH: Minderung der Feinstaubemissionen bei Verbrennung von Holzpellets um fast 50 Prozent, verfügbar unter:  
[http://intranet.tuhh.de/aktuell/pressemitteilung\\_einzeln.php?id=11176](http://intranet.tuhh.de/aktuell/pressemitteilung_einzeln.php?id=11176) (Aufruf: 02.12.2017).
- Thrän, D., Peetz, D., Schaubach, K. (2017)  
Global Wood Pellet Industry and Trade Study 2017. In: IEA Bioenergy, S.76, verfügbar unter:  
[http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study\\_final-2017-06.pdf](http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/IEA-Wood-Pellet-Study_final-2017-06.pdf) (Aufruf: 19.12.2017).
- Umweltbundesamt (2012)  
Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012, S.14, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4364.pdf> (Aufruf: 11.12.2017).
- Umweltbundesamt (2013)  
Feuerungsanlagen, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industrieverbrennung/feuerungsanlagen> (Aufruf: 18.12.2017).
- Umweltbundesamt (2013a)  
Warum ist Feinstaub schädlich für den Menschen?, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/warum-ist-feinstaub-schaedlich-fuer-den-menschen> (Aufruf: 30.12.2017).
- Umweltbundesamt (2014)  
Luftreinhaltepläne in der EU, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/regelungen-strategien/luftreinhalteplaene-in-der-eu#textpart-1> (Aufruf: 27.12.2017).
- Umweltbundesamt (2016)  
Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm). In: Texte 09/2016, S.42, verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_09\\_2016\\_aktualisierung\\_der\\_eingangsdaten\\_und\\_emissionsbilanzen\\_wesentlicher\\_biogener\\_energienutzungspfade\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_09_2016_aktualisierung_der_eingangsdaten_und_emissionsbilanzen_wesentlicher_biogener_energienutzungspfade_1.pdf) (Aufruf: 14.12.2017).
- Umweltbundesamt (2016a)  
Stickstoffoxide, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/stickstoffoxide> (Aufruf: 22.12.2017).
- Umweltbundesamt (2016b)  
Schwefeldioxid, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/schwefeldioxid> (Aufruf: 22.12.2017).
- Umweltbundesamt (2017)  
Luftqualität 2016. Vorläufige Auswertung, verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/hgp\\_luftqualitaet\\_2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/hgp_luftqualitaet_2016.pdf) (Aufruf: 14.12.2017).
- Umweltbundesamt (2017a)  
Vorzeitige Sterbefälle durch von Feinstaub verursachte Erkrankungen, verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/06-umwelt-gesundheit\\_gesu-04\\_gesundheitsrisiken-feinstaub\\_abbildung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/06-umwelt-gesundheit_gesu-04_gesundheitsrisiken-feinstaub_abbildung.pdf) (Aufruf: 13.01.2018).

Umweltbundesamt (2017b)

Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. In: Climate Change 23/2017, verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26\\_climate-change\\_23-2017\\_emissionsbilanz-ee-2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf) (Aufruf: 11.12.2017).

Umweltbundesamt (2017c)

Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2015, verfügbar unter:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3\\_tab\\_emi-ausgew-luftschadst\\_2017-06-12.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_tab_emi-ausgew-luftschadst_2017-06-12.pdf) (Aufruf: 18.01.2018).

Umweltbundesamt (2018)

Klimaschutz auf Kosten der Wälder?, verfügbar unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klimaschutz-auf-kosten-der-waelder> (Aufruf: 13.01.2018).

Öko-Institut e.V. (2011)

PROSA Technisch getrocknete Holzhackschnitzel/Holzpellets, verfügbar unter:  
<https://www.oeko.de/oekodoc/1277/2011-409-de.pdf> (Aufruf: 11.12.2017).

Vattenfall Wärme Hamburg GmbH (2013)

Fernwärme zum Wohlfühlen. Komfortable Lösungen für jeden Bedarf, S.6, verfügbar unter:  
[https://corporate.vattenfall.de/globalassets/deutschland/geschaeftsfelder/fernwaerme\\_in\\_hamburg.PDF](https://corporate.vattenfall.de/globalassets/deutschland/geschaeftsfelder/fernwaerme_in_hamburg.PDF) (Aufruf: 04.01.2018).

Verein Deutscher Ingenieure e.V (2015)

Lagerung von Holzpellets beim Verbraucher: Anforderungen an Lager sowie Herstellung und Anlieferung der Pellets unter Gesundheits- und Sicherheitsaspekten, in: VDI-Handbuch Architektur, VDI 3464, 2015.

Vohrer, P., Mühlenhoff, J., Müller, A. (2015)

Erneuerbare Wärme. In: Renew's Spezial, Nr. 76, S.19, verfügbar unter:  
[https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/419.aee\\_renews\\_spezial\\_erneuerbare\\_waerme\\_nov\\_2015.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/419.aee_renews_spezial_erneuerbare_waerme_nov_2015.pdf) (Aufruf: 01.12.2017).

Wosnitza, F. Hilgers, H. (2012)

Energieeffizienz und Energiemanagement: Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 2012.

Zeit Online GmbH (2017)

Hamburg Energie Heizkraftwerke Überblick, verfügbar unter:  
[http://img.zeit.de/hamburg/politik-wirtschaft/2017-01/hamburg-energie-heizkraftwerke-ueberblick/original\\_660x298\\_desktop](http://img.zeit.de/hamburg/politik-wirtschaft/2017-01/hamburg-energie-heizkraftwerke-ueberblick/original_660x298_desktop) (Aufruf: 04.01.2018).

Zhang, J. (2015)

Nachhaltige Wohngebäudesanierung in Deutschland und China. Untersuchung der konzeptionellen und strategischen Übertragungsmöglichkeiten. Wiesbaden, 2015, S.7.

## Eidesstattliche Erklärung

Name, Vorname: Marwitz, Til

Matrikel-Nr.: 6034369

Studiengang: Stadtplanung

Ich versichere, dass ich diese Bachelor-Thesis/Master-Thesis (bei einer Gruppenarbeit die entsprechenden Teile der Arbeit) ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

.....

Hamburg,

.....

(Unterschrift)