

8

Berichte aus dem TFZ

Wärmegewinnung aus Biomasse



Wärmegewinnung aus Biomasse



Wärmegewinnung aus Biomasse

Vortragsfolien mit Erläuterungen

Kathrin Bruhn, Klaus Reisinger

Berichte aus dem TFZ 8

Straubing, September 2015

Impressum:
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18,
94315 Straubing
poststelle@tfz.bayern.de
www.tfz.bayern.de

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2015
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier (Mineralölanteil < 1 %) Druckfarben gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

ISSN: 1614-1008
3., erw. u. bearb. Aufl.

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Kathrin Bruhn, Klaus Reisinger, Uli Eidenschink
Verlag: Eigenverlag, TFZ
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2015
Gestaltung: Kathrin Bruhn, Jeannine Hartl, Klaus Reisinger

Vorwort

Heizen mit Holz hat viele Vorteile: Es ist klimafreundlich, trägt zur Versorgungssicherheit bei und fördert die lokale Wirtschaft. Heizen mit Holz ersetzt fossile Brennstoffe und leistet einen Beitrag zur Vermeidung von klimaschädlichen Kohlendioxidemissionen. Gerade geringerwertiges, dünnes Holz aus der Durchforstung oder Restholz aus der Holzernte kann oft nicht für qualitativ hochwertige Produkte oder Prozesse genutzt werden. Der Einsatz von Holz als Brennstoff ist daher ein nachhaltiger Nutzungspfad, der die Klimaerwärmung reduziert und zum Erhalt der Ökosysteme beiträgt. Mittelfristig ist der Einsatz von Biomasse zur energetischen Verwendung ein unverzichtbarer Bestandteil in der zukünftigen Energieversorgung.

Da jedoch der Rohstoff Holz nicht unbegrenzt zur Verfügung steht, sollte er so effizient wie möglich eingesetzt werden. Moderne Biomasse-Zentralheizungen sind mit einer ausgereiften und erprobten Technik ausgestattet und bieten damit beste Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung der nachwachsenden Rohstoffquelle Holz. Mit trockenem und sauberem Brennstoff, einer sachgerechten Bedienung der Anlage und der ausgereiften Technik können höchste Wirkungsgrade bei gleichzeitig sehr geringen Emissionen erreicht werden.

In der dritten Bundeswaldinventur wurden die Waldflächen in Deutschland genau untersucht und die Flächen und der Holzvorrat gemessen. Im Gesamtergebnis hat sich die Waldfläche in den letzten Jahren nicht verändert. Der Holzvorrat hat zugenommen, es gibt also mehr dicke und weniger dünne Bäume. Auch der sogenannte Totholzvorrat ist ebenfalls angestiegen und so wurde der Lebensraum für viele Pilze, Flechten, Insekten und Vögel gesichert und erweitert. Auch wenn in den letzten Jahren mehr Holz verheizt wurde, so kann der aktuell bestehende Wald unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten als verbessert gelten. Holz und Holzprodukte sind ein wichtiger Rohstoff für die deutsche Industrie und für Privatpersonen. Holz wird nicht nur als Brennholz eingesetzt, sondern auch für die Papierherstellung, zum Bau von Möbeln, als Bauholz und für viele weitere Zwecke verwendet. Eine Bilanz der Importe und Exporte von Holz und Holzprodukten zeigt, dass fast genau so viel importiert wie exportiert wurde [21].

Der Vortrag Wärmegewinnung aus Biomasse wird seit über zehn Jahren regelmäßig vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) angeboten. Wichtige Informationen und praxisorientierte Tipps zum Kauf und zum Betrieb von Festbrennstoffheizungen werden ausführlich präsentiert. Die vorliegende Broschüre enthält eine Zusammenstellung der im Vortrag verwendeten Präsentationsfolien, die umfassend erläutert werden. Auf einigen Vortragsfolien wurden Bilder von Firmen verwendet, mit denen exemplarisch bestimmte Sachverhalte dargestellt werden. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellen weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Wir hoffen, Ihnen hiermit nützliche Informationen an die Hand zu geben, sodass der Einsatz des klimafreundlichen und günstigen Brennstoffs Holz weiter ausgebaut wird.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
1 Wärmegewinnung aus Biomasse	11
1.1 Informationen zu Terminen und Organisatorisches	11
1.2 Vortragsstruktur.....	12
2 Das Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe	13
2.1 Technologie- und Förderzentrum (TFZ).....	15
2.2 LandSchafttEnergie	20
3 Energieinhalt und RaummaÙe von Holz	23
4 Feuerungssysteme für biogene Festbrennstoffe.....	29
4.1 Scheitholzfeuerungen	29
4.2 Hackschnitzelfeuerungen.....	37
4.3 Holzpelletfeuerungen	47
4.4 Stroh-, Miscanthus- und Getreidefeuerungen	54
4.5 Dimensionierung und hydraulische Einbindung von Biomassefeuerungen	59
5 Effizienz der Energiewandlung	63
6 Schadstoffgrenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen	67
7 Rentabilitätsbetrachtung.....	73
8 Förderprogramme	77
Zusammenfassung	83
Quellenverzeichnis	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Informationsveranstaltung Wärmegewinnung aus Biomasse	11
Abbildung 2:	Vortragsinhalt Wärmegewinnung aus Biomasse	12
Abbildung 3:	Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ).....	13
Abbildung 4:	Zentrales Areal des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe.....	15
Abbildung 5:	Expertennetzwerk für die Energiewende in Bayern	20
Abbildung 6:	Heizwert von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt und der Feuchte	23
Abbildung 7:	Wassergehaltsänderungen frisch geernteter Meterscheite.....	24
Abbildung 8:	Energieinhalt in einem Raummeter (Kubikmeter) Holz.....	25
Abbildung 9:	Umrechnungsfaktoren zwischen verschiedenen Scheitholzsortimenten und Lagerformen	27
Abbildung 10:	Verbrennungsprinzipien bei Scheitholzfeuerungen	29
Abbildung 11:	Merkmale moderner Kaminöfen	31
Abbildung 12:	Anzünden von oben	32
Abbildung 13:	Merkmale moderner Scheitholz-Zentralheizungskessel	34
Abbildung 14:	Scheitholz-Pellet-Kombikessel	36
Abbildung 15:	Gewinnung von Holzhackschnitzeln.....	37
Abbildung 16:	Qualitätsmerkmale von Holzhackschnitzeln	38
Abbildung 17:	Einfluss von Temperatur und Wassergehalt auf den biologischen Abbau von Holzhackschnitzeln.....	40
Abbildung 18:	Unterschubfeuerung bei der Verbrennung von Hackschnitzeln.....	41
Abbildung 19:	Quereinschubfeuerung bei der Verbrennung von Hackschnitzeln.....	42
Abbildung 20:	Merkmale moderner Hackgutkessel	43
Abbildung 21:	Anlagendesign für kleine Hackschnitzelheizungen.....	44
Abbildung 22:	Systeme zur Befüllung eines Hackgutbunkers	46
Abbildung 23:	Steckbrief Holzpellets.....	47
Abbildung 24:	Merkmale von Pellets mit guter Qualität	48
Abbildung 25:	Abwurfteuerung bei der Verbrennung von Holzpellets	49
Abbildung 26:	Merkmale moderner Pelletkessel	50
Abbildung 27:	Installationsbeispiel einer Holzpellettheizung mit Raumaustrag	51

Abbildung 28: Anlieferung und Einblasen von Holzpellets.....	53
Abbildung 29: Stroh- oder Getreidebrennstoffe	54
Abbildung 30: Kritische Inhaltsstoffe in Agrarbrennstoffen	55
Abbildung 31: Beispiele für Schlacke	57
Abbildung 32: Verbrennungsprinzipien für Halmgut- oder Getreidebrennstoffe.....	58
Abbildung 33: Durchschnittliche Auslastung der Heizkessel in Deutschland in einer Heizperiode	59
Abbildung 34: Beispiel für ein Hydraulikschema mit Zentralheizungskessel und Solarkollektor.....	60
Abbildung 35: Energiefluss bei einem Pelletkessel	63
Abbildung 36: Entwicklung der Kesselwirkungsgrade bei Holzfeuerungen seit 1980	64
Abbildung 37: Emissionsgrenzwerte bei Biomassefeuerungsanlagen.....	67
Abbildung 38: Übergangsfristen für Einzelraumfeuerungen	69
Abbildung 39: Überwachung von Feuerstätten nach der 1. BImSchV	71
Abbildung 40: Entwicklung der Brennstoffpreise in Deutschland.....	73
Abbildung 41: Beispiel: Kostenvergleichsrechnung für Anlagen mit 30 kW Leistung – Investitionskosten.....	74
Abbildung 42: Beispiel: Kostenvergleichsrechnung für Anlagen mit 30 kW Leistung – kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten	75
Abbildung 43: Marktanzreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Basisförderung	77
Abbildung 44: Marktanzreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Innovationsförderung.....	79
Abbildung 45: Marktanzreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Zusatzförderung	80
Abbildung 46: KfW-Programm Erneuerbare Energien.....	81
Abbildung 47: Zusammenfassung	83
Abbildung 48: Dauerausstellung Biomasseheizungen.....	85

1 Wärmegewinnung aus Biomasse

1.1 Informationen zu Terminen und Organisatorisches



Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum
für Nachwachsende Rohstoffe



Wärmegewinnung aus Biomasse

Informationsveranstaltung

Kathrin Bruhn

P 15 E Br 010

Abbildung 1: Informationsveranstaltung Wärmegewinnung aus Biomasse

Die Informationsveranstaltung Wärmegewinnung aus Biomasse wird vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe regelmäßig in Straubing angeboten. In einem Vortrag werden grundlegende Informationen zum effizienten Heizen mit Holz und Agrarbrennstoffen vorgestellt. Anschließend kann die Ausstellung Biomasseheizungen mit derzeit mehr als 120 Exponaten, davon etwa 70 Festbrennstoff-Zentralheizungsanlagen, besichtigt werden [16].

Termine: Oktober bis März: jeden Dienstag
April bis September: jeden 1. Dienstag im Monat

Keine Veranstaltungen an den Dienstagen zwischen Weihnachten und dem 6. Januar sowie am Faschingsdienstag und an gesetzlichen Feiertagen

Beginn: 9.30 Uhr: Vortrag, anschließend ab ca. 11.00 Uhr Ausstellungsbesichtigung, Ende der Veranstaltung: gegen 13.00 Uhr

Ort: Schulungs- und Ausstellungszentrum (SAZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Schulgasse 18, 94315 Straubing

Eintritt: frei

Anmeldung: Nicht erforderlich für Einzelpersonen, für Besuchergruppen ab ca. 20 Personen erforderlich.

Besonderes: An jedem 1. Dienstag im Monat stehen Vertreter der Anlagenhersteller für Detailfragen zur Verfügung.

Kontakt: Kathrin Bruhn, Tel. 09421/300-277 oder -110,
E-Mail: kathrin.bruhn@tfz.bayern.de

Förderhinweis: Die Veranstaltung wird von den Bayerischen Staatsministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) und für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi) unterstützt.

1.2 Vortragsstruktur

Die regelmäßig vom TFZ angebotene Informationsveranstaltung Wärmegewinnung aus Biomasse gliedert sich in sieben Teilbereiche, die in dieser Publikation erläutert werden.

Heizen mit Holz

1. Energieinhalt und Raummaße von Holz
2. Kleinfeuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe
 - a. Scheitholz- und Kombifeuerungen
 - b. Hackschnitzelfeuerungen
 - c. Holzpelletfeuerungen
 - d. Stroh- / Getreidefeuerungen
3. Effizienz
4. Schadstoffemissionen
5. Brennstoffpreise und Wirtschaftlichkeit
6. Förderung
7. Zusammenfassung

2 Das Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

KoNaRo - Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



Reisinger
P 15 E Bf 010

Folie 2



Abbildung 3: Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Das Technologie- und Förderzentrum ist Teil des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing. Die Bayerische Staatsregierung hat im Jahr 2001 die Aktivitäten rund um die nachwachsenden Rohstoffe in Bayern in Straubing gebündelt. Drei organisatorisch voneinander unabhängige Einrichtungen arbeiten seither eng zusammen: Das Wissenschaftszentrum Straubing (WZS), das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) und C.A.R.M.E.N. e. V. Jede dieser drei Säulen hat unterschiedliche Aufgaben und Arbeitsschwerpunkte [22].

Das **Technologie- und Förderzentrum (TFZ)** ist eine direkt dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zugeordnete Institution und kann auf dem Gebiet der nachwachsenden Rohstoffe auf mehr als 40 Jahre Erfahrung in der angewandten Forschung zurückblicken. Außerdem ist das TFZ Bewilligungsstelle für die Projektförderung in Bayern, wenn es um energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse geht.

Die Wissenschaftler am TFZ beschäftigen sich mit dem Anbau und der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen. Ein Forschungsschwerpunkt untersucht dabei verschiede-

ne Pflanzen und die veränderten Anforderungen, die eine Verwendung zur Energie- und Rohstoffgewinnung an diese stellt. In einem weiteren Sachgebiet geht es um umweltfreundliche Wärmeengewinnung – überwiegend aus Holzbrennstoffen, wobei aber auch andere biogene Energieträger auf ihre Eignung geprüft werden. Ziel ist es, Emissionen zu reduzieren und die Verbrennungsqualität zu verbessern. Diese Ziele gelten im Wesentlichen auch für die Biokraftstoffforschung. Hier wird beispielsweise der Einsatz von Rapsöl im Motor untersucht. Gleichzeitig spielt aber auch die Herstellung und Qualitätssicherung des Öls eine große Rolle.

Die am TFZ gewonnenen Erkenntnisse werden durch Beratung und Schulung an Privatpersonen, Landwirtschaft, Industrie und Politik weitergegeben [22].

Ausführliche Informationen zum TFZ finden Sie unter www.tfz.bayern.de.

Am **Wissenschaftszentrum Straubing (WZS)** findet in erster Linie grundlagenorientierte Forschung rund um Biomasse statt. So sucht man im Labor beispielsweise nach neuen Grundstoffen für die chemische und kunststoffverarbeitende Industrie, um Erdöl als Basis vieler Produkte schrittweise zu ersetzen. Andere Projekte beschäftigen sich mit dem Verhalten der Verbraucher, wenn es zum Beispiel darum geht, neue Produkte zu vermarkten. Auch die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird untersucht, ebenso wie regenerative Energiesysteme und Themen der Netzintegration. Ziel ist es, unsere nachhaltige und umweltverträgliche Versorgung mit Rohstoffen zu sichern.

Selbstverständlich ist auch für die akademische Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses gesorgt: Seit 2008 wird in Straubing der Masterstudiengang und seit 2013 der Bachelorstudiengang Nachwachsende Rohstoffe angeboten.

Das Wissenschaftszentrum Straubing ist ein Zusammenschluss aus Technischer Universität München, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Technischer Hochschule Degendorf, Ostbayerischer Technischer Hochschule Regensburg, Universität Regensburg und Hochschule Landshut.

Ausführliche Informationen zum Wissenschaftszentrum und seinen Lehrstühlen finden Sie unter www.wz-straubing.de.

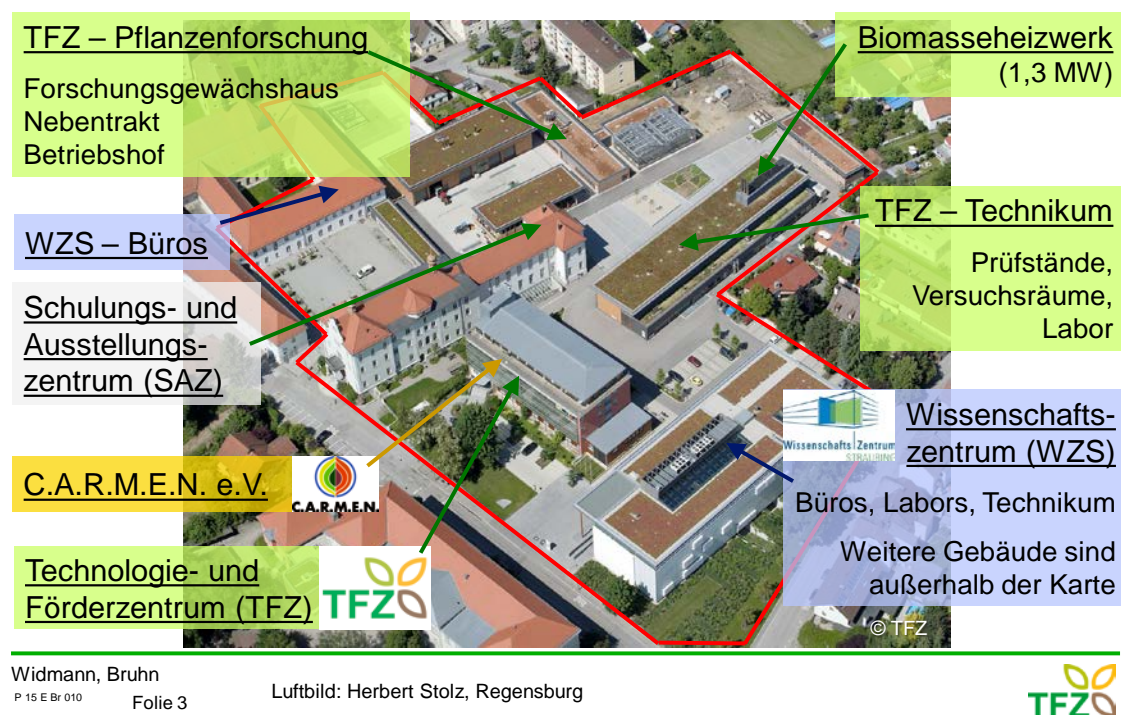
C.A.R.M.E.N. e. V. – das Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk – wurde 1992 als Koordinierungsstelle für Nachwachsende Rohstoffe vom Freistaat Bayern gegründet. Ursprüngliches Ziel war es, neue Absatzmärkte für landwirtschaftliche Produkte und damit zusätzliche Einkommensquellen für Landwirte zu erschließen.

Heute ist der gemeinnützige Verein mit 76 Mitgliedern aus allen Teilen der Wertschöpfungskette nachwachsender Rohstoffe deutschlandweit eine gefragte Anlaufstelle für Informationen zur industriellen und energetischen Nutzung von Biomasse und zu den Themenfeldern Windenergie, Solarenergie, Geothermie, Wasserkraft sowie Energie- und Ressourceneinsparung.

C.A.R.M.E.N. e. V. initiiert neue Technologien und Produkte mit verschiedenen Projektpartnern und berät Landwirte und Verbraucher zu Einsatzmöglichkeiten von Biomasse und Erneuerbaren Energien. Außerdem bewertet und betreut C.A.R.M.E.N. e. V. auch förderfähige Projekte in Bayern. Zusätzlich soll durch zahlreiche Vorträge, Publikationen und Messestände ein Bewusstsein für die Themen Nachwachsende Rohstoffe, Erneuerbare Energien und nachhaltige Ressourcennutzung in der Bevölkerung und auf den Märkten geschaffen werden.

Ausführliche Informationen zu C.A.R.M.E.N. e. V. finden Sie unter www.carmen-ev.de.

Zentrales Areal des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe



Widmann, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 3

Luftbild: Herbert Stolz, Regensburg



Abbildung 4: Zentrales Areal des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe

2.1 Technologie- und Förderzentrum (TFZ)

Das TFZ ist eine Einrichtung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Unsere Aufgabe ist es, vor allem für den ländlichen Raum, die Bereitstellung und Nutzung von Energieträgern und Rohstoffen aus Erntegütern und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft voranzubringen. Angewandte wissenschaftliche Forschung, ethische Bewertung, staatliche Förderung sowie Technologie- und Wissenstransfer bilden dabei die Basis unserer Arbeit [19].

Wir forschen für Länder- und Bundesministerien, für die EU sowie für verschiedenste Organisationen, Verbände und Unternehmen.

Dabei kooperieren wir mit zahlreichen Hochschulinstitutionen, Forschungsanstalten und Unternehmen im In- und Ausland. Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind in Gremien auf nationaler und internationaler Ebene an Entscheidungsprozessen beteiligt.

Durch einen zielgerichteten Wissenstransfer mit Beratungsunterlagen, Internetinformationen, Seminaren, Ausstellungen und Messeauftritten profitieren land- und forstwirtschaftliche Praxis, ländlicher Raum, Handwerk, Industrie und Politik gleichermaßen von unserer Forschungsarbeit.

In Straubing, der Region der Nachwachsenden Rohstoffe, arbeiten wir mit zahlreichen Partnern zusammen.

Sachgebiet: Biogene Festbrennstoffe

Ob Holzscheite, Hackschnitzel, Pellets oder Briketts aus Holz oder Halmgut, viele Brennstoffarten stehen zur Verfügung. Zu deren Bereitstellung sind effiziente Versorgungsketten gefragt. Sie sollen die gegebenen Anforderungen für eine saubere und verlustarme thermische Verwertung erfüllen. Im Sachgebiet „Biogene Festbrennstoffe“ werden daher alle technologischen Prozesse von der Pflanze bis zur Schornsteinmündung betrachtet und Optimierungsmaßnahmen entwickelt.

Das TFZ entwickelt, optimiert und bewertet Bereitstellungsketten und ihre Verfahrenselemente, wie Ernte, Aufbereitung, Lagerung und Umschlag der Brennstoffe. Dabei werden auch die Auswirkungen auf die Brennstoffeigenschaften und die Potenziale einzelner Energieträger betrachtet.

Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz, technische Kriterien und arbeitswirtschaftliche Aspekte sind ebenfalls Teil der Untersuchungen.

Viele Forschungsaufgaben betreffen die Qualitätsaspekte von Biomasse-Festbrennstoffen. Insbesondere arbeiten wir an der Entwicklung und Verbesserung von Prüfmethode für physikalisch-mechanische Brennstoffeigenschaften, z. B. durch Begleitforschung zur internationalen Normung.

Einen besonderen Schwerpunkt bilden häusliche Zentralheizungen und Einzelraumfeuerstätten für Festbrennstoffe. Auf unseren Feuerungsprüfständen für Anlagen bis 500 Kilowatt Leistung werden die Zusammenhänge zwischen der Brennstoffqualität und der Anlagenfunktion bzw. den Schadstoffemissionen untersucht. Dabei werden der technische Entwicklungsstand, aber auch das Betriebsverhalten und vielfältige Benutzereinflüsse bewertet.

Ein weiteres Augenmerk liegt dabei auch auf dem Wirkungs- und Nutzungsgrad. Brennstoffveränderungen durch physikalische und chemische Aufbereitungsschritte können so quantitativ bewertet werden.

Die Erkenntnisse werden gezielt zur Weiterentwicklung von Brennstoffen und Feuerungsanlagen, aber auch für die Festlegung gesetzlicher oder normungstechnischer Anforderungen genutzt.

Mit modernster Emissionsmesstechnik werden wesentliche Abgaskomponenten bestimmt und emittierte Partikel erfasst und charakterisiert. Minderungsmaßnahmen für Feinstaubemissionen stehen dabei im Vordergrund.

Sachgebiet: Biogene Kraft-, Schmier- und Verfahrensstoffe

Die Minderung von Treibhausgasen aus Verbrennungsmotoren und die Verringerung der Abhängigkeit von Mineralöl sind Gründe für die Forschung an alternativen Kraftstoffen. Die Schwerpunkte des Sachgebiets umfassen dabei die Optimierung der Bereitstellung und des Einsatzes von Pflanzenölkraftstoffen, Ethanol und Biomethan, welche aus heimischen Rohstoffen stammen und regional erzeugt werden können.

Bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen stehen Maßnahmen zur Verfahrens- und Qualitätsverbesserung, z. B. durch Nachbehandlung oder Additivierung sowie zur Qualitätssicherung im Fokus. Daneben werden die Normung von Rapsölkraftstoff sowie anderer Pflanzenölkraftstoffe wissenschaftlich begleitet und Labor-Analyseverfahren weiterentwickelt. Der Einsatz von Rapsölkraftstoff in pflanzenöltauglichen Motoren wird in Blockheizkraftwerken sowie in landwirtschaftlichen Maschinen untersucht.

Im Mittelpunkt stehen Leistung und Verbrauch sowie Betriebssicherheit und Abgasverhalten. Die wiederkehrende Bestimmung der gas- und partikelförmigen Emissionen von Traktoren am Zapfwellenprüfstand sowie der Effizienz von Maßnahmen zur Emissionsminderung (z. B. Partikelfilter) sind zentrale Aufgaben des Sachgebiets.

Bioethanol als Kraftstoff für Ottomotoren wird in Europa hauptsächlich aus Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben erzeugt. Am TFZ wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen auch aus der hierzulande neuen Kulturpflanze Zuckerhirse Ethanol gewonnen werden kann. Daneben wird auch der Einsatz von Ethanol und Rohalkohol in Ottomotoren untersucht.

Biomethan ist aufbereitetes Biogas, welches aus einer Vielfalt an Kulturpflanzen und Reststoffen hergestellt werden kann. Biomethan entspricht hinsichtlich seiner Eigenschaften im Wesentlichen Erdgas. Die Arbeiten des Sachgebiets konzentrieren sich auf die Nutzung von Biomethan in Traktoren mit Zündstrahlmotoren.

Eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger erfordert die bestmögliche Nutzung der vorhandenen Ressourcen. Neben den Kriterien Klimaschutz, Ökologie und Wirtschaftlichkeit ist dabei auch die gesellschaftliche Akzeptanz von Bedeutung. Mit mehreren Forschungspartnern werden regionale Basisdaten erhoben, die Umweltwirkungen (v. a. Treibhausgase) verschiedener Bioenergieträger mittels anerkannter Methoden analysiert und bewertet und daraus Empfehlungen für die bayerische Land- und Forstwirtschaft abgeleitet.

Sachgebiet: Förderzentrum Biomasse

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Nutzung ist im Vergleich zu fossilen Grundstoffen häufig wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig.

Daher fördert der Freistaat Bayern im Rahmen der Maßnahmen zum Bayerischen Energiekonzept Energie innovativ Projekte zur energetischen Nutzung von Biomasse. Die entsprechenden Förderprogramme werden vom „Förderzentrum Biomasse“ betreut und vollzogen.

Die Bearbeitung und Bewilligung der eingereichten Förderanträge sowie die Auszahlung der beantragten Zuschüsse zählen zu den Kernaufgaben des „Förderzentrums Biomasse“. Die Beratung und Information in Förderfragen zu nachwachsenden Rohstoffen sind weitere begleitende Dienstleistungen.

Zur Unterstützung von neuen Entwicklungen sind die Fördermaßnahmen einem kontinuierlichen Anpassungs- und Weiterentwicklungsprozess unterworfen. Das „Förderzentrum Biomasse“ arbeitet an der Neukonzeption von Förderprogrammen mit und erstellt die zur Antragstellung notwendigen Formulare, Merkblätter und Checklisten.

Mit der Vor-Ort-Kontrolle der Förderauflagen bei Biomasseheiz(kraft)werken wird die zweckgebundene und richtlinienkonforme Verwendung der ausgereichten Fördermittel sichergestellt.

Einen Schwerpunkt bildet die Förderung von Biomasseheizwerken. Hier ist in den letzten Jahren vor allem bei Kommunen und anderen öffentlichen Einrichtungen die Bereitschaft zum Umstieg auf Biomasse als Energieträger spürbar gewachsen. Mittlerweile wird ganz Bayern von einem Netz an Biomasseheizwerken überspannt.

Mit den bisher realisierten Projekten werden jährlich mehr als 64 Mio. Liter Heizöl oder 180.000 Tonnen klimaschädliches CO₂ eingespart. Dies stellt einen deutlichen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgase dar und ist ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltiger Klimaschutz.

Sachgebiet: Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse

Eine Aufgabe des Sachgebietes „Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse“ ist das Screening nach vielversprechenden Pflanzenarten, die unter bayerischen Anbaubedingungen als Rohstoff- oder Energielieferanten nutzbar sind. Für neue, aber auch traditionelle Kulturen werden nachhaltige Nutzungspfade für Produkte und Energie zusätzlich zur Verwendung als Nahrung und Futtermittel entwickelt.

Bei der Vorarbeit für die züchterische Bearbeitung stehen die Qualitätsanforderungen im Vordergrund. Parzellen- und Gewächshausversuche dienen der Sicherstellung der langjährigen Ertragsleistung und Ertragsstabilität unter verschiedenen Bedingungen.

Parallel wird die Produktionstechnik erarbeitet, um durch umfassende Anbauberatung eine schnelle Umsetzung in die Praxis zu ermöglichen. Ziele sind ein nachhaltiger Anbau der Kulturen mit Einordnung in vielfältige Fruchtfolgen und die weitgehende Schließung von Stoffkreisläufen.

Zur Ausstattung zählt ein Forschungsgewächshaus mit sechs unabhängig regelbaren Kabinen. Der angegliederte Betriebshof mit Werkstatt und Arbeitsräumen dient der Vor- und Nachbereitung von z. B. Proben und Messungen.

Für Parzellenversuche werden im Umkreis von Straubing Flächen entsprechend den jeweiligen Standortanforderungen der Projekte zugepachtet.

Zur Maschinenausstattung gehören u. a. zwei Pflegeschlepper, ein selbstfahrender Grüngütertraktor, ein reihenunabhängiger Parzellenhäcksler mit automatischer Wiege- und Probenahmeeinrichtung, ein Parzellenmähdrescher sowie ein Parzellengüllefass mit Schleppschläuchen.

Eine wichtige neue Kultur ist die Sorghumhirse, deren Eigenschaften eine Anbauetablierung in Bayern besonders vor dem Szenario einer Klimaänderung wünschenswert machen.

Standortangepasste Energiepflanzenfruchtfolgen verringern die Konzentration auf wenige Kulturen wie Mais und tragen so zum Bodenschutz und zur Artenvielfalt in der Kulturlandschaft bei.

In einem zehnjährigen Versuch wird die Nachhaltigkeit von Biogas untersucht. Damit werden die langfristigen Auswirkungen der Gärrestdüngung auf Bodenleben und Humusgehalte geprüft.

Die Dauerkulturen Miscanthus, Durchwachsene Silphie und Sida werden mittels Langzeiterhebungen erforscht. Laufend werden neue Kulturen auf ihre Eignung als Rohstoffpflanze getestet.

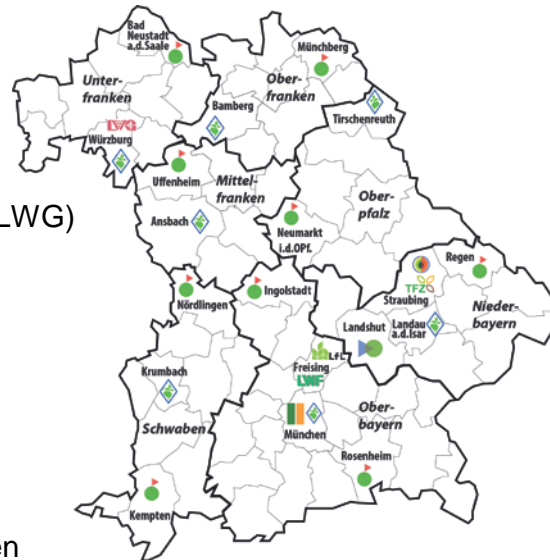
2.2 LandSchafttEnergie

LandSchafttEnergie – Team und Netzwerk

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



- Technologie- und Förderzentrum
- Landesanstalten StMELF (LfL, LWF, LWG)
- Ämter für Ländliche Entwicklung
- Fachzentren für Diversifizierung und Strukturentwicklung
- C.A.R.M.E.N. e.V.
- Staatliche Führungsakademie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 4



Abbildung 5: Expertennetzwerk für die Energiewende in Bayern

Das Expertenteam LandSchafttEnergie informiert und berät in ganz Bayern Land- und Forstwirte, ländliche Gemeinden, Unternehmen sowie die interessierte Bevölkerung zu allen Fragen der Energiewende. Energieeinsparung, Energieeffizienz und der Einsatz erneuerbarer Energien sind die Kernelemente der Energiewende, die neue Innovationen und damit auch Investitionen für moderne Produktionsanlagen und Produkte hervorrufen werden. Wenn Sie sich daran beteiligen möchten, sprechen Sie uns an. Die Expertinnen und Experten von LandSchafttEnergie bieten qualifizierte, unabhängige und kostenlose Beratung für Projekte zur Umsetzung der Energiewende an. Zusammen mit Ihnen finden wir maßgeschneiderte Lösungen, die im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit die besten Möglichkeiten bieten. LandSchafttEnergie ist ein gemeinsames Projekt der Bayerischen Staatsministerien für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Die Energiewende in Bayern ist eine Herausforderung, die uns alle angeht. Wir müssen gemeinsam eine Energieversorgung finden, die auf regenerativen und möglichst heimischen Ressourcen aufbaut, wirtschaftlich rentabel ist und gleichzeitig auch Versorgungssicherheit garantiert. Gerade die jüngste Vergangenheit hat gezeigt, dass durch die Modernisierung der Energieversorgung neue technische Entwicklungen auf den Markt gebracht werden, die die internationale Wettbewerbsfähigkeit stärken.

Rufen Sie uns an oder schicken Sie eine E-Mail und lassen Sie sich mit Ihrem Ansprechpartner vor Ort verbinden:

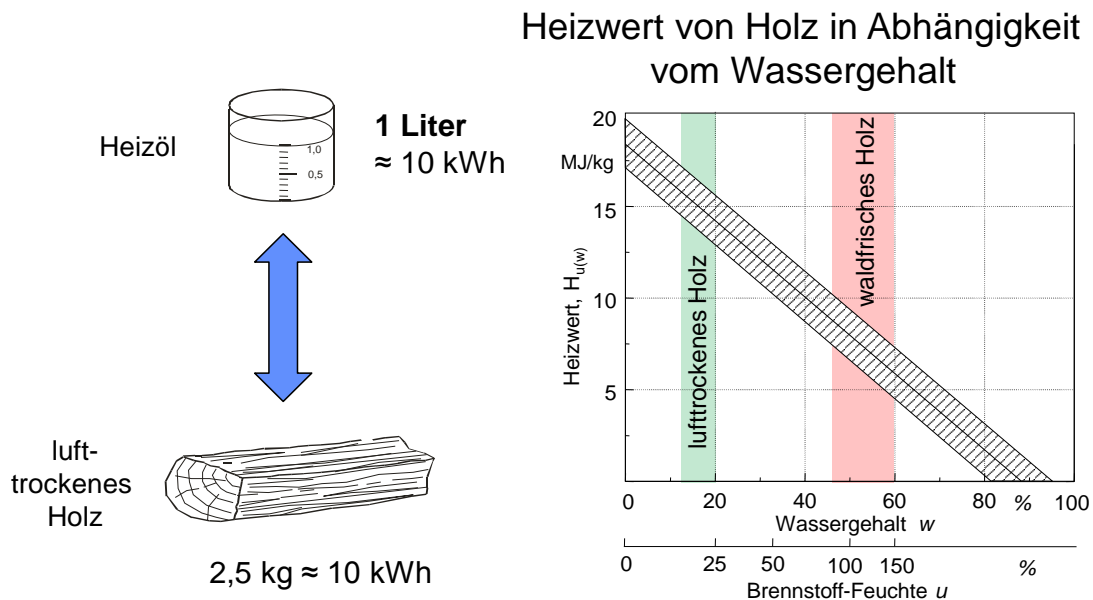
Tel.: 09421 300-270

E-Mail: landschaftenergie@tfz.bayern.de

Post: LandSchafttEnergie am TFZ, Schulgasse 18, 94315 Straubing

3 Energieinhalt und Raummaße von Holz

Der Energieinhalt von Holz



Reisinger
P 15 E Br 010 Folie 6



Abbildung 6: Heizwert von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt und der Feuchte

Der Energieinhalt von einem Liter Heizöl liegt bei etwa 10 Kilowattstunden (kWh) oder 36 Megajoule (MJ). Ein Liter Heizöl kann energetisch von etwa 2,5 Kilogramm trockenem Holz mit einem Wassergehalt von 20 % oder 2,1 kg Holzpellets mit einem Wassergehalt von 8 % ersetzt werden (Abbildung 6).

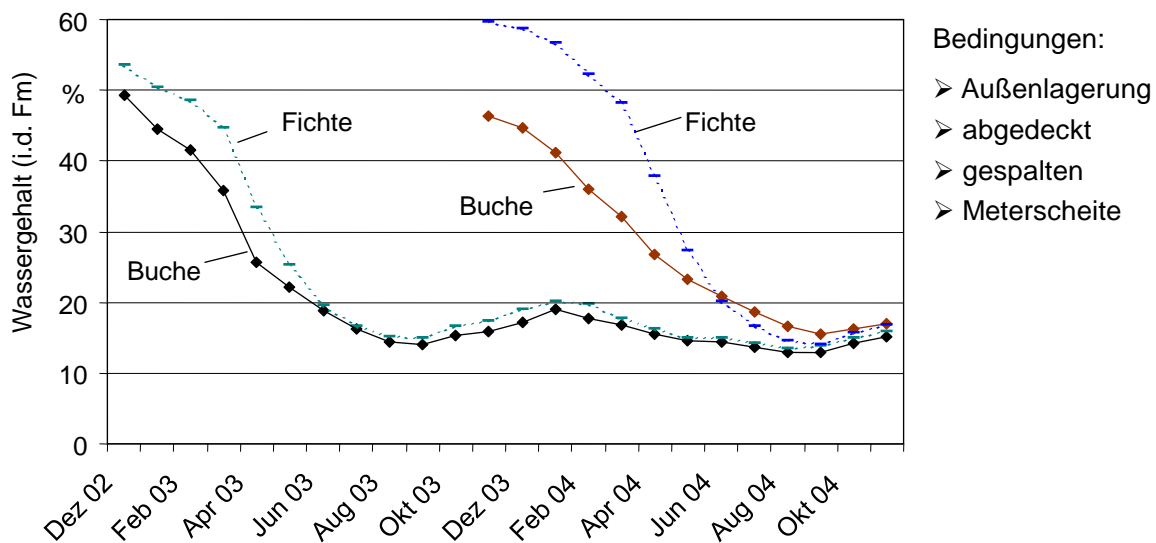
Die Energieinhalte von Biomasse-Festbrennstoffen unterscheiden sich bei gleichem Wassergehalt und gleicher Masse kaum. So benötigt man etwa 2,5 kg Stroh-, Getreide- oder Getreideganzpflanzen bei einem Wassergehalt von 15 %, um einen Liter Heizöl energetisch zu ersetzen. Etwa 2,4 kg Strohpellets mit einem Wassergehalt von 10 % entsprechen dem Energieinhalt von einem Liter Heizöl. Sehr deutliche Unterschiede gibt es jedoch beim Heizwert in einem bestimmten Volumen, z. B. in einem Liter. So entspricht der Energieinhalt von 1 Liter Heizöl etwa dem von 5 Litern Buchen- oder 7,5 Litern Fichtenscheiten (jeweils 33 cm, geschichtet, inklusive Zwischenräume) [12].

Der untere Heizwert (H_u) von Holz und Agrarbrennstoffen nimmt pro Masseinheit mit steigendem Wassergehalt linear ab. Der Heizwert von absolut trockenem Holz (Darrgewicht) liegt bei etwa 18,8 MJ/kg. Bei einem Wassergehalt von rund 88 % (theoretischer Wert) ist er gleich null (Abbildung 6). Waldfrisches Holz (roter Bereich in Abbildung 6) hat einen Wassergehalt, der je nach Baumart, Alter und Jahreszeit zwischen 45 % und 60 %

liegt. Bei lufttrockenem Holz (grüner Bereich in Abbildung 6) kann man von Wassergehalten zwischen 12 % und 20 % ausgehen.

In diesem Zusammenhang muss zwischen Wassergehalt und Feuchte unterschieden werden: Der Wassergehalt bezieht sich auf die Masse des Brennstoffs inklusive des Wassers. Die Feuchte ist die Wassermenge bezogen auf die Trockenmasse. Demnach entspricht ein Wassergehalt von 20 % einer Feuchte von 25 %.

Wassergehaltsänderung frisch geernteter Meterscheite



Reisinger
P 15 E Br 010 Folie 7



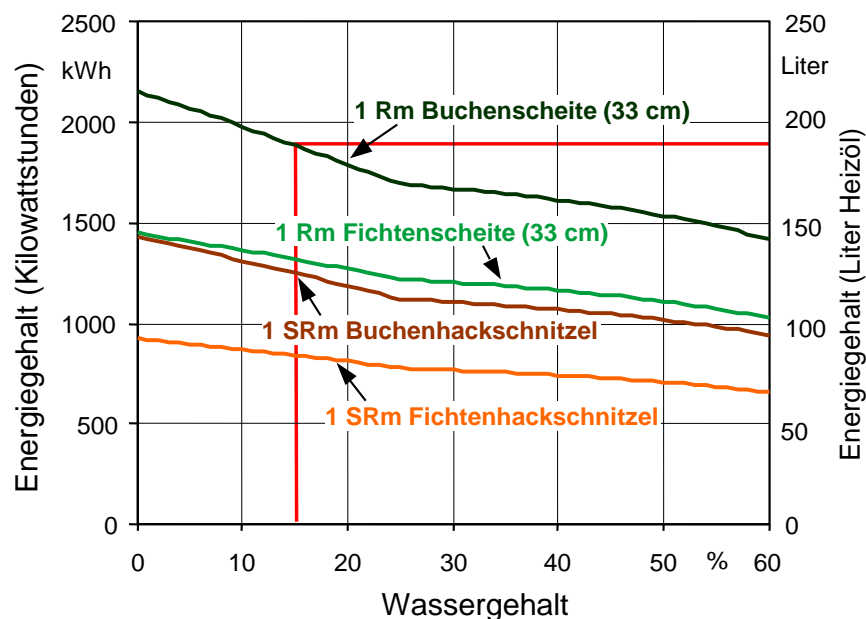
Abbildung 7: Wassergehaltsänderungen frisch geernteter Meterscheite

Unmittelbar mit Lagerbeginn setzt beim frisch geschlagenen Holz schon in den Wintermonaten die Trocknung ein, obgleich die Trocknungsbedingungen noch relativ ungünstig sind. Im Frühjahr kommt es zu einer Beschleunigung der Trocknung und die maximalen monatlichen Trocknungsraten steigen ab März bis auf 10 Wassergehalts-Prozentpunkte an [9]. Letztlich wird die 20%-Marke trotz der höheren Rohdichte der Buche etwa gleichzeitig mit der Fichte erreicht. Im April ist die Trocknungsrate bei beiden Baumarten am höchsten. Sie sinkt dann wegen der geringeren verbliebenen Restfeuchte bis September auf null ab. Zwischen Oktober und Dezember kann es zu einer Rückbefeuchtung von monatlich ca. 5 l/Rm (Abbildung 7) kommen. Der Wassergehalt in beiden Holzproben stieg nach dem Abtrocknen im Untersuchungszeitraum jedoch nicht über 20 %, sodass einmal durchgetrocknetes Holz auch zukünftig für die Verbrennung geeignet ist, wenn es abgedeckt gelagert wird.

Ab September kann durch eine Abdeckung oder Lagerung unter Dach die über das Winterhalbjahr beobachtete Wiederbefeuchtung reduziert werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist eine überdachte Lagerung von trockenem Holz empfehlenswert.

Die Trocknung von Holz erfolgt am besten an einem luftigen (windigen) Standort, der im Idealfall auch sonnig sein sollte. Diese Bedingungen sind beispielsweise bei einer Lagerung im Wald oder in einer Garage nicht gegeben. Bei der Lagerung sollte darauf geachtet werden, dass das Holz vor Bodenfeuchtigkeit geschützt ist. Als Untergrund eignen sich Holzplanken, Paletten oder trockener Kiesboden. Unter optimalen Lagerungsbedingungen kann Scheitholz, das im Winter geschlagen wurde, im späten Sommer nach einer Lagerdauer von neun Monaten schon ofenfertig getrocknet sein. Gespaltenes Holz trocknet sogar noch um etwa zwei Monate schneller innerhalb von nur sieben (Sommer-)Monaten. Unter diesen Voraussetzungen, die zumindest für Süddeutschland gelten, sind auch die Unterschiede im Trocknungsverlauf bei den einzelnen Holzarten vernachlässigbar [9].

Energieinhalt in einem Raummeter/Kubikmeter Holz



Reisinger
P 15 E Bf 010 Folie 8



Abbildung 8: Energieinhalt in einem Raummeter (Kubikmeter) Holz

Scheitholz oder Hackschnitzel werden nur selten nach Masse verkauft, üblich ist das Raummaß (landläufig Ster). Der Heizwert oder die Energiemenge in einem Raummeter Holz ist wesentlich vom Holzsortiment, z. B. Meterscheite, 33-cm-Scheite oder Hackschnitzel, von der Baumart und dem Wassergehalt abhängig. Scheitholz kann enger geschichtet werden, sodass deutlich mehr Holz in einen Raummeter Scheitholz enthalten

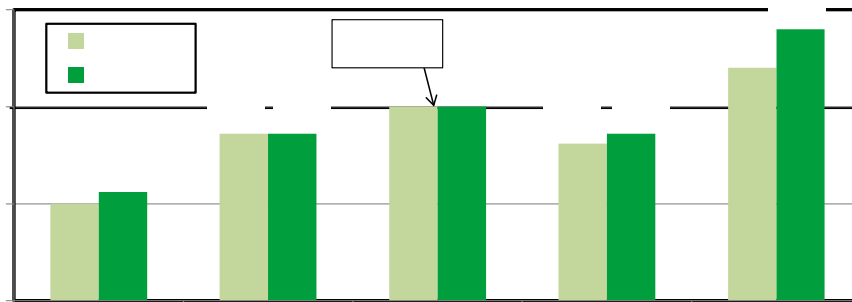
ist als in einem Raummeter locker geschütteter Hackschnitzel. Bei der Buche ist die Schwindung (Schrumpfung) der Scheite bei sinkendem Wassergehalt im Bereich der niedrigen Wassergehalte (0–25 %) deutlich erkennbar. Dieser Effekt ist bei Fichtenholz weitaus weniger deutlich ausgeprägt. Wenn bereits ofenfertig getrocknetes Holz bezogen wird, ist der Heizwert im Vergleich zu waldfrischem Holz in einem Raummeter höher, da der durch die Trocknung eintretende Volumenschwund noch beim Lieferanten eintritt und dort aufgefüllt werden kann.

Der Energieinhalt in einem Raummeter lufttrockener (Wassergehalt 15 %) Buchenscheite mit einer Länge von 33 cm entspricht in etwa 190 Litern Heizöl. Fichtenholz hat eine niedrigere Energiedichte; ein Raummeter entspricht daher bei gleichen Bedingungen nur etwa 135 Liter Heizöl. Der Energieinhalt in einem Schüttraummeter Hackschnitzel liegt aufgrund des höheren Luftanteils noch darunter, unabhängig davon, ob es sich um Hartholz, wie beispielsweise Buche, oder Weichholz, z. B. Fichte, handelt [9].

Betrachtet man jedoch den massebezogenen Energieinhalt von Holz, so hat Fichtenholz gegenüber Buchenholz einen etwas höheren Heizwert. Mit einer Tonne Buchenholz lassen sich bei 15 % Wassergehalt 424 Liter Heizöl und mit einer Tonne Fichtenholz 434 Liter Heizöl ersetzen. Holzpellets haben aufgrund ihres geringeren Wassergehalts (< 10 %) einen im Vergleich zu sonstigen Holzbrennstoffen höheren Energieinhalt. Ein Kubikmeter (m³) Holzpellets entspricht bei einem Wassergehalt von 8 % etwa der Energiemenge von 309 Litern Heizöl oder eine Tonne Holzpellets entspricht etwa 475 Liter Heizöl [17].

Halmgutbrennstoffe haben im Vergleich zu Holzbrennstoffen einen etwas niedrigeren Heizwert. So entspricht der Energieinhalt von einer Tonne Stroh bei einem Wassergehalt von 15 % etwa dem Energieinhalt von 396 Litern Heizöl.

Umrechnungsfaktoren für Raummaße bei Scheitholz



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 9



Abbildung 9: Umrechnungsfaktoren zwischen verschiedenen Scheitholzsortimenten und Lagerformen

In Abbildung 9 ist jeweils die gleiche Holzmenge in unterschiedlichen Formen, sogenannten Sortimenten, dargestellt. Ein Raummeter (Rm) Brennholz, z. B. Buche, Meterscheite, geschichtet, geht aus durchschnittlich 0,56 Festmetern (Fm) Buchenholz bzw. bei Fichte aus 0,5 Fm Fichtenholz hervor [9].

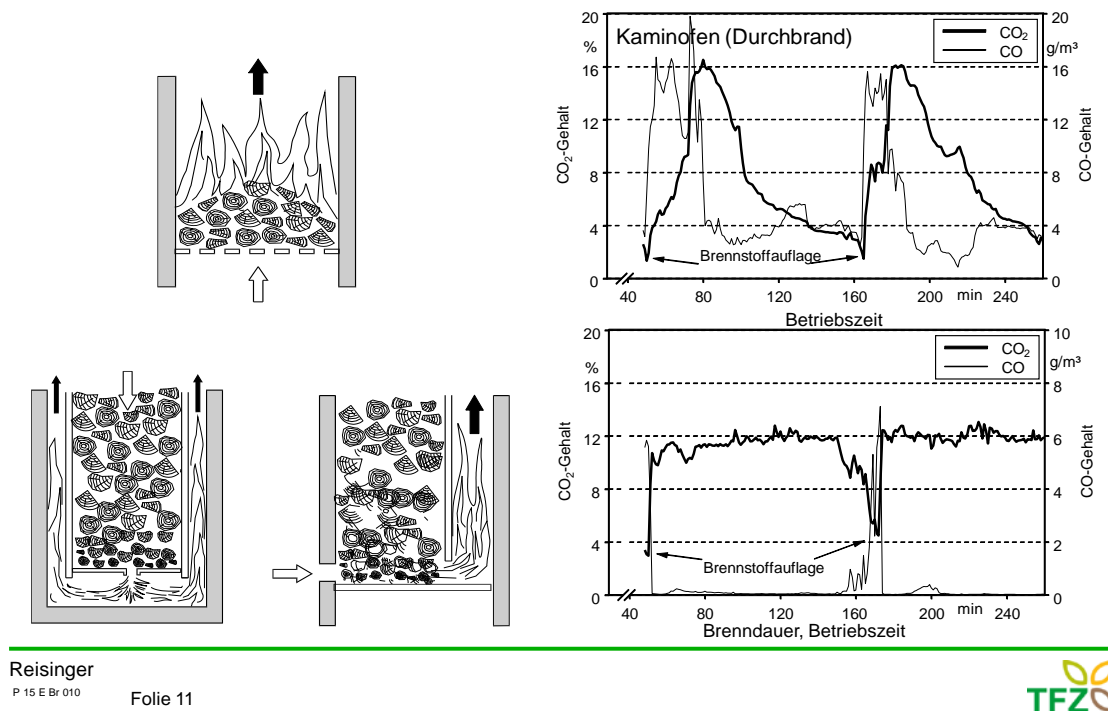
Aus einem Raummeter Meterscheite werden durch zweimaliges Ablängen 33-cm-Scheite, die, wieder aufgeschichtet, für Buchenholz nur circa 0,81 Rm ergeben. Für Fichtenholz ist der Unterschied mit 0,86 Rm 33-cm-Scheite aus einem Raummeter Meterscheite etwas kleiner. Dies bedeutet, dass ein Brennholzkunde, der beim Brennholzhändler einen Raummeter ofenfertiges Buchenholz bestellt und hierbei die im Handel häufig geltende Bemessungsgrundlage als Meterscheite vereinbart, bei der Auslieferung im aufbereiteten Zustand als 33-cm-Scheite nur noch 0,81 Rm erhält. Beim Fichtenholz wären es 0,86 Rm.

Größere Holzartenunterschiede bestehen auch bei lose geschütteten Scheitholzbrennstoffen. Aus einem Raummeter gespaltenener Meterscheite ergeben sich 1,20 Schüttraummeter (SRm) Buchenscheite bzw. 1,40 SRm Fichtenscheite mit 33 cm Länge. Das bedeutet, dass ein Brennholzkunde, der das Holz in lose geschütteten Scheiten (33 cm) einkauft, dieselbe Menge Holz bekommt, die durchschnittlich in 0,83 Rm bei Buche bzw. 0,72 Rm bei Fichte enthalten ist.

4 Feuerungssysteme für biogene Festbrennstoffe

4.1 Scheitholzfeuerungen

Verbrennungsprinzipien bei Scheitholzfeuerungen



Reisinger
P 15 E Br 010 Folie 11



Abbildung 10: Verbrennungsprinzipien bei Scheitholzfeuerungen

In einem Durchbrandofen (Abbildung 10, oben) werden alle Holzstücke nahezu gleichzeitig erhitzt und damit entgast. Die während des Abbrands freigesetzte Brenngasmenge schwankt je nach Brennholzauflage. Der Betrieb ist durch hohe Emissionen beim Anheizen und beim Nachlegen gekennzeichnet. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Brennraum noch nicht aufgeheizt ist und sich bei Anlagen ohne Gebläse noch kein ausreichender Kaminzug aufbauen konnte. Auch bei zu starker Brenngasfreisetzung kommt es zu hohen Emissionen, da die Verweilzeit für die Oxidation nicht ausreicht. Erst mit steigender Feuerraumtemperatur und abnehmender Brenngasmenge verbessern sich die Ausbrandbedingungen wieder. Eine gleichmäßige Verbrennung lässt sich durch häufiges Nachlegen kleiner Brennstoffmengen erzielen. Wegen der hohen Emissionen sollte das Durchbrandprinzip heute nicht mehr für Zentralheizungen eingesetzt werden. Bei den Scheitholz-Zentralheizungskesseln entspricht der untere Abbrand (Abbildung 10, unten) dem heutigen Stand der Technik. Hierbei ist nur die unterste Brennstoffschicht an der Verbrennung beteiligt. Diese Kessel werden mit unterem vertikalem Abbrand (Sturzbrand) oder unterem seitlichen Abbrand mit Frontbeschickung oder Beschickung von oben angeboten. Bei beiden Bauformen brennt die Flamme nicht nach oben durch die Brennstoffschicht, sondern seitlich oder nach unten in eine separate Brennkammer. Dies

bringt gegenüber dem Durchbrandprinzip deutliche Vorteile durch wesentlich verlängerte Nachlegeintervalle, gleichmäßigere Verbrennungsbedingungen und daher niedrigere Schadstoffemissionen [9].

Scheitholz ist kein so homogener Brennstoff wie beispielsweise Öl oder Gas. Im Gegensatz zu gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen verbrennt Holz in mehreren Phasen: Zunächst wird der Brennstoff im Feuerraum durch die Erwärmung getrocknet und erwärmt. Ab circa 250 °C entstehen aus etwa 80 % der Holzsubstanz brennbare Gase (Entgasung). Zurück bleibt Holzkohle, die erst ab Temperaturen von über 500 °C brennbare Gase bildet. Die heißen Holzgase werden dann bei ausreichender Menge Sauerstoff nahezu vollständig verbrannt (Oxidation) [7].

Holz brennt nicht selbst – wie es den Augenschein hat –, sondern die daraus entweichenden Gase. Entscheidend für eine saubere Verbrennung ist eine möglichst vollständige Oxidation dieser Gase zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). Dazu müssen die Brenngase gut mit Verbrennungsluft durchmischt werden und lange genug im Feuerraum bleiben. Notwendig sind auch ausreichend hohe Temperaturen. Für eine vollständige Verbrennung ist daher die richtige Dosierung der Verbrennungsluft im Feuerraum entscheidend. Zu wenig Luft führt zu Sauerstoffmangel und einer unvollständigen Verbrennung. Zu viel Luft kühlt dagegen die Flammen zu stark. Dadurch können die Reaktionen nicht vollständig ablaufen und der Wirkungsgrad sinkt. Auch ein hoher Wassergehalt im Brennstoff wirkt sich negativ aus, da das verdampfende Wasser die Temperatur im Feuerraum senkt und ein ähnlicher Effekt wie bei zu hoher Luftzufuhr eintritt [10].

Sehr trockenes Holz mit einem Wassergehalt von weniger als 12 % kann zu erhöhten Emissionen führen. Messungen haben gezeigt, dass die Staubemissionen von technisch getrocknetem Scheitholz sehr viel höher als bei luftgetrocknetem Holz sein können. Wird z. B. Scheitholz mit einem Wassergehalt von 2 % in einem Kaminofen verbrannt, so können sich die Staubemissionen verfünffachen.

Kaminöfen als Vertreter der Durchbrandfeuerungen



System: Wodtke

Technische Merkmale moderner Kaminöfen orientieren sich an der 3 T-Regel:

- schamottierte Brennraumauskleidung für hohe Temperaturen
- hohe, schlanke Brennräume für längere Gasverweilzeiten
- Umlenkeinbauten zur Erzeugung von Turbulenzen gute Verwirbelung und Durchmischung der Brenngase mit der Verbrennungsluft
- Einhebelmechanik für Veränderung des Verhältnisses Primär- zu Sekundärluft
- Wirkungsgrad ca. 70-75 % (Kaminöfen)

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 12



Abbildung 11: Merkmale moderner Kaminöfen

Kaminöfen sind typische Vertreter der Durchbrandfeuerung und stellen bei den Anlagenverkäufen heute die mit Abstand bedeutendste Bauart dar. Das zeigt sich auch in den Zahlen. Derzeit werden rund 10,4 Millionen Biomasse-Feuerstätten betrieben, davon sind ca. 10 Millionen Einzelraumfeuerstätten [14], z. B. Kaminöfen, Scheitholzherde, offene Kamine und Kachelöfen, und etwa 0,4 Millionen Biomasse-Zentralheizungsanlagen [13]. Einzelraumfeuerstätten werden meist nur gelegentlich betrieben. Zentralheizungsanlagen sind üblicherweise in der Heizperiode häufig in Betrieb. Ihre Abgase werden regelmäßig vom Schornsteinfeger untersucht.

Der Schadstoffausstoß von neuen Einzelraumfeuerstätten wird vom Schornsteinfeger nicht geprüft. Die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben wird durch eine einmalige vom Hersteller in Auftrag gegebene Prüfung nachgewiesen. Wiederkehrende Emissionsmessungen in der Nutzungsphase sind nicht vorgeschrieben. Kaminöfen wurden ursprünglich als reine Zusatzheizgeräte für den Wohnbereich entwickelt und dienen neben der Wärmeerzeugung oft auch der Wohnraumverschönerung. Obwohl dadurch vor allem optische Aspekte im Vordergrund stehen, sollte dennoch auch auf eine schadstoffarme Verbrennungstechnik geachtet werden. Hierbei können die besonderen Anforderungen des DIN_{Plus}-Gütesiegels als Stand der Technik herangezogen werden. Wesentlichen Einfluss auf die Verbrennung haben auch die Brennstoffqualität und die Bedienung.

Moderne Kaminöfen zeichnen sich durch schamottierte Brennräume aus, die zudem richtig (großzügig) dimensioniert sind. Typisch ist ein hoher, schlanker Brennraum, der

eine längere Gasverweilzeit ermöglicht und damit eine wichtige Voraussetzung für eine möglichst vollständige Verbrennung schafft. Mit Schamott als Brennraumauskleidung können hohe Verbrennungstemperaturen und damit auch hohe Umsetzungsraten erreicht werden. Die dritte wichtige Voraussetzung für eine gute Verbrennung sind Umlenkeinbauten zwischen Brennraum und Abgasstutzen. Diese erzeugen Turbulenzen und verbessern damit die Durchmischung der Brenngase mit der Verbrennungsluft. Dazu werden beispielsweise schräg gestellte Schamottplatten eingesetzt. Eine Zuführung von Sekundärluft oberhalb der Brennstoffauflage verbessert den Gasausbrand und durch eine Einhebelmechanik kann das Verhältnis von Primär- und Sekundärluft einfach umgestellt werden.

Anzünden eines Ofens

Anzündhölzchen (ca. 3x3x20 cm) und Anzündhilfe (bspw. wachsgetränkter Holzpressling) bereitlegen



Anzündhölzchen kreuzweise auf die Wertscheite legen und Anzündhilfe mittig anordnen



“Anzündmodul“ im Kaminofen mit der Anzündhilfe zünden. Klappen vorher einstellen (siehe Bedienungsanleitung).



- Kein Papier zum Anzünden verwenden
- Nur trockenes, naturbelassenes Holz verwenden

Quelle: TFZ: Richtiges Anzünden eines Kaminofens

Bruhn
P 15 EBr 010

Folie 13



Abbildung 12: Anzünden von oben

Das empfohlene Anzünden von oben hat den Vorteil, dass der anfangs genutzte obere Teil des Feuerraums kleiner ist und sich damit schneller aufheizt, während zugleich die Wärmeabstrahlung nach unten (d. h. Verluste) durch die liegenden Scheite vermindert ist. In der Anzündphase wird weniger Brennstoff verbrannt, weshalb anfangs weniger Holzgas gebildet wird. Dessen Aufenthaltszeit im Brennraum verlängert sich somit und die anfangs noch trägen Verbrennungsreaktionen erhalten etwas mehr Zeit [15].

Die traditionelle Anzündmethode von unten, die leider immer noch oft angewendet wird, kann heute nicht mehr empfohlen werden. Bei dieser alten Methode wird der gesamte Brennstoff (einschließlich der Scheite) über dem Anzünder aufgebaut. Bei Zündung ge-

langen zu viele Brenngase in den Brennraum. Die große Menge an gebildeten Holzgasen kann in dem noch kalten Brennraum nur träge reagieren. Wärme, die eigentlich im Bereich der Flammenausbreitung für die Verbrennungsreaktionen benötigt wird, geht nach unten zum Rost hin durch Abstrahlung verloren. Abgase erreichen den Schornstein, bevor sie vollständig ausgebrannt sind und gelangen so als Schadstoffe in die Umwelt. Ein unvollständiger Ausbrand führt auch zwangsläufig zu geringeren Wirkungsgraden und damit zu Verlusten.

Die gewünschte Leistung der Einzelraumfeuerung sollte durch das Nachlegen der korrekten Brennholzmenge reguliert werden. Eine Drosselung der Luftzufuhr bewirkt meist nur eine unvollständige Verbrennung durch Sauerstoffmangel und ist verbunden mit hohen Schadstoffemissionen. Eine bessere Verbrennung wird durch Nachlegen von Scheiten in der richtigen Länge, durch einen gleichmäßigen Abstand und durch Nachlegen mehr als einem Scheit erreicht. Überfüllung sollte vermieden werden. Die maximale Nachlegemenge sollte aus der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Tipps zum Anzünden von Einzelraumfeuerstätten mit Rostfeuerungen

- nur naturbelassenes Holz verbrennen (kein behandeltes, beschichtetes oder lackiertes Holz)
- nur trockenes Holz verwenden (mindestens 9 Monate luftig gelagert)
- Verbrennungsluftzufuhr beim Anheizen wie vom Ofenhersteller vorgegeben (z. B. Anheizklappe öffnen)
- größere Scheite erst einlegen, wenn ausreichend Grundglut vorhanden ist
- kleine Mengen Brennstoff nachlegen, nicht überfüllen
- Heizwärmebedarf bevorzugt über Brennstoffnachlegemenge anstelle von Luftzufuhr regeln
- Türen der Feuerstätte immer fest verschlossen halten

Das Anzünden von oben erzielt normalerweise die besten Ergebnisse und steigert den Wirkungsgrad.

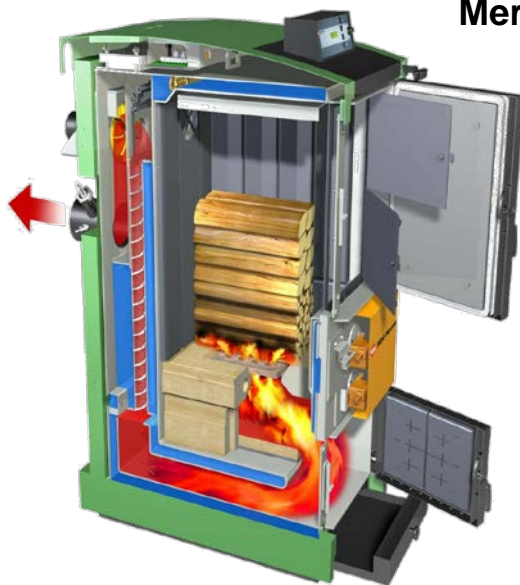
- Zwei oder drei Holzscheite werden nebeneinander auf den Feuerraumboden oder Rost gelegt und decken ihn komplett ab. Bei Grundöfen und Speicheröfen sollten mehrere Lagen Brennholz übereinander eingeschichtet werden.
- Ein Anzünder wird oben auf die oberste Lage Scheite gelegt.
- Einige kleinere Anzündhölzchen, z. B. 4 bis 6 Holzstäbchen, werden kreuzweise über den Anzünder gelegt.

- Stellen Sie sicher, dass alle Luftklappen vollständig offen sind und auch die Klappe im Abgasverbindungsstück, falls vorhanden.
- Der Anzünder wird nun entzündet.

Nach der Zündung, wenn die Verbrennung im vollen Gang ist, wird die Primärluft (Rostluft oder Primärluftklappen, falls vorhanden) geschlossen. Je nach Vorgabe des Ofenherstellers kann es auch notwendig sein, dass die Sekundärluftzuführung leicht verringert wird, falls hierfür ein Schieber vorhanden ist.

Ein Anzünder brennt für die Dauer von etwa 5 bis 7 Minuten und sorgt für konstante Zündhitze. Weil er sehr kompakt ist, kann Verbrennungsluft ungehindert zu den ersten Flammen gelangen. Mit Papier als Anzünder würde die Luftzuführung dagegen nach kurzer Zeit behindert, weil sich die blättchenförmigen Ascheflocken des Papiers teilweise auf dem Brennstoff ablagern.

Scheitholzessel mit unteren Abbrand



Merkmale moderner Scheitholzessel:

- Leistungsregelung und abgasgeführte Verbrennungsregelung
- einfache Wärmetauscherreinigung (gut zugängliche Wärmetauscher bzw. Einhebelmechanik für Turbulatoren)
- Lastvariabilität von ca. 50 bis 100 %
- einfache Entaschung ca. alle 2 bis 4 Wochen
- Durchschnittlicher Wirkungsgrad bei Typprüfungen: 92 %

Unverzichtbarer Systembaustein:

Pufferspeicher: mind. 55 l/kW (besser 100)

System: HDG - Navora

Reisinger
P 15 EBr 010

Folie 14



Abbildung 13: Merkmale moderner Scheitholz-Zentralheizungskessel

Moderne Scheitholz-Zentralheizungskessel arbeiten nach dem Prinzip des unteren Abbrands und verfügen über eine leistungs- und abgasgeführte Verbrennungsregelung. Mit einem Gebläse kann die zugeführte Primärluftmenge je nach Leistungsbedarf in Abhängigkeit der Kesselwassertemperatur gezielt dosiert werden. Eine Lambdasonde dient als Regelgröße für die Sekundärluftzufuhr. So gelingt es, Änderungen in der Verbrennung nachzjustieren und überwiegend optimale Betriebszustände zu realisieren [10].

Dadurch können niedrige Emissionen und gleichzeitig auch hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Die Kessel sind bei gleichbleibender Verbrennungsqualität teillastfähig bis etwa 50 % der Nennleistung. Trotzdem sollten Scheitholzkessel bevorzugt unter Volllast betrieben werden. Um eine ausreichend hohe Durchbrennfestigkeit zu erreichen, sollen sämtliche feuerbeaufschlagten Teile aus Kesselblech von mindestens 7 bis 8 mm Stärke gefertigt sein.

Neben einem ausreichend großen Pufferspeicher ist der Füllschachttinhalt zusammen mit dem Kesselwirkungsgrad maßgebend für die Brenndauer des Kessels und damit mitentscheidend für einen hohen Bedienkomfort. Je größer der Füllschacht ist, desto mehr Holz (und somit Energie) kann mit einem Füllvorgang eingeschichtet werden. Ein wichtiges Merkmal des Füllschachts ist die Ausführung des Füllschachtbodens. Hier muss neben einer möglichst hohen Stabilität gegen den Aufprall herabfallender Hölzer auch eine möglichst hohe Wärmespeicherkapazität gegeben sein. Am besten eignet sich hierzu eine Kombination aus Stahl und Schamott.

Heizen mit Holz in handbeschickten Feuerungen erfordert einen hohen Bedienungsaufwand für die Bereitstellung des Brennstoffs und die Beschickung der Feuerstätte. Daher ist der Einfluss der Bedienung bei diesem Anlagentyp besonders hoch. Alle üblichen Feuerstätten (Ausnahme: Anlagen in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung ab einer Nennwärmeleistung von 30 kW) sind ausschließlich für naturbelassene Hölzer zugelassen. Behandeltes, beschichtetes oder lackiertes Holz sowie andere Abfälle, wie Milchtüten oder Joghurtbecher, können zu Störungen in der Verbrennung führen oder auch zum Ausfall einzelner Bauteile. Zudem können giftige Emissionen entstehen. Eine Abfallverbrennung in Kleinf Feuerungsanlagen ist verboten und kann bei entsprechendem Verdacht durch eine Analyse der Feuerraumasche nachgewiesen werden.

Verwenden Sie daher aus Rücksicht auf Ihre eigene Gesundheit und auf die Lebensdauer der Anlage nur sauberes, naturbelassenes und trockenes Holz. Nicht stückiges Holz, wie beispielsweise Hobelspäne, führt bei der Verbrennung kurzfristig zu großer Hitzeentwicklung, die in ungeeigneten Anlagen zu hohen Schadstoffemissionen und Schäden an der Anlage führen kann.

Beim Anheizen des Kessels entstehen die meisten Emissionen, da die Wände des Feuerraums noch kalt sind. Wichtig ist daher, möglichst schnell hohe Feuerraumtemperaturen zu erreichen, was durch die Verwendung von dünn gespaltenem Holz und handelsüblichen Holzanzündern zum Anfeuern möglich ist. Achten Sie darauf, dass eine gute Verbrennungsluftzufuhr entsprechend der Bedienungsanleitung des Kesselherstellers sichergestellt ist. Gegebenenfalls muss nach dem Anheizen die Luftzufuhr geändert werden. Die Hersteller haben den Luftbedarf in jeder Heizphase exakt bestimmt. Achten Sie ferner darauf, dass die Feuerraumtüren immer fest verschlossen sind, um Falschlufteintrag und damit eine unvollständige Verbrennung zu verhindern [7].

Bei Scheitholz-Zentralheizungskesseln muss das Holz exakt in den Füllraum eingeschichtet werden, sonst kann es zu Verkantungen kommen, sodass die Scheite nicht mehr gleichmäßig in die Vergasungszone nachrutschen. Bei größeren Hohlräumen zwi-

schen den Holzscheiten kann die Verbrennungsluftzufuhr nicht mehr optimal eingestellt werden und die Regeleinrichtung (z. B. Lambdasonde) kann diesen Betriebszustand nicht mehr ausregeln. Höhere Schadstoffemissionen, ein niedrigerer Wirkungsgrad und Leistungseinbußen sind die Folge. Die verwendeten Holzscheite sollten an die Brennraumgröße angepasst werden und üblicherweise einen Umfang von etwa 10 bis 30 Zentimetern haben.

Scheitholz-Pellet-Kombikessel



System: Fröling

Bruhn

P. 15 E Br 010

Folie 15

Merkmale moderner Kombikessel:

- Verbindet den Komfort eines Pelletkessels mit einer Scheitholzfeuerung
- Leistungsregelung und abgasgeführte Verbrennungsregelung
- automatische oder manuelle Reinigung der Wärmetauscher mittels Wirbulatorien
- automatisches Umschalten einstellbar
- automatischer Ascheauswurf für die Pelleteinheit
- Fördervoraussetzung: Pufferspeicher 55 l/kW Nennwärmeleistung für den handbeschickten Teil
- Förderung wie Pelletkessel oder Pellet- + Scheitholzessel je nach System



Abbildung 14: Scheitholz-Pellet-Kombikessel

Kombikessel sind eine relativ neue Entwicklung, die eine Lösung für diejenigen bietet, die eigenes Holz besitzen oder günstig Holz erwerben können (z. B. als Selbstwerber) und gleichzeitig bei Abwesenheit oder Krankheit sicherstellen möchten, dass Wärme auch vollautomatisch erzeugt werden kann. Kombikessel sind kompakte, raumsparende Anlagen, die teilweise automatisch vom Scheitholz- in den Pelletbetrieb umschalten. Manuelle Umbauten sind dann nicht mehr notwendig. Dies gilt allerdings nicht für alle Anlagen. Kombikessel sind bei manchen Herstellern eher für den Scheitholzbetrieb ausgelegt, während Holzpellets als Zweitbrennstoff angesehen werden können. Dennoch können optimierte Anlagen für beide Brennstofftypen bei den Typprüfungen Wirkungsgrade von über 90 % erreichen.

Einige Scheitholzessel können mit einem Pelletmodul nachgerüstet werden. Dazu befindet sich meistens ein Flansch an der Seite des Kessels, der im Bedarfsfall entfernt und an dem das Pelletmodul befestigt wird.

4.2 Hackschnitzelfeuerungen

Hackschnitzel



Die Brennstoffqualität ist entscheidend für eine störungsärmere Verbrennung, darum nur Hackgut mit guter Qualität verwenden.

Gewinnung von Hackschnitzeln

- Holz bevorzugt in ungehackter Form vorlagern bzw. trocknen
- Grünanteil möglichst im Wald lassen, um den Nährstoffaustrag zu minimieren
- Lagerung bevorzugt unter Dach oder abgedeckt
- Lagerdauer der Hackschnitzel kurz halten



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 16



Abbildung 15: Gewinnung von Holzhackschnitzeln

Hackschnitzelfeuerungen sind automatisch beschickte Anlagen in einem sehr großen Leistungsbereich von ca. 20 kW bis 60 MW (60.000 kW). Große Biomasseheizwerke oder Biomasseheizkraftwerke verwenden fast ausschließlich Hackschnitzel als Brennstoff. Typisch für kleine Hackschnitzelheizungen bis etwa 100 kW sind Unterschub- und Quereinschubfeuerungs-systeme [10] (Abbildung 18 und Abbildung 19).

Hackschnitzelheizungen im kleinen und mittleren Leistungsbereich sind typischerweise für die Verbrennung von Hackschnitzeln bis zu einem Wassergehalt von maximal 35 % geeignet. Der maximal mögliche Wassergehalt wird hier sehr oft durch die automatische Zündung nach oben begrenzt. Allein durch die Vortrocknung des Holzes in ungehackter Form kann der Wassergehalt innerhalb weniger Monate schon auf unter 30 % sinken. Ein idealer Lagerplatz sollte gut durchlüftet werden, windig und sonnig sein, einen trockenen Untergrund aufweisen sowie ganzjährig befahrbar sein. Trotzdem sollte die Lagerdauer möglichst kurz gehalten werden [1].

Holz, das für die Herstellung von Hackschnitzeln vorgesehen ist, sollte möglichst schon weitgehend abgetrocknet sein, bevor es gehackt wird. Dadurch wird die Haltbarkeit der Hackschnitzel erhöht und die Verluste durch biologischen Abbau verringert.

Häusliche Kleinfeuerungsanlagen benötigen für einen reibungslosen Betrieb eine möglichst gleichbleibende, definierte Brennstoffqualität. Internationale Brennstoffnormen geben dabei eine Orientierung. Seit 2014 gilt für Holzhackschnitzel zur Verwendung in kleinen Hackschnitzelfeuerungen die ISO 17225, Teil 4. Bisher gängige Brennstoffnormen (DIN EN 14961, ÖNORM M 7133) werden durch sie ersetzt. In der ISO 17225-4 werden drei Korngrößenklassen definiert (P16S, P31S und P45S) [20]. Der Klassenname beschreibt die jeweilige Hauptfraktion. Außerdem wurden auch Anforderungen für den maximalen Feinanteil, den zulässigen Grobanteil, die maximale Partikellänge und die maximale Querschnittsfläche der Teilchen festgelegt [6].

Nadeln und Blätter haben einen vergleichsweise hohen Nährstoffgehalt und sollten daher möglichst im Wald verbleiben, um den Nährstoffaustrag zu minimieren. Gleichzeitig wird durch die höhere Verdunstungsrate der Grünanteile (Blätter und Nadeln) der Trocknungsprozess beschleunigt, wenn begrüntes Holz im Wald vorgetrocknet wird. Grünanteile im fertigen Hackgut fördern dagegen oft den biologischen Abbau und tragen so zu höheren Verlusten im Brennstoff bei. Ideal ist das Hacken von trockenem Energieholz möglichst kurz vor der Verwendung. Zum Schutz vor Feuchtigkeit sollten die fertigen Hackschnitzel unter Dach oder abgedeckt gelagert werden [2].

Qualität von Hackschnitzeln

- Wassergehalt maximal 35 %
- scharfkantige Form (keine zertrümmerten Hackschnitzel)
- wenig übergroße oder sehr kleine Holzteilchen
- geringer Grünanteil (Laub, Nadeln)
- niedriger Feinanteil (Erde, Sand)



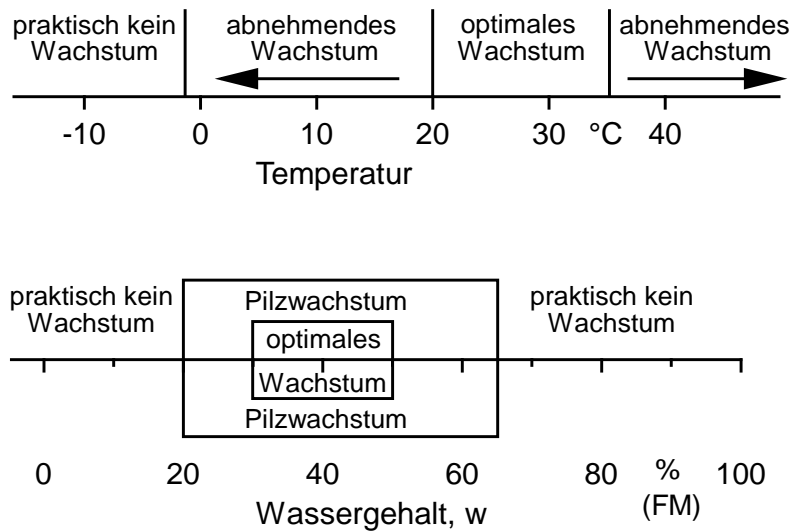
Buche, 80 x 80 mm Siebkorb

Abbildung 16: Qualitätsmerkmale von Holzhackschnitzeln

Scharfe Hackwerkzeuge ermöglichen saubere Schnittflächen mit geringer Faser- oder Rindenbeschädigung. Dadurch wird die spezifische Oberfläche der Hackschnitzel verringert und sie sind widerstandsfähiger gegenüber dem biologischen Abbau. Ihre Rieselfähigkeit ist ausgeprägter und es kommt weniger zur Bildung von sogenannten Brücken [8]. Diese Brücken entstehen über Hohlräumen, die sich durch den Hackschnitzelaustrag oberhalb des Rührwerks bilden, wenn keine Hackschnitzel nachrutschen. Ausgefaserte, geschredderte Hackschnitzel verhaken sich dagegen leichter ineinander, sodass es eher zur Brückenbildung kommen kann. Im Extremfall müssen die Hackschnitzel manuell wieder in Bewegung gesetzt werden. Auch ein hoher Staub-, Grün- oder Feinanteil beeinträchtigt die Rieselfähigkeit. Anhaftende Erde oder Steine stören zudem die Verbrennung und können die Tendenz zur Schlackebildung erhöhen. Daher sollte schon bei der Beschaffung oder Gewinnung im Wald darauf geachtet werden, möglichst sauberes Rohmaterial für die Hackguterzeugung bereitzustellen.

Wird das Holz mit stumpfen Messern eher gerissen als geschnitten, so kommt es zu einem erhöhten Anteil an Übergrößen, die oft Ursache für Blockaden in den Transportschnecken sind und zu höheren Geräuschbelastigungen führen können.

Temperatur- und Wassergehaltsansprüche holzabbauender Pilze



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 18

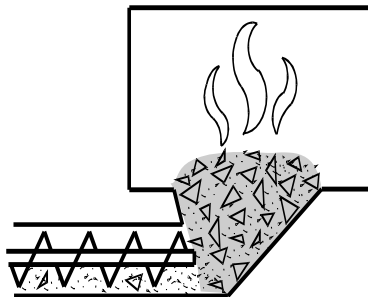


Abbildung 17: Einfluss von Temperatur und Wassergehalt auf den biologischen Abbau von Holzhackschnitzeln

Frisch geschlagenes Holz mit einem Wassergehalt von etwa 45 bis 60 % bietet Fäule- und Schimmelpilzen einen guten Nährboden. Infolge von Pilzwachstum und bakterieller Aktivität kommt es zu einem Abbau von Trockenmasse, d. h. zu Verlusten an brennbarer organischer Substanz [7]. Erst bei einem Wassergehalt unter 30 % hört das Pilzwachstum allmählich auf. Ab einem Wassergehalt von weniger als 20 % findet praktisch kein Pilzwachstum mehr statt. Neben den Trockenmasseverlusten ist das Pilzwachstum auch wegen der Gesundheitsgefährdung durch freigesetzte Pilzsporen von Bedeutung. Optimale Bedingungen finden Pilze bei Wassergehalten zwischen 30 und 50 % und bei Temperaturen zwischen 20 und 35 °C.

Verbrennungsprinzipien bei Hackschnitzelfeuerungen (1)

Unterschubfeuerung



Vorteile:

- langsames Nachschieben der Hackschnitzel ⇒ stört Glutbett nur wenig
- oft einfache, robust aufgebaute Anlagen ⇒ zuverlässig, wartungsarm
- geringe Masse der Blechkonstruktion ⇒ wenig Trägheit, wenig Nachwärme, kurze Aufheizzeiten
- Asche wird durch nachschiebende Hackschnitzel in die Aschelade geschoben ⇒ einfache Entaschung, keine mechanischen Entaschungseinrichtungen im heißen Glutbett

Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 19



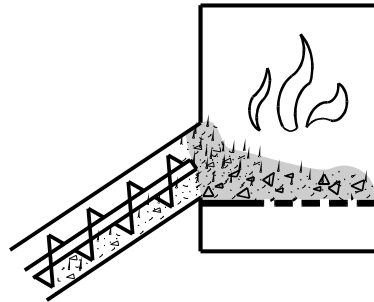
Abbildung 18: Unterschubfeuerung bei der Verbrennung von Hackschnitzeln

Bei der Unterschubfeuerung wird der Brennstoff mit einer Förderschnecke von unten nach oben in die Feuermulde (Retorte) eingeschoben. Dort erfolgen Trocknung, pyrolytische Zersetzung (Zersetzung unter Wärmeeinwirkung und Sauerstoffmangel) und Vergasung des Brennstoffs sowie der Abbrand der Holzkohle. Dieses Prinzip ermöglicht einen einfachen, robusten Aufbau der Feuerungen, die zuverlässig und wartungsarm betrieben werden können.

Durch geringe Massen der Blechkonstruktion haben die Anlagen kurze Aufheizzeiten, sind flexibel und erzeugen wenig Nachwärme, wenn die Anlagen abgeschaltet werden. Das Glutbett wird durch das langsame Nachschieben des Brennstoffs von unten nur wenig gestört. Die Asche wird einfach über den Rand des Brenntellers geschoben und kann ohne weitere Hilfsmittel in den Aschekasten fallen. Dadurch sind keine zusätzlichen mechanischen Entaschungseinrichtungen im heißen Glutbett erforderlich. Dies ist vorteilhaft, da die Stahlteile in der Verbrennungszone (Brennteller, Flammrohr) bei hohen Temperaturen einem hohen Verschleiß unterliegen. Die Hackschnitzel im Fördersystem stehen jedoch bauartbedingt immer direkt in Verbindung mit der Glutzone. Ein Abstellen der Anlage hat damit stets ein längeres Nachschwelen des Brennstoffs, verbunden mit hohen Schadstoffemissionen zur Folge.

Verbrennungsprinzipien bei Hackschnitzelfeuerungen (2)

Quereinschubfeuerung



Vorteile:

- kompakter Aufbau der Feuerungsanlage möglich
- Brennstoffaufgabe mit geringem Kraftaufwand ⇒ geringe Brennstoffverdichtung
- einfache Füllstandsmessung möglich (meist über Niveaufühler)
- Hochtemperatur-Brennkammer mit Querschnittsverengung ⇒ hohe Temperaturen und Wirkungsgrade bei niedrigen Emissionen

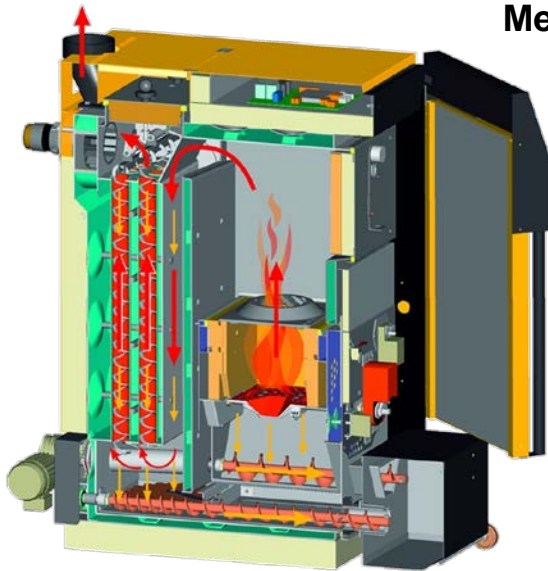
Abbildung 19: Quereinschubfeuerung bei der Verbrennung von Hackschnitzeln

Bei der Quereinschubfeuerung werden die Hackschnitzel mit einer Förderschnecke (Stokerschnecke) von der Seite oder schräg von unten in den Feuerraum eingeschoben, der mit oder ohne Rost ausgeführt sein kann. Dort erfolgt die pyrolytische Zersetzung und Vergasung des Brennstoffs sowie die Oxidation (Verbrennung) der Holzkohle. Bei den Rostfeuerungen gibt es sowohl starre Rostsysteme (Planroste, Treppenroste) als auch bewegte Rostsysteme (Vorschub-, Walzen- oder Drehroste). Allen gemeinsam ist eine zweistufige Verbrennung, bei der die Oxidation der Brenngase in einer Nachbrennkammer stattfindet.

Durch den seitlichen Einschub in den Brennraum erfolgt die Brennstoffaufgabe mit geringem Kraftaufwand bei geringer Brennstoffverdichtung. Die Hackschnitzel werden von der Verbrennungsluft gut durchlüftet und der Füllstand des Brennstoffs lässt sich über einfache Niveaufühler oder mittels Lichtschranke leicht erfassen. Die Konstruktion der heißen Brennkammer mit Querschnittsverengung zum Flammraum sorgt für eine gute Durchmischung der Brenngase mit der Verbrennungsluft. Dadurch werden hohe Wirkungsgrade bei besonders niedrigen Emissionen erreicht. Dies führt jedoch aufgrund der großen Speichermassen zu einem trägeren System und höheren Wärmeverlusten. Das Glutbett ist meist nicht homogen, sondern es besteht gleichzeitig aus unverbrannten, angekohlten und glühenden Hackschnitzeln. Damit ist eine gleichbleibende Gasaufbereitung über den gesamten Feuerraumquerschnitt nur schwer möglich. Die Hackschnitzel im Fördersystem stehen zudem immer direkt in Verbindung mit der Glutzone. Wenn die

Anlage abgestellt wird, schwelt der Brennstoff in der Fördereinrichtung nach und es kommt zu hohen Schadstoffemissionen.

Hackgut-Quereinschub-Rostfeuerung mit Kipprost



System: ETA HACK

Reisinger
P 15 E Br 010 Folie 21

Merkmale moderner Hackgutkessel:

- Leistungsregelung und abgasgeführte Verbrennungsregelung
- vollautomatische Reinigung der Wärmetauscher mit Wirbulatoren
- Lastvariabilität von ca. 30 bis 100 % (unterhalb 30 % Ein-Aus-Betrieb mit automatischer Zündung)
- vollautomatische Reinigung des Verbrennungsrostes
- automatischer Ascheaustrag
- Durchschnittlicher Wirkungsgrad bei Typprüfungen: 92 %
- Pufferspeicher: 20 l/kW Nennwärmeleistung



Abbildung 20: Merkmale moderner Hackgutkessel

Hackschnitzelfeuerungen sind weitgehend automatisiert. Die Brennstoffzufuhr, die Zündung und der Ascheaustrag sind vollautomatisch. Damit ist der Bedienungsaufwand im Normalbetrieb nur sehr gering. Auch die Reinigung der Wärmetauscher und des Verbrennungsrostes werden oft automatisch ausgeführt. Die Ablagerungen aus dem Wärmetauscher werden meistens mit der Asche in der Aschebox entsorgt. Moderne Hackschnitzelkessel zeichnen sich ferner durch eine massive Bauweise, einen hohen Wirkungsgrad in den Typprüfungen von durchschnittlich 92 % und durch niedrige Schadstoffemissionen aus (Abbildung 20).

Moderne Hackschnitzelkessel arbeiten leistungsangepasst (modulierend) und sind über einen weiten Bereich teillastfähig bis etwa 30 % der Nennwärmeleistung. Hierzu müssen sie zumindest über eine Leistungsregelung verfügen, wobei die Qualität der Verbrennung durch eine zusätzliche abgasgeführte Verbrennungsregelung optimiert werden sollte. Die Leistungsregelung erlaubt einen automatischen Betrieb mit mehreren vorgegebenen Laststufen oder einen annähernd stufenlosen Betrieb. Dabei wird in Abhängigkeit von der Kesselleistung die Brennstoff- und die Verbrennungsluftzufuhr variiert. Eine Verbrennungsluftregelung ermöglicht eine hohe Ausbrandqualität und einen hohen Wirkungsgrad. Wesentlich ist dabei die Einstellung eines optimalen Brennstoff/Luft-

Verhältnisses. Im Verlauf der Verbrennung können sich die Bedingungen in der Brennkammer ändern, beispielsweise die Brennstoffeigenschaften (Schüttdichte, Wassergehalt, Holzart) oder Temperatur. Diese können mit einer elektronischen Regelung ausgeglichen werden. Sonden messen die Abgaszusammensetzung und liefern die Informationen für die Zufuhr von Primär- und Sekundärluft. Auf diese Weise regelt die Feuerung sich kontinuierlich selbsttätig, wodurch eine optimierte Verbrennung ermöglicht wird. Bei Einsatz von technisch getrocknetem Holz muss ggf. die Einstellung geändert werden. Eine Rücksprache mit dem Hersteller wird empfohlen. Bei einer Leistungsanforderung unter der Modulationsgrenze von etwa 30 % der Nennwärmeleistung takten die Anlagen meist im Ein-Aus-Betrieb, wobei der Brennstoff vollautomatisch über ein Heißluftgebläse oder einen Elektrolühstab entzündet wird.

Transport von Holzhackgut

Die meisten Probleme bei Hackschnitzelheizungen treten beim Transport auf, darum:

- Hackgutbunker nicht für den gesamten Jahresbrennstoffbedarf dimensionieren, besser den kesselnahen Bunker öfter nachfüllen
- Jahreshackgutbedarf: ca. 1,6 – 3 m³/kW

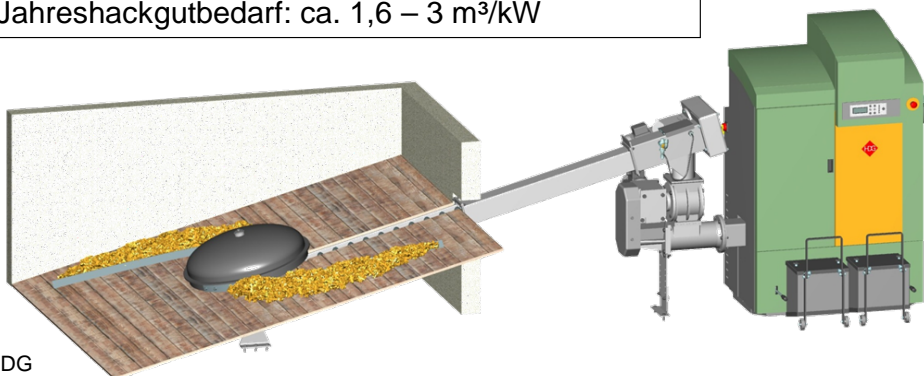


Bild: HDG

Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 22



Abbildung 21: Anlagendesign für kleine Hackschnitzelheizungen

Der Austrag der Hackschnitzel aus dem Bunker erfolgt meistens mit einem Rührwerk in Form eines Federkern- oder eines Gelenkarmaustragsystems. Diese Systeme haben den Nachteil, dass durch die runde Bauweise eine vollständige Entleerung des meist eckigen Lagerbunkers nicht möglich ist. Dafür sind diese Systeme deutlich kostengünstiger als Schubboden- oder Kolbenbeschickungssysteme. Sowohl Federkern- als auch Gelenkarmaustragsysteme eignen sich für den Raumaustrag von Holzhackschnitzeln bis zu einer Bunker-Füllhöhe von etwa fünf Metern. Für höhere Füllhöhen oder größere Bunkerdurchmesser werden verstärkte Ausführungen angeboten. Kolbenbeschickungs-

systeme, die auch für die Beschickung größerer Hackgutsortimente geeignet sind, werden aufgrund der höheren Investitionskosten eher selten eingesetzt. Schubbodenaus-
tragssysteme werden vorwiegend bei großen Biomasseheizwerken eingesetzt.

Um Förderunterbrechungen durch Brückenbildung zu vermeiden, ist ein möglichst großer Entnahmequerschnitt anzustreben. Im Falle einer Hohlraumbildung entspannt sich das Blattfederpaar am Siloboden und breitet sich während der Rührarbeit nach außen hin aus. Dadurch werden auch weiter außen liegende Brennstoffschichten gelockert und ausgetragen, bis die hohl liegende Schüttung von oben nachrutscht [7].

Störungen an einer Hackschnitzelheizung werden selten durch die eigentliche Feuerungsanlage verursacht, meist liegt die Ursache der Störung am Brennstoff oder an dessen Raumaustrag aus dem Lagerbunker. Dies könnte daran liegen, dass sich in den Hackschnitzeln Fremdkörper oder Verunreinigungen wie beispielsweise Steine befinden, die Blockaden hervorrufen. Werden Hackschnitzel zu lange gelagert, können sie sich sehr stark verdichten und es kann zur Brückenbildung im Bunker kommen [8]. Dabei rutschen die Hackschnitzel nicht mehr automatisch nach und das Rührwerk kann den Brennstoff nicht mehr erreichen. Die Gefahr der Brückenbildung ist umso größer, je feuchter die Hackschnitzel sind und umso mehr Überlängen enthalten sind. Außerdem steigt mit einer großen Füllhöhe im Bunker die Gewichtsbelastung des Rührwerks und erhöht somit die Gefahr von Federbruch am Rührwerk.

Bei der Dimensionierung des Hackgutbunkers sollte auch die Häufigkeit der Lagerbefüllung pro Jahr berücksichtigt werden. Während bei Kleinanlagen bis etwa 25 kW Nennwärmeleistung der Lagerraum auf den gesamten Jahresbedarf dimensioniert werden kann, ist bei größeren Anlagen eine mehrmalige Befüllung des Lagerraums sinnvoll. Bei einem jährlichen Brennstoffbedarf zwischen 1,6 m³/kW (trockene Buchenhackschnitzel) und 3 m³/kW (feuchtere Fichtenhackschnitzel) könnte der Hackschnitzelbunker bei 10-maligem Nachfüllen pro Jahr mit einem tatsächlich nutzbaren Lagervolumen von etwa 0,3 m³/kW (Beispielwert) sinnvoll bemessen sein.

Befüllung eines Hackgutbunkers

Manuelles Befüllen mittels
Frontlader bzw. Anhänger



Anschlusskupplung
Ø 150 mm für Hackgut

Einblastetechnik mittels
Hackschnitzelpumpwagen



Entfernung max. 25 m
Höhe max. 7 m



Bilder: KWB; Vilsmeier

Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 23



Abbildung 22: Systeme zur Befüllung eines Hackgutbunkers

Zur Befüllung des kesselnahen Bunkers werden die Hackschnitzel zum Beispiel mit einem Radlader oder einem Frontlader aus einem Flachlager entnommen oder in einem Container geliefert. Durch das Umfüllen werden die Hackschnitzel wieder aufgelockert. Es sollte daher in jedem Fall darauf geachtet werden, dass für Lieferanten oder Traktoren mit Anhängern eine einfache und gut ausgeführte Zufahrtsmöglichkeit zum Bunker besteht; und dies auch im Winter.

Gelegentlich wird eine Zulieferung von Hackschnitzeln mittels Anhängern mit Druckluftausstattung angeboten. Diese Anhänger können an jeden mittelgroßen Traktor angeschlossen werden. Über einen Förderschlauch mit 150 mm Durchmesser werden die Hackschnitzel bis zu einer Entfernung von etwa 25 Metern direkt in den Bunker eingeblasen, wobei Höhenunterschiede bis zu sieben Meter überbrückt werden können. Über einen weiteren Schlauch wird der Staub im Lagerraum abgesaugt. Das dazu erforderliche Absauggebläse ist direkt am Anhänger montiert (Abbildung 22, rechts). Eine derartige Form des Einbringens von Hackschnitzeln ist zwar mit etwas höheren Brennstoffkosten verbunden, allerdings garantiert der Lieferant in der Regel auch für eine hohe Brennstoffqualität.

4.3 Holzpelletfeuerungen

Holzpellets



Steckbrief Holzpellets:

- ❖ gepresste Sägespäne
- ❖ Durchmesser ca. 6 mm
- ❖ Schüttdichte > 600 kg/m³
- ❖ Energieinhalt ca. 4,6 kWh/kg
- ❖ Wassergehalt bis 10 %
- ❖ Aschegehalt maximal 0,7 m-% wasserfrei
- ❖ normgerecht nach ISO 17225-2 (EN 14961-2, DIN 51731 oder ÖNORM M7135)

Reisinger
P 15 E Bf 010 Folie 24



Abbildung 23: Steckbrief Holzpellets

Für die Beheizung von Ein- oder Mehrfamilienhäusern kommen in zunehmenden Maß moderne Pellet-Zentralheizungen als umweltfreundliche Alternative zu Öl- oder Gasheizungen zum Einsatz. Das liegt nicht zuletzt daran, dass Holzpellets von allen Holzbrennstoffen die günstigsten Materialeigenschaften haben. Pellets sind mit einem Wassergehalt unter 10 % ein sehr trockener Brennstoff mit einem geringen Ascheanteil von unter 0,7 % (ISO 17225-2). Mit der internationalen Norm ISO 17225-2 wurden die Vorgängernormen, die europäische Norm DIN EN 14961-2, die DIN 51731 und die ÖNORM M 7135, ersetzt. Dies hat dazu geführt, dass neben dem bisherigen Zertifikat DIN_{plus} der DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH das neue Zertifizierungsprogramm EN_{plus} in Anlehnung an die neue Norm durch das Deutsche Pelletinstitut eingeführt wurde. Im Zertifikat DIN_{plus} sind die nationalen Qualitätsanforderungen der deutschen DIN 51731 und österreichischen ÖNORM M 7135 vereint. Das Zertifikat EN_{plus} erfüllt mit seinen Auflagen nicht nur die neue EU-Norm, sondern übertrifft diese in vielen Punkten. Das neue Qualitätssiegel sorgt so für möglichst geringe Emissionen und ein störungsfreies Heizen bei gleichzeitig hohem Brennwert. Damit wird Pelletkäufern auf Basis von Kontrollen beim Pellethersteller sowie Analysen von Holzpelletproben die Einhaltung der Normen und weitergehender Qualitätsanforderungen von neutraler Stelle bestätigt.

Merkmale von Pellets mit guter Qualität



Gute Pellets haben

- ENplus (DINplus)-Qualität
- glatte Oberfläche
- glänzende Oberfläche
- keine Längsrisse
- wenig Staubanteil
- relativ einheitliche Stückgröße (Länge 5 bis 40 mm)

Abbildung 24: Merkmale von Pellets mit guter Qualität

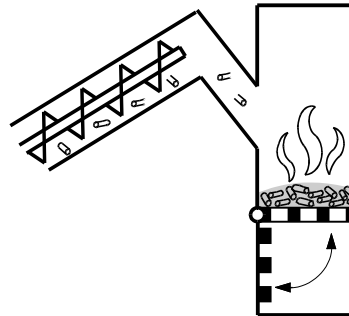
Holzpellets sind genormte, zylindrische Presslinge aus getrocknetem, naturbelassenem Holz. In Deutschland und in Österreich haben Pellets meistens einen Durchmesser von 6 mm und eine Länge von 20 bis 50 mm. Sie werden überwiegend aus Sägeabfällen hergestellt. Die Schüttdichte beträgt mehr als 600 kg/m³ und ist damit etwa dreimal so hoch wie für trockene Holzhackschnitzel. Die Herstellung erfolgt unter hohem Druck ohne Zugabe von chemischen Bindemitteln. Der Heizwert liegt bei etwa 4,6 kWh/kg. Damit entspricht der Energieinhalt von einem Kilogramm Pellets fast dem von einem halben Liter Heizöl.

Pelletheizungen sind ausschließlich für die Verbrennung von qualitativ hochwertigen Pellets nach ISO 17225-2 geeignet. Auch optisch kann man gute Pellets erkennen. Die Pellets sollten frei von Fremdbestandteilen und die Oberfläche glatt und glänzend sein. Ein weiteres Qualitätsmerkmal sind möglichst wenig Längs- und Querrisse in den Pellets, ein geringer Staubanteil (auch im Lagerraum) sowie eine relativ einheitliche Stückgröße zwischen 5 und 40 mm.

Für eventuelle Reklamationsfälle sollte von jeder Lieferung eine Probe aufbewahrt werden. Diese kann bei Bedarf einer neutralen Prüfeinrichtung oder dem Hersteller der Pelletheizung zur Analyse zur Verfügung gestellt werden. Heizungshersteller lehnen unter Umständen Garantie- oder Gewährleistungsansprüche ab, wenn Anlagenstörungen auf den Einsatz von ungeeigneten, minderwertigen Brennmaterial zurückzuführen sind.

Verbrennungsprinzipien bei Pelletfeuerungen

Abwurfheizung



Vorteile:

- Abwurfschacht dient als einfache Rückbrandsicherung
- Pellets stehen nicht direkt in Verbindung mit der Glutzone ⇒ schnelles und emissionsarmes Abstellen der Anlage möglich
- kleines Glutbett ⇒ Verbrennung gut regelbar

Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 26



Abbildung 25: Abwurfheizung bei der Verbrennung von Holzpellets

Neben Unterschub- und Quereinschubfeuerungen, die bei den Hackschnitzelheizungen bereits eingehend beschrieben wurden (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19), kommen bei der Verbrennung von Holzpellets auch Abwurfheizungen (Abbildung 25) zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um ein speziell für den Brennstoff Holzpellets entwickeltes Feuerungssystem.

Bei der Abwurfheizung werden die Pellets von einer Transportschnecke zu einem Fallschacht geführt und durch diesen auf das Brennstoffbett abgeworfen. Der Fallschacht dient hierbei bereits als einfache Form der Rückbrandsicherung. Die Pellets verbrennen entweder auf einem Rost, in einer Schale (Schalenbrenner) oder in einem Tunnel (Tunnelbrenner). Der Rost wird dabei häufig als Kipp- oder Drehrost ausgeführt, um eine automatische Entaschung zu ermöglichen. Durch den Fallschacht stehen die Pellets in der Förderschnecke nicht in Verbindung mit der heißen Glutzone, wodurch sie beim Abschalten der Anlage auch nicht nachglimmen können. Dadurch ist ein schnelles und emissionsarmes Abstellen der Anlage möglich und die Verbrennung ist – auch wegen des kleinen Glutbetts – gut regelbar. Durch das Aufgeben von Brennstoff von oben wird das Glutbett jedoch stärker gestört, als dies beispielsweise bei einer Unterschubbeschickung der Fall ist. Ferner ist bei der Abwurfheizung eine Füllstandsüberwachung in einfacher Form nicht möglich und es besteht die Gefahr, dass Feinteile (Staub) im Brennstoff gar nicht in die Glutzone gelangen, sondern mit dem Strom der Brenngase mitgeris-

sen werden, ohne vollständig auszubrennen. Dies kann den Ascheanfall oder den Feinstaubanteil im Abgas erhöhen.

Pellet-Abwurfheizung



Quelle: Windhager

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 27



Merkmale moderner Pelletkessel:

- Komfort ähnlich Öl- oder Gasheizung
- Leistungsregelung und abgasgeführte Verbrennungsregelung
- vollautomatische Reinigung der Wärmetauscher mittels Wirbulatoren
- Lastvariabilität von ca. 30 bis 100 % (unterhalb 30 % Ein-Aus-Betrieb mit automatischer Zündung)
- vollautomatische Reinigung des Verbrennungsrostes
- automatischer Ascheaustrag
- Durchschnittlicher Wirkungsgrad bei der Typprüfung: 92 %
- Pufferspeicher: 20 l/kW Kesselleistung

Abbildung 26: Merkmale moderner Pelletkessel

Moderne Holzpelletfeuerungen bieten einen ähnlich hohen Komfort wie Öl- oder Gasheizungen. Die leistungsangepasste Versorgung des Pelletkessels mit Brennstoff funktioniert ebenso vollautomatisch wie dessen Zündung. Ferner arbeiten Pelletanlagen modulierend und sind teillastfähig im Bereich zwischen 30 und 100 % der Nennwärmeleistung. Im Vergleich zu einer Ölheizung stellt lediglich die Entleerung der Aschelade, die je nach Hersteller im Abstand zwischen zwei Wochen und mehreren Monaten erfolgen muss, einen zusätzlichen Arbeitsaufwand dar. Diese Zyklen lassen sich durch einen automatischen Ascheaustrag aus dem Kesselkörper in eine Aschebox sowie durch Einrichtungen zur Verdichtung der Asche in der Aschelade verlängern. Dadurch reduziert sich der Bedienungsaufwand nochmals. Wie bereits bei den Hackschnitzelkesseln beschrieben verfügen auch die Pelletkessel zumindest über eine Leistungsregelung, wobei diese in den meisten Fällen auch hier zusätzlich durch eine abgasgeführte Verbrennungsregelung optimiert wird. Eine vollautomatische Reinigung des Wärmetauschers und des Verbrennungsrosts zeichnen ebenso wie eine automatische Zündung der Pellets einen modernen Pelletkessel aus (Abbildung 26). Auch sind die Schadstoffemissionen bei Pelletfeuerungen oft besonders niedrig. Trotzdem sollten Umweltaspekte wie niedrige Staub- und

Schadstoffemissionen bei der Wahl des passenden Pelletkessels nicht unberücksichtigt bleiben.

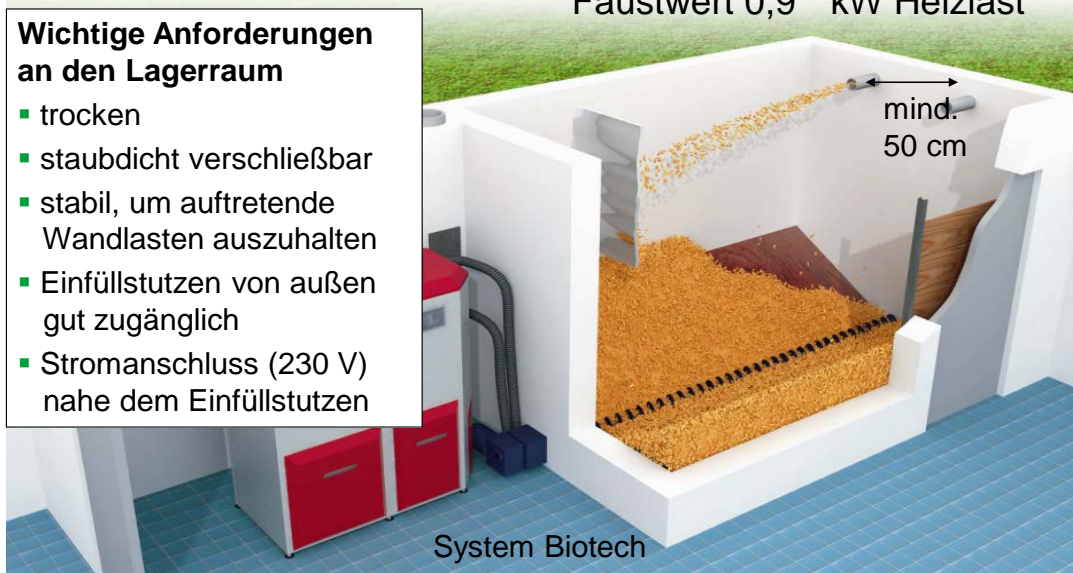
Lagerung und Raumaustrag von Holzpellets

Lagerraumgröße für den Jahres-Pelletbedarf in m³:

Faustwert $0,9 * \text{kW Heizlast}$

Wichtige Anforderungen an den Lagerraum

- trocken
- staubdicht verschließbar
- stabil, um auftretende Wandlasten auszuhalten
- Einfüllstutzen von außen gut zugänglich
- Stromanschluss (230 V) nahe dem Einfüllstutzen



Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 28



Abbildung 27: Installationsbeispiel einer Holzpelletheizung mit Raumaustrag

Anders als bei Hackschnitzeln ist der Raumaustrag von Pellets aus dem Pelletlageraum aufgrund der guten Rieselfähigkeit des Brennstoffs relativ problemlos und einfach möglich. Es genügt dafür lediglich ein Schrägboden oder Trichter mit etwa 40° Neigung, in den die Pellets nachrutschen können. Die Entnahme erfolgt dann entweder über Schnecken oder über eine oder mehrere Absaugsonden, die an einen Gebläseförderer (Saugsystem) angeschlossen sind.

Schneckenaustragssysteme sind kostengünstig, technisch einfach, robust und können bis zu einer Entfernung von zehn Metern zwischen Lagerraum und Kessel eingesetzt werden. Der Nachteil liegt in der geringeren Flexibilität (bei nicht direkt benachbarter Lage von Pelletlager und Heizraum) und in den höheren Raumverlusten. Beim Raumaustrag übergibt die Lagerraumschnecke die ausgetragenen Pellets über eine Rückbrandsicherung an die Stokerschnecke, welche die Pellets in den Feuerraum schiebt.

Saugaustragungssysteme sind pneumatische Entnahmesysteme, bei denen die Pellets mithilfe eines Luftstroms gefördert werden. Diese Systeme arbeiten mit einem Zwischenvorratsbehälter am Kessel, der in der Regel täglich befüllt wird. Dadurch ist ein Betrieb des Saugsystems nur zeitweise erforderlich (Betriebsdauer wenige Minuten pro Tag).

Die Beschickung der Stokerschnecke erfolgt aus dem Vorratsbehälter über eine Rückbrandsicherung. Saugsysteme sind universell einsetzbar und können auch bei komplizierten Einbauverhältnissen und Entfernungen bis zu 20 Metern zwischen Lagerraum und Heizkessel eingesetzt werden.

Die Größe des Pelletlagerraums sollte dem Jahresheizenergiebedarf angepasst sein und mindestens den Jahresbedarf an Holzpellets aufnehmen können. Als Berechnungsgrundlage dient hierbei die Heizlast, die vom Planer, Energieberater oder Heizungsinstalleur ermittelt werden kann. Das benötigte Lagervolumen in Kubikmetern (inklusive Leerraum) für den Jahresbedarf an Pellets kann überschlägig durch Multiplikation des Heizleistungsbedarfs mit 0,9 ermittelt werden.

Für die Lagerung von Pellets gibt es mehrere Alternativen. Möglich sind ein als Pelletlager ausgebauter Kellerraum (Abbildung 27), ein unterirdischer Erdtank oder auch Silos aus Metall, Kunststoff (GFK) oder Stoffgewebe, die im Keller oder mit Regenwasserschutz auch außerhalb des Hauses aufgestellt werden können. Die Pellets werden mit Überdruck in den Lagerraum eingeblasen. Um eine Beschädigung des Mauerwerks und der Pellets zu verhindern, muss auf der dem Befüllstutzen gegenüberliegenden Seite des Lagerraums eine Prallmatte (Gummimatte) senkrecht im Abstand von etwa fünf Zentimetern zur Wand angebracht werden. Die wichtigste Anforderung an den Lagerraum ist, dass dieser trocken und staubdicht auszuführen ist. Nur durch trockene Lagerbedingungen kann der Wassergehalt der Pellets dauerhaft unter 10 % gehalten werden. Außerdem können aufgequollene Pellets zu einer Verstopfung der Austrags- bzw. Förder-systeme führen. Ein staubdichter Abschluss des Raums verhindert eine mögliche Staubausbreitung im Gebäude während der Befüllung [5].

Pelletslogistik - Anlieferung



Bilder: Guntamatic

Reisinger
P 15 E Br 010

Folie 29



Abbildung 28: Anlieferung und Einblasen von Holzpellets

Der Komfort bei der Nutzung von Holzpellets beginnt bereits bei deren Anlieferung. Pellets werden – ähnlich wie der Brennstoff Heizöl – über Pumpwagen (am besten mit Niederdrucksystem) angeliefert und über einen Luftstrom in den Lagerraum gefördert. Die Länge der Förderschläuche vom Tankwagen zum Lagerraum sollte im Hinblick auf die Pelletqualität im Lagerraum maximal 25 bis 30 Meter betragen. Daher sollten die Einblas- und Abluftrohre des Pelletlagerraums in einer maximalen Entfernung von 25 Metern zur Hauseinfahrt bzw. zum mit Lkw befahrbaren Hofplatz sein. Zu beachten ist dabei auch, dass die Anfahrtswege für Schwerlastfahrzeuge geeignet sein müssen. Typische Pumpwagen haben eine Länge von etwa 10 Metern, eine Breite von etwa 2,6 Metern und eine Höhe von etwa 3,4 Metern bei einem Gesamtgewicht von 10 bis 18 Tonnen (Abbildung 28).

Parallel zum Einblasen der Pellets wird Luft aus dem Lagerraum abgesaugt und durch einen Staubsack gepumpt. Damit kann die Staubbelastung beim Einblasen der Pellets gering gehalten werden. Zum Anschluss des Absauggebläses sollte eine Steckdose (230 V) außen am Haus direkt neben den Füll- bzw. Absaugstutzen angebracht sein. Aus sicherheitstechnischen Gründen (Gefahr von Rückbrand von der Anlage in den Pelletlagerraum) ist die Heizungsanlage mindestens drei Stunden vor dem Befüllen des Lagerraums auszuschalten.

4.4 Stroh-, Miscanthus- und Getreidefeuerungen

Stroh, Miscanthus oder Getreide als Brennstoff ?



Reisinger, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 30



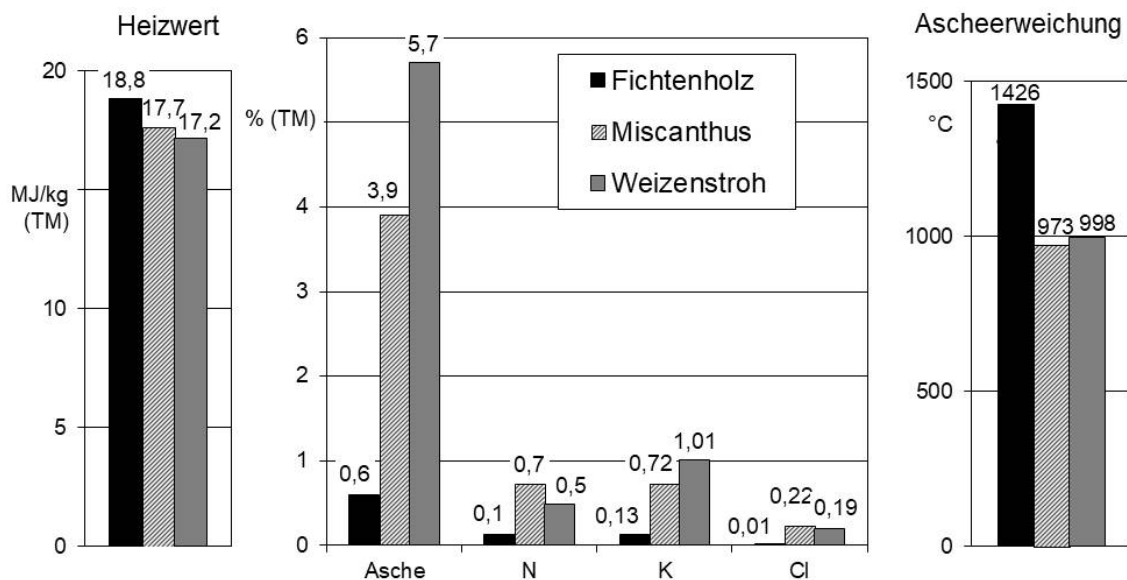
Abbildung 29: Stroh- oder Getreidebrennstoffe

Stroh oder Heu stellen ein weiteres Brennstoffpotenzial dar, das bislang jedoch nahezu ungenutzt ist. Mit dem Ziel, einen kostengünstigen Brennstoffersatz für die relativ teuren Holzpellets zu verwenden, wird seit geraumer Zeit auch die verstärkte Nutzung dieser Brennstoffe angestrebt. Hierzu gehört auch die Verwendung von Getreide als Festbrennstoff, sofern es nicht als Lebensmittel verwendet werden kann. Die Verbrennung von solchen Agrarbrennstoffen ist in herkömmlichen Holzfeuerstätten kaum möglich. Nur speziell ausgerüstete und auf diesen Brennstoff umgestellte Anlagen können eine hinreichend effiziente und emissionsarme Verbrennung ermöglichen. Zudem ist ihre Verwendung an rechtliche Anforderungen gekoppelt (Abbildung 37).

Neben der Nutzung von Nebenprodukten werden bereits verschiedene Produktionsverfahren für den Anbau spezieller Energiepflanzen, wie beispielsweise Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*), erprobt und zum Teil auch durch Pilotvorhaben getestet. Miscanthus ist mehrjährig und kann jährlich geerntet werden [18]. Die Ernte beginnt oft im Februar und kann noch erfolgen, wenn der Wiederaustrieb schon beginnt, wobei sich der Erntezeitpunkt nach dem Wassergehalt richtet. Bei einem Wassergehalt des Ernteguts unter 15 % ist eine uneingeschränkte Lagerfähigkeit gegeben. Die Produktionskosten und -risiken sind aber immer noch sehr hoch, auch weil bislang noch kein etablierter Markt existiert. Betriebe, die Miscanthus zur energetischen Nutzung erzeugen, verbrauchen

chen den Brennstoff überwiegend selbst. Zulassungen für neu errichtete Anlagen wurden nach 2010 nach aktuellem Kenntnisstand bislang nicht erteilt, da erst die entsprechenden Voraussetzungen geschaffen werden mussten. Da die Spezifikationen für die Prüfbrennstoffe nun festgelegt wurden, ist davon auszugehen, dass es in der näheren Zukunft Typprüfungen mit den Prüfbrennstoffen geben wird und bald auch in neuen Anlagen Agrarbrennstoffe eingesetzt werden dürfen.

Kritische Inhaltsstoffe in Agrarbrennstoffen



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 31



Abbildung 30: Kritische Inhaltsstoffe in Agrarbrennstoffen

Feuerungen, die für (schüttfähige) Halmgut- und Getreidebrennstoffe geeignet sind, können meist auch mit Holzpellets und zum Teil auch mit Holzhackschnitzeln betrieben werden. Umgekehrt ist dies jedoch nicht der Fall. Das liegt daran, dass landwirtschaftliche Festbrennstoffe wie Stroh, Gras, Ganzpflanzengetreide, Miscanthus oder Getreidekörner gegenüber Holzbrennstoffen einige Nachteile aufweisen, die einerseits eine aufwendigere und teurere Feuerungstechnik erforderlich machen und andererseits das Einhalten der derzeit gültigen Emissionsbegrenzungen erschweren.

Der Heizwert von sogenannten Agrarbrennstoffen ist zwar nur geringfügig niedriger als bei Holz, jedoch liegt der Aschegehalt oft um ein Vielfaches höher. Auch der Stickstoff-, Kalium- und Chlorgehalt ist bei Halmgut oder Getreidekörnern sehr oft deutlich höher im Vergleich zu Holz. Die genannten Stoffe sind nicht nur an der Bildung von Luftschadstoffen beteiligt, sondern sie führen in der Regel auch zu höherer Korrosion von Feuerraum- oder Wärmeübertragerflächen und zeigen eine verstärkte Tendenz zur Schlackebildung.

Die Feuerungskonstruktion und die Korrosionsbeständigkeit der Bauteile müssen auf diese Anforderung ausgelegt sein, was sich in höheren Kosten niederschlägt. Eine Verbrennung von Agrarbrennstoffen in Feuerstätten, die für den Betrieb mit naturbelassenem Holz ausgelegt sind, kann zu einer verkürzten Lebensdauer der Anlage und zu Problemen im Betrieb führen.

Moderne Verbrennungsanlagen, die auch für Agrarbrennstoffe geeignet sind, besitzen aufgrund des hohen Aschegehalts im Brennstoff eine besonders leistungsstarke automatische Entaschung. Hinzu kommt noch das Problem, dass die anfallenden Schlackebrocken bei ungünstigen Bedingungen zu einer Größe anwachsen können, die den Schneckenaustrag unmöglich macht und somit eine Störung auslöst. Weitere Röhreinrichtungen, z. B. Schneckenwelle mit Mitnehmer, können erforderlich sein.

Durch die oft deutlich höheren Chlor- und Kaliumgehalte im Brennstoff muss auch verstärkt auf die Korrosions- bzw. Verschleißbeständigkeit der Bauteile geachtet werden. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung von Edelstahl für den Wärmetauscher und Siliziumcarbid für die Feuerraumauskleidung geschehen, wobei bislang erst wenige Langzeiterfahrungen vorliegen.

Agrarbrennstoffe, die in automatisch beschickten Anlagen bis 100 kW Nennwärmeleistung eingesetzt werden, fallen unter die 1. BImSchV. Für größere Anlagen gelten die Bestimmungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft. Nach den Anforderungen der 1. BImSchV ist für die Zulassung eine Typprüfung mit speziellen Prüfbrennstoffen erforderlich. Typprüfungen mit Agrarbrennstoffen sind nach aktuellem Kenntnisstand noch nicht durchgeführt worden. Neuzulassungen für Zentralheizungsanlagen, die Agrarbrennstoffe einsetzen, sind seit Einführung der novellierten 1. BImSchV demnach auch noch nicht erfolgt. Dies gilt auch für Anlagen, die mit Brennstoffgemischen, die Agrarbrennstoffe enthalten, befeuert werden. In Altanlagen, die vor 2010 zugelassen wurden, ist bei entsprechender Genehmigung auch der Einsatz von Agrarbrennstoffen erlaubt.

Feuerstätten, die mit Stroh oder anderen halmgutähnlichen Brennstoffen beschickt werden, emittieren oft höhere Mengen an Staub. Die Emissionsgrenzwerte können mit diesen Brennstoffen oftmals nur durch den Einbau zusätzlicher Abgasreinigungseinrichtungen (Staubfilter) sicher erreicht werden. Dies gilt umso mehr, seit die zulässigen Emissionsgrenzwerte zum 1.1.2015 für neu errichtete Anlagen deutlich gesenkt wurden.

Mit Getreide als Brennstoff kann die mit Holzhackschnitzeln oder Holzpellets erreichbare Feuerungswärmeleistung nicht erreicht werden. In der Regel betragen die Leistungsabschläge 20 bis 40 %. Bei einem gegebenen Leistungsbedarf ist somit eine leistungsstärkere Feuerung einzubauen, wenn diese auch mit Getreide betrieben werden soll [7].

Schlacke



Miscanthusschlacke im Pelletkessel

Weizenstrohschlacke



Abbildung 31: Beispiele für Schlacke

Agrarbrennstoffe haben im Vergleich zu Holz niedrigere Ascheerweichungstemperaturen. Es kommt schon bei niedrigeren Temperaturen zu einer Verflüssigung der Asche, die beim Erkalten zu einer teils sehr harten Masse erstarrt und Ascheverbackungen und Anhaftungen in der Anlage bilden kann. Die typische Ascheerweichungstemperatur für Fichte liegt bei etwa 1400 °C. Miscanthus- und Strohasche kann schon unterhalb von 1000 °C beginnen flüssig zu werden. Die Asche von Getreide kann ab ca. 750 °C (Triticale) erweichen [10].

Technik der Energienutzung: Konzepte

1. Anpassung des Brennstoffs an die Feuerung
 - Verwendung von Zuschlagstoffen (z.B. Branntkalk, Kaolin)
 - Herstellung definierter Brennstoffmischungen (z.B. Hackschnitzel-Getreide-Gemisch)
2. Anpassung der Feuerung an den Brennstoff
 - Begrenzung der Verbrennungstemperaturen im Glutbett
 - kontinuierliches In-Bewegung-Halten von Brennstoff und Asche



Reisinger, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 33



Abbildung 32: Verbrennungsprinzipien für Halmgut- oder Getreidebrennstoffe

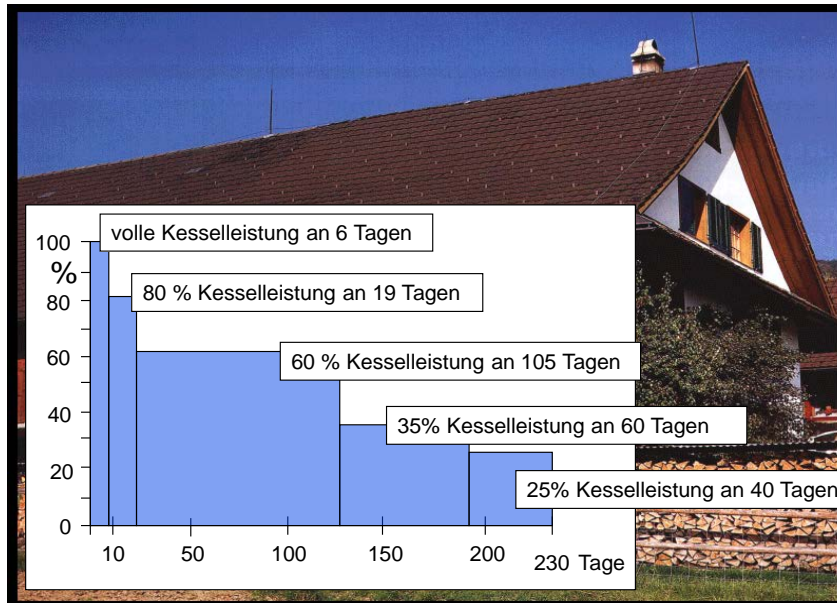
Bedingt durch die vorgenannten ungünstigen Brennstoffeigenschaften sind bei der Verbrennung von Agrarbiobrennstoffen eine Vielzahl von technischen Änderungen gegenüber der Verbrennung von Holzbrennstoffen notwendig. Hierbei werden zwei unterschiedliche Wege beschrrieben. Entweder kann der Brennstoff an die Feuerung angepasst werden oder die Feuerungstechnik wird speziell auf den Brennstoff zugeschnitten.

Eine Anpassung des Brennstoffs an die Feuerung kann durch die Verwendung von Zuschlagstoffen wie beispielsweise Branntkalk oder Kaolin erfolgen. Da die Zuschlagstoffe jedoch nicht brennbar sind, ist bei Zuschlagsmengen von 0,5 bis 2 % mit einer Aschemengensteigerung von 15 bis 60 % zu rechnen. Für eine gleichbleibende Dosierung werden derzeit noch kaum spezielle Geräte angeboten, sodass hierfür hauptsächlich Eigenbaulösungen zum Einsatz kommen. Alternativ kann eine Brennstoffmischung, z. B. 30 % Getreide und 70 % Hackschnitzel, verwendet werden.

Eine Anpassung der Feuerung an den Brennstoff kann entweder durch die Reduzierung der Verbrennungstemperaturen (Kühlung) im Glutbereich erreicht werden oder es werden der Brennstoff und die Asche kontinuierlich in Bewegung gehalten. Eine Abkühlung ist durch die Verwendung von wassergekühlten Glutbett- oder Brennraumoberflächen bzw. bei Großanlagen durch wassergekühlte Rostelemente zu erreichen. Auch ein kontinuierlich arbeitendes Schubsystem im Feuerraum kann Ascheerweichungsprobleme teilweise verhindern, indem einzelne Schlacketeilchen nicht an der Kesselwand festhaften können.

4.5 Dimensionierung und hydraulische Einbindung von Biomassefeuerungen

Kesselleistung in einem durchschnittlichen Heizjahr



Quelle: Energie aus Holz, 6. Auflage 1994

Reisinger
P 15 E BI 010
Folie 34



Abbildung 33: Durchschnittliche Auslastung der Heizkessel in Deutschland in einer Heizperiode

Die erforderliche Leistung des Wärmeerzeugers errechnet sich nach DIN EN 12831. Da die exakte Berechnung jedoch sehr zeitaufwendig ist, lässt sich die notwendige Heizleistung überschlägig in Watt pro Quadratmeter Wohnfläche (W/m^2) abschätzen. Diese Abschätzung ersetzt zwar nicht die exakte Berechnung, ist aber für die Klärung der ersten Fragen in der Planungsphase durchaus ausreichend. Die nach der Norm berechnete maximale Kesselleistung ist nur an wenigen Tagen im Jahr erforderlich, daher sollte eine sicherheitshalber erfolgte Überdimensionierung des Wärmeerzeugers, wie sie früher durchaus üblich war, keinesfalls vorgenommen werden. Abbildung 33 zeigt die Belastungsverteilung in einem durchschnittlichen Heizjahr. Demnach ist die volle Kesselleistung im Mittel nur an 6 Tagen in einem Normjahr erforderlich.

Eine qualitative Orientierung kann aus der Leistung einer gegebenenfalls vorhandenen Heizung abgeleitet werden. Hier liegen oft Erfahrungen vor, aus denen die Dimensionierung des neuen Kessels entnommen werden kann. Bei der Auslegung der Heizung sollten auch Sanierungen, wie z. B. die Dämmung der Kellerdecke, der Außenwände oder der Dachbodendecke oder auch der Austausch der Fenster und Türen, berücksichtigt werden. Nur gelegentlich genutzte Einzelraumfeuerungen, wie z. B. Kamin- oder Kachelöfen, dürfen hingegen nicht berücksichtigt werden.

Hydraulische Einbindung



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 35



Abbildung 34: Beispiel für ein Hydraulikschema mit Zentralheizungskessel und Solarkollektor

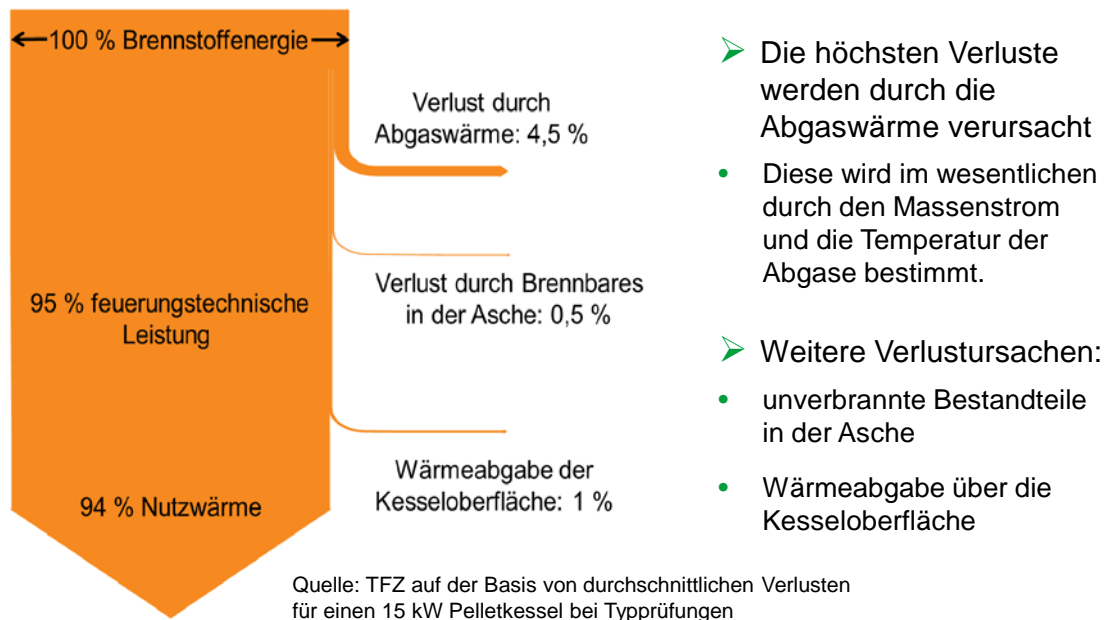
Scheitholzessel sind nur bedingt teillastfähig bis etwa 50 % der Nennwärmeleistung. Daher lässt sich bei diesen Kesseln die tatsächlich am Kessel erzeugte Wärmemenge nicht immer der momentan benötigten Wärmemenge anpassen. Trotzdem muss die gesamte während eines Abbrandvorgangs erzeugte Wärmemenge abgenommen werden. Aus diesem Grund ist der Einbau eines Pufferspeichers fast immer zwingend erforderlich und auch gesetzlich vorgeschrieben. Ferner erhöht ein großer Pufferspeicher den Bedienkomfort der Heizungsanlage, sodass selbst mehrere Stunden nach Ausbrand des Kessels die Wohnung mit dem Warmwasser des Pufferspeichers weiter beheizt werden kann. Die richtige Dimensionierung der Pufferspeicher ist bei handbeschickten Feuerungen von Faktoren wie der Größe des Brennstofffüllraums, der verwendeten Holzart, dem Leistungsbereich des Kessels, der wirksamen Temperaturdifferenz im Pufferspeicher und von Komfortansprüchen abhängig. Als Faustwert kann jedoch ein Volumen von 100 l/kW Kesselleistung angenommen werden.

Hackschnitzel- oder Pelletkessel sind meist teillastfähig bis etwa 30 % der Nennwärmeleistung. Darunter arbeiten diese Anlagen im Ein-Aus-Prinzip. Der Einbau eines Pufferspeichers ist aus feuerungstechnischer Sicht durch die relativ flexible Leistungsanpassung nicht zwingend erforderlich. Werden diese Anlagen jedoch oft im kleinen Leistungsbereich unter 30 % der Nennwärmeleistung betrieben, lassen sich durch einen Pufferspeicher die Ein- und Ausschalthäufigkeiten minimieren und die Brenndauer verlängern; die Anlage wird so geschont. Zur Auslegung des Pufferspeichers sind 20 l/kW

Nennwärmeleistung vorgeschrieben. Ausnahmen gelten für automatisch beschickte Anlagen, die die Emissionsgrenzwerte bei kleinster Leistung einhalten, und für Anlagen, die nur bei Volllast betrieben werden.

5 Effizienz der Energiewandlung

Energiefluss bei einem Pelletkessel



Bruhn
P 15 E Br 010

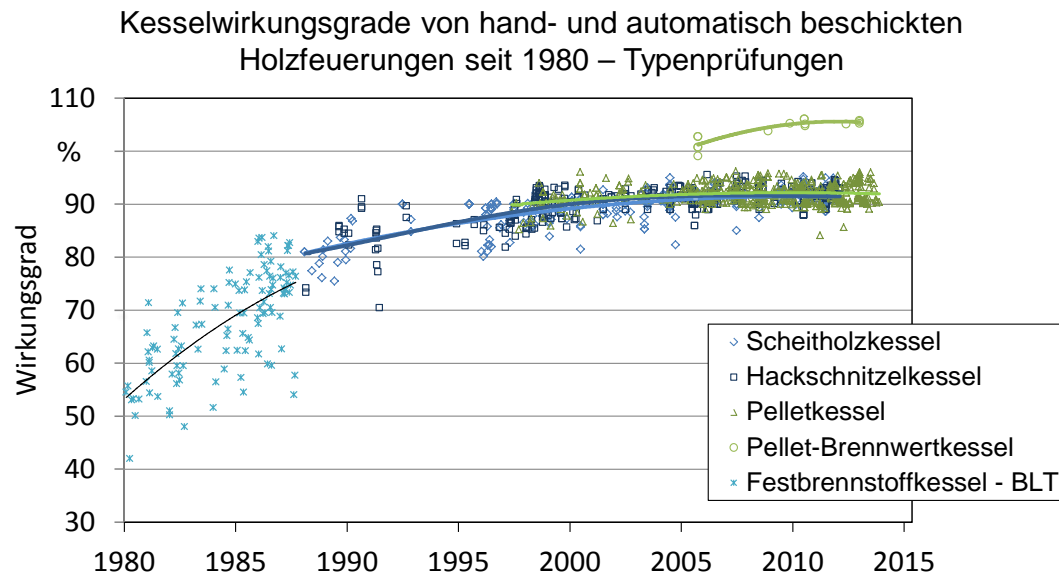
Folie 37



Abbildung 35: Energiefluss bei einem Pelletkessel

Jede Umwandlung von einer Energieform, beispielsweise chemische Energie (Holz), in eine andere Form, z. B. Wärme, ist mit Verlusten verbunden. Die Minimierung von Verlusten hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Steigerung der Wirkungsgrade in den letzten Jahrzehnten. Das verstärkte Bewusstsein für die effiziente Nutzung der auch nur begrenzt verfügbaren nachwachsenden Rohstoffe führte letztendlich zu konkreten technischen Verbesserungen der Kessel. Der wesentliche Verlustpfad über die Abgaswärme wird durch Absenken der Rauchgastemperatur reduziert. Inzwischen ist die Abgastemperatur, insbesondere bei Pelletkesseln, oft so niedrig, dass feuchteunempfindliche Schornsteine notwendig werden. Die Wärmeabgabe über die Kesseloberfläche wurde durch eine bessere Isolierung deutlich gesenkt. Eine gute Steuerung der Verbrennung sorgt dafür, dass nur wenig unverbranntes Material in der Asche bleibt. Eine effiziente Wärmeerzeugung ist auch wirtschaftlich attraktiver, weil mit der gleichen Menge Holz mehr Wärme erzeugt werden kann. Insbesondere wenn der Brennstoffbedarf ganz oder teilweise mit eigenen, ggf. schlecht vermarktbar Holzsortimenten gedeckt werden kann, ist eine kostengünstige Erzeugung von Heizwärme und Brauchwasser möglich.

Entwicklung der Wirkungsgrade von Holzfeuerungen



Quelle: TFZ nach Marktübersichten der FNR, Datensätzen der BAFA (Neuere Pelletkessel) und BLT Wieselburg

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 38



Abbildung 36: Entwicklung der Kesselwirkungsgrade bei Holzfeuerungen seit 1980

In den vergangenen Jahrzehnten hat bei den Holzheizungen eine technische Weiterentwicklung stattgefunden, die sich sehr deutlich am Kesselwirkungsgrad ablesen lässt. Dieser ist seit Mitte der 80er Jahre bis heute um ca. 30 Prozentpunkte auf durchschnittlich mehr als 90 % gestiegen. Das zeigt die Auswertung einer Vielzahl von Messergebnissen aus Typenprüfungen (Abbildung 36).

Nennenswerte weitere Wirkungsgradsteigerungen sind nur noch durch die Einführung von Zusatzwärmetauschern mit Kondensationseffekt denkbar. Dadurch können die Abgase einer Holzfeuerung unter den Taupunkt abgekühlt werden und die Wärmeausnutzung des Brennstoffs wird merklich gesteigert. Dieser Prozess, der mittlerweile bei Erdgas- und Heizölfeuern als Brennwerttechnik praxisüblich ist, führt zu Systemwirkungsgraden von mehr als 100 % (bezogen auf den unteren Heizwert H_{u}). Inzwischen steht die Technik auch für häusliche Biomasse-Zentralheizungen zur Verfügung und wird bereits erfolgreich vor allem in Pelletheizungen eingesetzt. Messergebnisse belegen, dass damit ohne zusätzlichen Brennstoffverbrauch eine Leistungs- und Wirkungsgradsteigerung von durchschnittlich 15 Prozent erreicht werden kann. Außerdem wird durch die Kondensatbildung eine beachtliche Menge an Partikeln aus dem Abgas herausgewaschen und somit der Gesamtstaubausstoß der Anlage gesenkt. Bei Holzbrennstoffen liegt die Staubabscheiderate je nach Wassergehalt im Brennstoff und Rücklauftemperatur des Heizkreislaufs bei ca. 20 bis 40 %.

Damit die Brennwerttechnik jedoch auch in der Praxis sinnvoll eingesetzt werden kann, muss die gewonnene Wärme, die sich auf relativ geringem Temperaturniveau befindet, auch genutzt werden können. Dies kann beispielsweise bei Gebäuden in Niedrigenergiebauweise der Fall sein, die mit einer Flächenheizung (Fußbodenheizung oder Wandheizung) ausgestattet sind.

In den meisten Altbauten ist eine nachträgliche Installation von Flächenheizungen zum Zwecke der Brennwertnutzung nicht zu empfehlen. Der Aufwand und die Kosten sind hoch und der Zusatznutzen oft eher gering. Chancen für einen wirtschaftlichen Einsatz der Brennwerttechnik bestehen daher vor allem bei Anlagen in Neubauten, aber auch in grundsanierten Altbauten. Dies trifft vor allem auf Pelletheizungen zu, bei denen relativ teurer Brennstoff durch die Wirkungsgradsteigerung eingespart werden kann

6 Schadstoffgrenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen

Emissionsgrenzwerte für kleine Biomassezentralheizungen (1. BImSchV)

Anlagenleistung	Emissionsbegrenzung bei Errichtung			
	ab 22.03.2010		ab 01.01.2015**	
	CO g/Nm ³	Staub mg/Nm ³	CO g/Nm ³	Staub mg/Nm ³
Emissionsgrenzwerte für die Verbrennung von naturbelassenem stückigem Holz, z. B. Scheitholz, Hackschnitzel				
≥ 4 ≤ 500 kW	1,0	100	0,4	20
> 500 kW < 1 MW	0,5	100	0,4	20
Emissionsgrenzwerte für die Verbrennung von naturbelassenen Holzpresslingen				
≥ 4 ≤ 500 kW	0,8	60	0,4	20
> 500 kW < 1 MW	0,5	60	0,4	20
Emissionsgrenzwerte für die Verbrennung von Agrarbrennstoffen, z. B. Stroh, strohähnliche Biomassen, Getreide (auch als Pellets)*				
≥ 4 < 100 kW	1,0	100	0,4	20

* Zusätzliche Anforderungen bei Typprüfung:

Dioxine und Furane 0,1 ng/m³; NO_x 0,6 g/m³ (ab 01.01.2015: 0,5 g/m³); CO 0,25 g/m³

** bei Scheitholzfeuerungen ab 01.01.2017

Bruhn

P 15 E Br 010

Folie 40



Abbildung 37: Emissionsgrenzwerte bei Biomassefeuerungsanlagen

Die zulässigen Schadstoffemissionen von Biomassefeuerungen werden in der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV) [3] für Anlagen bis 1.000 kW, die mit naturbelassenem Holz beheizt werden, und für Anlagen bis 100 kW, die mit festen Nicht-Holz-Brennstoffen beschickt werden, geregelt. Größere Anlagen fallen in den Geltungsbereich der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft).

Für Holzfeuerungen mit einer Nennwärmeleistung von 4 bis 1.000 kW sind Grenzwerte für die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO) und Staub einzuhalten. Seit Inkrafttreten der Stufe 2 zum 01.01.2015 gelten für alle Festbrennstoff-Zentralheizungskessel einheitliche Grenzwerte. Vorerst ausgenommen sind neu zu errichtende Scheitholz-Zentralheizungskessel, die erst ab 1.1.2017 die Grenzwerte der Stufe 2 einhalten müssen.

Die Stufe 2 der 1. BImSchV stellt deutlich verschärfte Anforderungen an die Grenzwerte für neu errichtete Biomasse-Zentralheizungsanlagen und für Einzelraumfeuerstätten. Vor dem 31.12.2014 errichtete Pellet- oder Hackgutkessel sowie Einzelraumfeuerstätten und vor dem 31.12.2016 errichtete Scheitholzessel müssen während der gesamten Betriebsdauer lediglich die Grenzwerte der Stufe 1 einhalten. Für Anlagen, die vor dem 22.03.2010 errichtet wurden, gelten Übergangsfristen (Abbildung 38).

Die zulässigen CO-Emissionen bei Biomasse-Zentralheizungsanlagen ($0,4 \text{ g/Nm}^3$) liegen in der Stufe 2 nur bei etwa einem Drittel gegenüber Einzelraumfeuerstätten (Beispiel Kaminöfen: $1,25 \text{ g/Nm}^3$). Hinzu kommt, dass Zentralheizungsanlagen anders als Einzelraumfeuerstätten neben den Typprüfungen (Prüfstandmessungen) auch wiederkehrenden Prüfungen alle zwei Jahre durch den Schornsteinfeger unterliegen. Die entsprechenden Grenzwerte müssen auch im Praxisbetrieb eingehalten werden. Gerade bei diesen Praxismessungen ist davon auszugehen, dass insbesondere der Staubgrenzwert von 20 mg/m^3 mit Anlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht problemlos eingehalten werden kann. Insbesondere Anlagen, die mit stärker schwankenden oder auch weniger hochwertigen Brennstoffeigenschaften beschickt werden, wie beispielsweise Hackschnitzelkessel.

Aufgrund der homogenen Brennstoffqualität und des geringen Aschegehalts von Holzpellets ist davon auszugehen, dass neue Pelletkessel auch zukünftig ohne zusätzliche emissionsmindernde Maßnahmen, wie z. B. den Einsatz von Staubabscheidern, die geltenden Emissionsschutzanforderungen einhalten können. Ähnliches gilt für neue Scheitholzessel bei Verwendung saubereren, trockenen Brennstoffs. Bei Hackschnitzelkesseln gestaltet sich die Einhaltung der Grenzwerte nach Stufe 2 im Praxisbetrieb schwieriger und der Betreiber muss sich in jedem Fall aktiv beteiligen. Die Anlage sollte regelmäßig gewartet und bei der Brennstoffauswahl auf gute Qualität entsprechend den Herstellerangaben geachtet werden [6].

Um auch im Praxisbetrieb sicher und dauerhaft die strengen Emissionsauflagen durch den Gesetzgeber einhalten zu können, empfiehlt sich generell der Einsatz von qualitativ hochwertigen Feuerungsanlagen. Diese Anlagen benötigen aufgrund ihrer hohen Effizienz in der Regel auch weniger Brennstoff für die gleiche Wärmemenge.

Biomasse-Zentralheizungsanlagen mit einer Anlagengröße von 5 bis 100 kW sind durch Zuschüsse über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) förderfähig. Übersichten über förderfähige handbeschickte bzw. automatisch beschickte Anlagen sind auf der Homepage des BAFA: www.bafa.de zu finden. Diese Anlagen müssen hohe Anforderungen hinsichtlich der Emissionen und des Wirkungsgrads erfüllen. Diese Übersichten bieten einen guten Überblick über den Stand der Technik bei Biomasse-Zentralheizungen.

Bei Einzelraumfeuerungsanlagen, wie beispielsweise Kaminöfen, gelten die besonderen Anforderungen des DIN_{Plus}-Gütesiegels als Stand der Technik.

Übergangsfristen für Biomasseheizungen

Einzelraumfeuerungen

Grenzwerte: 150 mg/Nm³ Staub,
4 g/Nm³ CO

Biomasse-Zentralheizungen

Datum auf dem Typenschild	Zeitpunkt der Nachrüstung oder Ausserbetriebnahme	Zeitpunkt der Errichtung	Zeitpunkt der Einhaltung der Grenzwerte der Stufe 1
Bis 31.12.1974 oder nicht feststellbar	31.12.2014	Bis einschl. 31.12.1994	1.1.2015
1.1.1975-31.12.1984	31.12.2017	1.1.1995-31.12.2004	1.1.2019
1.1.1985-31.12.1994	31.12.2020	1.1.2005-21.3.2010	1.1.2025
1.1.1995-21.03.2010	31.12.2024		

Ausnahmen: Herde, Badeöfen, offene Kamine, Grundöfen, monovalente Heizungen, Oldtimer (vor 1950)

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 41



Abbildung 38: Übergangsfristen für Einzelraumfeuerungen

Kleine Biomasse-Zentralheizungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von 4 bis 15 kW, die vor dem 21.03.2010 errichtet wurden und bis dahin nicht messpflichtig waren, sind bis zum Ablauf der jeweiligen Übergangsfrist auch weiterhin nicht messpflichtig.

Zentralheizungsanlagen mit einer Leistung von 15 bis 1.000 kW, die vor dem 21.03.2010 errichtet wurden, sind wiederkehrend messpflichtig und müssen bis zum Ablauf der Übergangsfrist die Grenzwerte, die vor der Novellierung der 1. BImSchV gültig waren, z. B. bei Nennwärmeleistung $15 \leq 50$ kW: 150 mg/m³ Staub, 4 g/m³ CO, einhalten. Nach Ablauf der Übergangsfrist gelten die Grenzwerte nach Stufe 1. Die Übergangsfrist richtet sich nach dem Zeitpunkt der Errichtung.

Die Regelungen für handbeschickte Einzelraumfeuerstätten, wie beispielsweise Kaminöfen, unterscheiden sich grundlegend von den Vorschriften für Zentralheizungsanlagen. Hersteller neuer Anlagen müssen im Rahmen einer Typprüfung nachweisen, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Diese Anlagen sind anschließend nicht messpflichtig. Der Schornsteinfeger muss zweimal in sieben Jahren im Rahmen der Feuerstättenschau die Einhaltung der Anforderungen an die Brennstofffeuchte (< 25 %) sowie den ordnungsgemäßen technischen Zustand der Anlage überprüfen [3].

Bestehende Einzelraumfeuerstätten, die vor dem 21.03.2010 errichtet wurden, dürfen nur weiterbetrieben werden, wenn folgende Grenzwerte nicht überschritten werden:

- Staub: 150 mg/m³
- Kohlenmonoxid (CO): 4 g/m³

Maßgeblich für die Übergangsfrist ist hier nicht der Zeitpunkt der Errichtung, sondern das Datum auf dem Typenschild. Bis Ende 2013 sollte ein Nachweis über die Einhaltung der Grenzwerte vorgelegt werden. Als Nachweis wird eine einmalige Messung oder eine Prüfstandmessung für diesen Feuerstättentyp akzeptiert. Einzelraumfeuerstätten, die die Emissionsgrenzwerte nicht einhalten, müssen bis zum Ablauf der Übergangsfrist entweder mit einem Abscheider nachgerüstet oder außer Betrieb genommen werden. Ausgenommen davon sind Grundöfen, Scheitholzherde, Badeöfen, monovalente Heizungen, offene Kamine und Anlagen, die vor 1950 eingebaut oder hergestellt wurden.

Einzelraumfeuerungsanlagen die nach dem 21.03.2010 und vor dem 01.01.2015 errichtet wurden, müssen die Einhaltung der Grenzwerte und Mindestwirkungsgrade nach Stufe 1 durch einen Herstellernachweis belegen. Für neue Anlagen, die ab dem 01.01.2015 errichtet werden, gelten die Anforderungen nach Stufe 2 der 1. BImSchV entsprechend.

Überwachung der Feuerstätten

Alle **neuen** Anlagen an einem **neuen** Standort müssen vor Inbetriebnahme durch den Schornsteinfeger abgenommen werden.

Neue Biomassezentralheizung an einem alten Standort

- Erstmessung innerhalb von 4 Wochen nach Inbetriebnahme
- Dann wiederkehrend alle 2 Jahre

Einzelraumfeuerungen

- Emissionsmessung: nur Anforderungen an Typprüfung (Hersteller), keine wiederkehrenden Messungen
- Überprüfung auf, unter anderem, Einhaltung des technisch ordnungsgemäßen Zustandes und Einhaltung der maximalen Brennstofffeuchte innerhalb von 4 Wochen nach Inbetriebnahme
- Betreiberberatung zur Bedienung und Brennstoffqualität

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 42

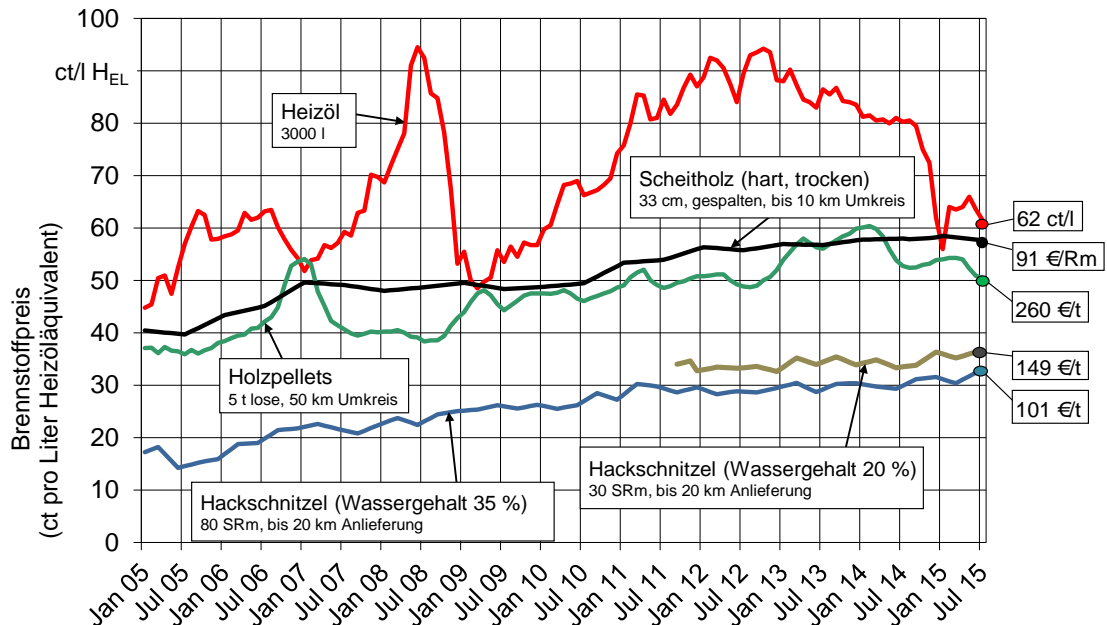


Abbildung 39: Überwachung von Feuerstätten nach der 1. BImSchV

Die Überwachung der Feuerstätten ist eine hoheitliche Aufgabe, die von dem bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger wahrgenommen wird. Dazu gehören unter anderem die Feuerstättenschau, das Führen des Kkehrbuchs und das Ausstellen der Bescheinigungen zu Bauabnahmen. Wenn ein neuer Kessel an einem zuvor noch nicht für eine Feuerstätte verwendeten Ort eingebaut werden soll, ist eine frühzeitige Kontaktaufnahme mit dem zuständigen Bezirksschornsteinfeger zu empfehlen. Weitere Arbeiten können an geeignete und registrierte Schornsteinfeger vergeben werden.

7 Rentabilitätsbetrachtung

Entwicklung der Brennstoffpreise (inkl. Anlieferung und MwSt.)



Reisinger, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 44



Abbildung 40: Entwicklung der Brennstoffpreise in Deutschland

Um die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Feuerungsanlagen vergleichend beurteilen zu können, kommt es unter anderem sehr auf den Brennstoffpreis an. Dieser ist jedoch, auf den einzelnen Brennstoff bezogen, teilweise sehr großen regionalen Schwankungen unterworfen, sodass für diese Berechnung ein bundesweiter Durchschnitt zugrunde gelegt wurde. Im Einzelfall sollten Erkundigungen über den regionalen Preis, insbesondere für Scheitholz und Hackschnitzel, eingeholt werden. Abbildung 40 zeigt die Entwicklung der Brennstoffpreise für Biomassebrennstoffe im Vergleich zu Heizöl ab Januar 2005. Hier wurde der Preis der Biomassebrennstoffe wegen der besseren Vergleichbarkeit in den entsprechenden Öläquivalentpreis (1 l Heizöl H_{EL} entspricht etwa 10 kWh) umgerechnet.

Der Heizölpreis zeigte in den letzten Jahren große Schwankungen und ist derzeit auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Scheitholz gehört momentan mit einem Durchschnittspreis von knapp 60 ct/ H_{EL} zu den teureren Brennstoffen. Scheitholz war lange Zeit wesentlich günstiger als Öl, ist jedoch zurzeit fast auf demselben Niveau wie der Heizölpreis. Die Biobrennstoffe lassen durch die stabile Preisentwicklung der letzten Jahrzehnte auch zukünftig verlässlichere Kostenkalkulationen erwarten. Der, bezogen auf den Heizwert, günstigste Brennstoff sind Hackschnitzel mit 30 ct/ H_{EL} (Wassergehalt: 30 %). Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 20 % kosten pro Tonne zwar fast

50 % mehr, jedoch ist die Preisdifferenz bezogen auf den Heizöläquivalentpreis deutlich geringer.

Modellkostenrechnung (1) - Investitionskosten

	Einheit	Heizöl	Holz- hackgut	Holz- pellets	Scheit- holz	Getreide- körner
Anlagen- und Betriebsdaten						
Anlagen-Nennwärmeleistung	kW	30	30	30	30	30
Wärmebedarf Heizung u. Brauchwasser	MWh/a	48	48	48	48	48
Gesamtnutzungsgrad	%	80	75	78	78	75
Summe Brennstoffeinsatz	MWh/a	60,0	64,0	61,5	61,5	64,0
Arbeitszeitbedarf Reinigung und Betrieb	h/a	0,5	5	3	9	5
Kaminkehrungen pro Jahr		2	2	2	2	2
Investition Technik						
Feuerungsanlage komplett mit Regelung ^a	€	4.346	16.983	9.026	6.093	12.636
Öltank bzw. Pellet-Sacksilo ^a	€	6.234	-	5.208	-	-
Brauchwasserspeicher ^b	€	695	enthalten	enthalten	enthalten	enthalten
Pufferspeicher	€	-	1.404	1.404	2.420	1.404
Peripherie (Pumpen, Rohre, etc.) ^c	€	2.686	3.525	3.357	3.380	3.525
Lieferung, Montage, Inbetriebnahme ^c	€	2.242	1.903	2.802	1.818	1.903
Σ Investitionen Technik, Installation	€	16.203	23.815	21.798	13.711	19.469
Förderung (MAP-Förderung März 2015)	€	-	3.500	3.500	2.000	-

^a gemäß Kostenfunktionen TFZ, bei automatisch beschickten Anlagen inkl. Raumaustrag; ^b Inhalt 200 Liter; ^c gemäß Kostenfunktionen TFZ

Alle Kosten ohne USt.

Reisinger
P. 15 EBr 010 Folie 45



Abbildung 41: Beispiel: Kostenvergleichsrechnung für Anlagen mit 30 kW Leistung – Investitionskosten

Während die Brennstoffkosten bei Biomassefeuerungen durchweg günstiger waren als bei einer Ölfeuerung, sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aufgrund des aktuell niedrigen Ölpreises momentan nicht mehr so vorteilhaft für Festbrennstoffanlagen. Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen hierzu einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Festbrennstoffheizsystemen mit einer Ölheizung. Die Angaben für die Investitionskosten basieren auf einer vom TFZ durchgeführten Erhebung der meisten in Deutschland vertretenen Hersteller und Vertriebe von Biomasse-Zentralheizungen.

Bei den Kosten für Scheitholzessel besteht eine deutliche Abhängigkeit von der Nennwärmeleistung. Im Bereich der besonders häufigen Anlagenleistungen von 15 bis 30 kW ist bei modernen Anlagen mit abgasgeführter Verbrennungsluftregelung mit Preisen von 6.000 bis 12.000 € zu rechnen (Kessel inkl. Heizkreisregelung). Die Anschaffungskosten einer Gesamtanlage (mit Pufferspeicher, Verrohrung etc.) sind in etwa vergleichbar mit dem Investitionsbedarf einer Ölheizung.

Bei Pellet- und Hackschnitzelheizungen liegt das Niveau des Investitionsbedarfs höher. Im Bereich von ca. 20 bis 60 kW Nennwärmeleistung kann etwa von einem Mehrbedarf

von 5.000 bis 10.000 € ausgegangen werden. Der Grund dafür sind die Kosten für eine automatische Beschickung und einen Raumaustrag, die einen verbesserten Komfort ermöglichen.

Für die häufig verwendeten Pellet-Zentralheizungskessel der Leistungsklasse um 15 kW muss mit Anschaffungskosten von etwa 15.000 bis 17.000 € gerechnet werden, wobei darin die Brennstoffzuführung und der dazugehörige Raumaustrag inklusive MwSt. bereits enthalten sind. Eine aktuelle Tabelle der Modellkostenrechnung ist auf der Homepage des TFZ zu finden.

Modellkostenrechnung (2) – Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten

	Einheit	Heizöl	Holz- hackgut	Holz- pellets	Scheit- holz	Getreide- körner
Kapitalgebundene Kosten^d (ohne USt.)						
Annuität Technik / Installation	€/a	1.516	2.347	2.073	1.307	1.903
Summe kapitalgebundene Kosten	€/a	1.516	2.347	2.073	1.307	1.903
Verbrauchsgeb. Kosten (ohne USt.)						
Jahresbrennstoffbedarf		6.015 l	78,8 m ³	12,9 t	42 Rm	16,4 t
angelegter Brennstoffpreis	€/a	0,52 €/l	139 €/t	227 €/t	70 €/Rm	135,6 €/t
Brennstoffkosten	€/a	3.109	2.199	2.937	2.959	2.228
Hilfsstromverbrauch ^e	€/a	94	234	234	140	234
Summe verbrauchsgebundene Kosten	€/a	3.202	2.434	3.171	3.099	2.462
Betriebsgebundene Kosten (ohne USt.)						
Wartung Feuerungen ^f	€/a	65	425	226	153	316
Emissionsmessung und Kamin kehren	€/a	56	133	133	133	133
Reinigungs- und Betriebskosten	€/a	10	100	60	180	100
Summe verbrauchsgebundene Kosten	€/a	131	658	419	466	549
Summe jährliche Gesamtkosten (ohne USt.)	€/a	4.849	5.439	5.663	4.873	4.915
Summe jährliche Gesamtkosten (inkl. USt.)	€/a	5.771	6.209	6.387	5.443	5.581
Kosten der Nutzenergie (ohne Förderung)	€/kWh	0,120	0,129	0,133	0,113	0,116
Kostenerstattung durch Förderung	€/kWh	-	0,006	0,006	0,003	-

^d Zinssatz 4,5 % und 18 Jahre Abschreibungsdauer für Technik, keine Versicherung und baulichen Aufwendungen angenommen, keine Preissteigerungsraten eingerechnet; ^e Strompreis 0,195 €/kWh; ^f 2,5 % bei Festbrennstoffkesseln, 1,5 % bei Ölkesseln

Reisinger, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 46



Abbildung 42: Beispiel: Kostenvergleichsrechnung für Anlagen mit 30 kW Leistung – kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Biomasseheizungen müssen sämtliche Kosten, die während der gesamten Betriebsdauer anfallen, einbezogen werden. Dies sind kapitalgebundene Kosten (Investitionskosten), verbrauchsgebundene Kosten (Kosten für Brennstoff, Strom), betriebsgebundene Kosten (Kosten für Wartung, Emissionsmessung, Kehrleistung) und eventuell sonstige Kosten (Versicherungskosten). Da eine allgemein vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung jedoch weder die Anlagengröße und Ausstattung noch die Preisunterschiede der unterschiedlichen Hersteller ausreichend genau berücksichtigen kann, sind die hier dargestellten Kosten für die Nutzenergie nur als Orientierungswerte zu betrachten. Es sind im Einzelfall größere Abweichungen möglich.

Aus den Gesamtkosten können die Kosten pro Kilowattstunde erzeugte Wärme berechnet werden. Die niedrigsten Kosten von 11,3 ct/kWh können mit einem Scheitholzkessel erreicht werden. Hackschnitzelkessel schneiden mit einem spezifischen Preis von 12,9 ct/kWh noch recht gut ab. Mit 13,3 ct/kWh ist die Wärme aus Pelletheizung derzeit am teuersten. Von diesen Kosten kann eine mögliche Förderung noch abgezogen werden.

Bei der in Abbildung 41 und Abbildung 42 dargestellten Modellkostenrechnung wird die Wirtschaftlichkeit von Holz- und Getreideheizsystemen im Vergleich zu einer Ölheizung beispielhaft dargestellt. Dabei handelt es sich um die Wärmeversorgung eines Zweifamilienhauses oder eines größeren Bauernhauses mit einem Wärmebedarf von 30 kW. Dieser Leistungsbedarf wurde gewählt, um auch Hackschnitzel- und Getreidefeuerungen vergleichen zu können, da diese für Einfamilienhäuser mit einem Wärmebedarf unter 15 kW praktisch nicht angeboten werden.

In der Kostenvergleichsrechnung wurde eine Abschreibungsdauer von 18 Jahren bei einem Zinssatz von 4,5 % angenommen. Bauliche Aufwendungen wie beispielsweise ein eventuell erforderlicher größerer Heizraum oder ein Brennstofflagerraum wurden nicht berücksichtigt.

Die Berechnungen stellen lediglich eine Momentaufnahme ohne Berücksichtigung eventuell gewährter Fördergelder dar. Die derzeitigen Zuschüsse, dargestellt in der letzten Zeile (Kostenerstattung durch Förderung), können von den Kosten der Nutzenergie abgezogen werden. Angesichts stark schwankender Brennstoffpreise können sich die Ergebnisse rasch ändern. In der Praxis sind oft auch günstigere Kalkulationen möglich, wenn z. B. eigenes Holz vorhanden ist oder Holz kostengünstig und ohne Anrechnung der Arbeitskosten bereitgestellt werden kann (z. B. als Selbstwerber). Die Gegenüberstellung zeigt, dass Biomasseheizungen im gewählten Beispiel heute durchaus wirtschaftlich rentabel betrieben werden können. Die Kosten für die Wärmeerzeugung liegen für den gegebenen Modellfall auch mit Förderung meistens in der Nähe der Kosten einer Ölheizung. Ausschlaggebend hierfür ist der aktuell niedrige Ölpreis.

8 Förderprogramme

Basisförderung für kleine Biomassefeuerungen 5 - 100 kW

Richtlinie, Stand 11.03.2015 (nur Auszug)

Antrag ab 1.4.2015

Bewilligungsbehörde: BAFA (www.bafa.de)

- Förderanträge sind innerhalb von 9 Monaten nach Inbetriebnahme der Anlage zu stellen (Privatpersonen)
- Förderung im Gebäudebestand: Gebäude, in denen seit mehr als 2 Jahren eine andere Heizung installiert war

Scheitholzessel: (Pufferspeicher mindestens 55 l/kW, Staubemissionen max. 15 mg/Nm ³)	2.000 €
Holz hackschnitzelkessel: (Pufferspeicher mind. 30 l/kW)	3.500 €
Holzpelletkessel: 80 €/kW , mindestens jedoch mit neuem Pufferspeicher, mindestens 30 l/kW	3.000 € 3.500 €
Pelletofen mit Wassertasche: 80 €/kW , mindestens jedoch: (Staubemissionen max. 30 mg/Nm ³)	2.000 €

Innovationsförderung: 750 € für Nachrüstung

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 48



Abbildung 43: *Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Basisförderung*

Im Interesse einer zukunftsfähigen, nachhaltigen Energieversorgung, angesichts der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Energieressourcen und aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes ist es erforderlich, den Anteil erneuerbarer Energien im Energiemarkt zu erhöhen. Hierzu bedarf es eines Anreizes für die Nutzung solcher Technologien. Deshalb fördert der Bund gemäß den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 11. März 2015 [4] den stärkeren Einsatz erneuerbarer Energien durch Investitionszuschüsse beziehungsweise im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien (Programm 271/281) als Tilgungszuschuss zu langfristigen zinsgünstigen Darlehen.

Ein zentrales Ziel der Förderung ist es, durch Investitionsanreize die Nutzung regenerativer Energiequellen (z. B. Biomassefeuerungen) im Markt zu erhöhen und so zur Senkung der Kosten und zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beizutragen. Häusliche Zentralheizungsanlagen bis zu einer Anlagengröße von 100 kW werden durch Zuschüsse über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gefördert. Die aktuellen Richtlinien und die Antragsformulare sind im Internet unter www.bafa.de abrufbar. Spezielle Fragen sind an das BAFA unter Tel.: 06196/908-1625 oder per E-Mail an so-

lar@bafa.bund.de zu richten. Förderanträge müssen an das BAFA, – Erneuerbare Energien –, 65754 Eschborn, geschickt werden.

Das Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien sieht für neu installierte Anlagen eine Basisförderung, eine Zusatzförderung und eine Innovationsförderung vor. Alle Förderungen können für Bestandsgebäude beantragt werden. Für einen Neubau kommen nur die Innovationsförderung und der Kombinationsbonus infrage. Zum Gebäudebestand zählen Gebäude, in denen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der beantragten Anlage seit mehr als 2 Jahren ein anderes Heizungs- oder Kühlsystem installiert ist. Der Förderantrag ist innerhalb von neun Monaten nach Inbetriebnahme der Anlage zu stellen. Voraussetzung für eine Förderung ist unter anderem der Nachweis über einen hydraulischen Abgleich. Darüber hinaus muss auch die Schornsteinfegerabnahmebescheinigung vorgelegt werden, für Scheitholz-Anlagen ist dies erst ab 31.12.2015 erforderlich.

Im Rahmen der Basisförderung werden automatisch und manuell beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse mit einer Leistungs- und Feuerungsregelung in einer Größe von 5 bis 100 kW Nennwärmeleistung im Gebäudebestand gefördert. Für Scheitholzvergaserkessel ist ein Pufferspeicher mit einem Mindestvolumen von 55 l/kW erforderlich und die Staubemissionen bei der Typprüfung müssen unterhalb von 15 mg/Nm³ liegen.

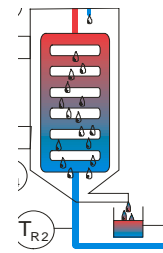
Alle Anlagen müssen in der Typprüfung höhere Anforderungen hinsichtlich der Emissionen und des Wirkungsgrads erfüllen und gelten daher als besonders effizient. Förderfähige Anlagen werden in den Listen des BAFA auf seiner Homepage veröffentlicht.

Seit dem 01.01.2014 liegen die Grenzwerte für förderfähige Zentralheizungsanlagen für Kohlenmonoxid-Emissionen bei maximal 200 mg/m³ und die Staubemissionen maximal bei 20 mg/m³ (Ausnahme: Scheitholzessel: maximal 15 mg/Nm³ Staub). Ferner muss ein Wirkungsgrad von mindestens 89 % erreicht werden. Abweichend davon dürfen förderfähige Pelletöfen mit Wassertasche maximal 30 mg/Nm³ Staub emittieren und müssen einen Mindestwirkungsgrad von 90 % erreichen.

Für Pelletkessel beträgt die Basisförderung 80 €/kW Nennwärmeleistung, mindestens jedoch 3.000 € bzw. 3.500 € mit einem neuen Pufferspeicher mit mindestens 30 l/kW. Für Pelletöfen kann ebenfalls eine Förderung von 80 €/kW beantragt werden, die Mindestförderung beträgt hier 2.000 €. Bei Hackschnitzelheizungen beträgt die Förderung pauschal 3.500 € je Anlage, wobei ein Pufferspeicher mit einem Speichervolumen von mindestens 30 l/kW erforderlich ist. Scheitholzvergaserkessel werden ebenfalls pauschal mit 2.000 € je Anlage gefördert.

Innovationsförderung: Brennwerttechnik oder Partikelabscheider

Brennwerttechnik (nur Kessel, kein Pelletofen)	Gebäudebestand	Neubau
Anlage mit neuem Pufferspeicher	5250 €	3500 €
Anlage mit vorhandenem Pufferspeicher	4500 €	3000 €



Partikelabscheider	Gebäudebestand	Neubau
- Scheitholzessel - Pelletofen mit Wassertasche	3000 €	2000 €
- Pelletkessel mit vorhandenem Pufferspeicher	4500 €	3000 €
- Pelletkessel mit neuem Pufferspeicher - Hackschnitzelkessel	5250 €	3500 €

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 49



Abbildung 44: Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Innovationsförderung

Die Innovationsförderung kann für Brennwertnutzung oder die Errichtung eines sekundären Partikelabscheiders gewährt werden. Diese Förderung wird für Neubauten und für Bestandsgebäude gewährt, allerdings ist die Höhe unterschiedlich. Die Nachrüstung einer bestehenden Anlage kann mit 750 € gefördert werden. Die Wirksamkeit der Abscheider muss von einer unabhängigen, fachlich anerkannten Einrichtung (z. B. TÜV, öffentliche Forschungseinrichtung) geprüft und dokumentiert sein. Ferner muss ein Staubabscheidegrad von mindestens 50 % erreicht werden. Nicht förderfähig sind Fliehkraftabscheider oder Multizyklone.

Ein Kombinationsbonus kann bei gleichzeitiger Errichtung eines Solarkollektors, einer Wärmepumpe oder dem Anschluss an ein Wärmenetz beantragt werden. Gleichzeitig dürfen maximal 9 Monate zwischen den beiden Inbetriebnahmen liegen. Die Förderhöhe beträgt 500 €.

Bei besonders effizienten Gebäuden, die die Anforderungen an die Gebäudehülle eines KfW-Effizienzhauses 55 (EnEV 2013) erfüllen, kann ein Effizienzbonus beantragt werden. Die Höhe beträgt 50 % der Basis- oder Innovationsförderung.

Zusatzförderung

Förderung von Optimierungsmaßnahmen, z.B.

- Bauliche Maßnahmen
- Modernisierung des Heizungssystems
- Effizienzsteigerung des Heizkreises

Es können 10 % der förderfähigen Investitionssumme erstattet werden; maximal jedoch 50 % der Basisförderung für den Biomassekessel.

Beispiel:

Basisförderung für einen Pelletkessel mit neuem Pufferspeicher: 3.500 €
maximale Förderhöhe: 1.750 €, bei einem Investitionsvolumen von 17.500 € oder mehr.

Investitionsvolumen z.B. 10.000 €
Zusatzförderung: 1.000 €

Ein vollständige Liste der förderwürdigen Optimierungen ist in der Förderrichtlinie enthalten.



Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 50



Abbildung 45: Marktanzreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien – Zusatzförderung

Mit bis zu 10 % der Investitionskosten, jedoch maximal 50 % der Basis- oder Innovationsförderung, werden Optimierungsmaßnahmen gefördert. Dazu gehören:

- Bauliche Maßnahmen: z. B. Ausbau Öl-/Gastank sowie Altheizung einschließlich der Entsorgung, Wand- und Deckendurchbrüche einschließlich Dämmung, notwendige Maler-, Putz- und Wandverkleidungsarbeiten, Schornsteinerneuerung
- Modernisierung des Heizungssystems: z. B. hocheffiziente Zirkulationspumpe, moderne Thermostate, Smart Metering
- Effizienzsteigerung des Heizkreises: z. B. Dämmung der Verteilnetze und Speicher, Austausch von kritischen Heizkörpern, Brennwertnutzung durch Flächenheizungen, Inbetriebnahme, Einregulierung und Einweisung

Eine vollständige Liste der förderfähigen Maßnahmen ist im Anhang I der Förderrichtlinien [4] zu finden. Bitte prüfen Sie vor Beginn der Maßnahme die vollständigen Förderrichtlinien, da aus Platzgründen hier nur Auszüge genannt werden können. Einen Überblick liefern die Förderübersicht des BAFA und das Merkblatt Grundwissen zum Marktanzreizprogramm.

Bundesförderung für Biomassefeuerungen über 100 kW

Richtlinie vom 11.03.2015 (nur Auszug)

Bewilligungsbehörde: KfW (www.kfw.de) Programm Erneuerbare Energien

- Darlehen und Tilgungszuschuss (Teilschulderlass)

Anträge: Privatpersonen vor Maßnahmebeginn über die örtlichen Hausbanken
Öffentlich rechtliche Kreditnehmer direkt an die KfW.

Automatisch beschickte Anlagen mit mehr als 100 kW:

Zuschuss **20 €/kW**, höchstens 50.000 € je Einzelanlage

Zusätzlich Innovationsförderung (insgesamt max. 100.000 € je Anlage):

- Förderung **+ 20 €/kW** bei Staubemissionen von maximal 15 mg/Nm³
- Förderung **+ 10 €/kW** bei Einbau eines Pufferspeichers mit mind. 30 l/kW

Nahwärmenetze:

Voraussetzungen: • mind. 50 % der Wärme aus erneuerbaren Energien
• Mindestwärmeabsatz im Mittel 500 kWh/a*m Trasse

Zuschuss: **60 €/m** Trasse,
(max. 1.000.000 €)

Übergabestation: 1.800 €

Die vollständigen Fördervoraussetzungen finden Sie in den Förderrichtlinien und im KfW-Merkblatt Erneuerbare Energien.

Reisinger, Bruhn
P 15 E Br 010 Folie 51



Abbildung 46: KfW-Programm Erneuerbare Energien

Im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien – Premium (271/281) [11] werden unter anderem auch Tilgungszuschüsse für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW gewährt. Hierbei werden von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) Darlehen zur Verfügung gestellt. Entsprechende Anträge sind bei den örtlichen Kreditinstituten (Hausbank) vor Maßnahmebeginn einzureichen. Die Tilgungszuschüsse werden im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel gewährt. Die Höhe des Tilgungszuschusses bei automatisch beschickten Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse beträgt 20 €/kW installierter Nennwärmeleistung, höchstens jedoch 50.000 € je Anlage. Bei besonders niedrigen Staubemissionen von maximal 15 mg/m³ erhöht sich die Grundförderung um weitere 20 €/kW. Wird zudem ein Pufferspeicher mit einem Mindestspeichervolumen von 30 l/kW eingebaut, erhöht sich die Förderung um weitere 10 €/kW. Die Gesamthöchstförderung beträgt 100.000 €

Neben der eigentlichen Biomassefeuerung werden auch Nahwärmenetze gefördert. Hierbei muss die eingespeiste Wärme zu mindestens 50 % aus erneuerbaren Energien stammen. Werden überwiegend Neubauten angeschlossen, müssen mindestens 60 % der eingespeisten Wärme aus erneuerbaren Energien stammen. Auch ist ein Mindestwärmeabsatz von 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse (im Mittel über das gesamte Netz) nachzuweisen. Im Falle einer erstmaligen Erschließung werden die Wärmenetze mit 60 €/m neu errichteter Trasse gefördert. Die Maximalförderung beträgt 1.000.000 €

Hausübergabestationen können mit jeweils 1.800 € gefördert werden, wenn die Investitionen vom Investor und Betreiber des Wärmenetzes durchgeführt werden und kein kommunaler Anschlusszwang besteht. Bitte prüfen Sie vor der Maßnahme die vollständige Förderrichtlinie, da aus Platzgründen hier nur Auszüge genannt werden können.

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Der Handel mit Holzbrennstoffen entwickelt sich zunehmend überregional (z. B. durch Einblastechnik für Hackschnitzel)
- Normen unterstützen durch die Standardisierung die Verwendung von Holzbrennstoffen
- Holzfeuerungen sind technisch ausgereift, zuverlässig und klimafreundlich
- Biomasseheizungen verursachen oft im Vergleich zu Heizölheizungen höhere Staub- und Kohlenmonoxidemissionen. Die Emissionen des Treibhausgases Kohlendioxid sind jedoch um circa 95 % niedriger
- Zur Zeit liegen noch geringe Erfahrungen mit Stroh-, Miscanthus- oder Getreidefeuerungen (wenige Anbieter für Kleinanlagen) vor
- Die Preise für Biomassebrennstoffe waren meistens niedriger als die Heizölpreise
- Feuerungsanlagen für Holz sind teurer als Ölkessel, jedoch waren die Kosten für eine Kilowattstunde Wärme lange Zeit niedriger. Dies gilt insbesondere, wenn der Brennstoff kostengünstig beschafft werden kann

Bruhn
P 15 E Br 010

Folie 54



Abbildung 47: Zusammenfassung

Biomasse- und insbesondere Holzfeuerungen sind für landwirtschaftliche Betriebe, kleinere Unternehmen und für Hausbesitzer eine kostengünstige, verlässliche und umweltfreundliche Methode zur Heizwärme- und Warmwasserbereitstellung. Insbesondere wenn eigenes Holz zur Verfügung steht, ist ein Scheitholz- oder Hackgutkessel meistens die preiswerteste Wahl. Holz in den verschiedenen Sortimenten als Scheitholz, Hackschnitzel oder Pellet kommt meistens aus der Region. Die Gewinnung und die Aufbereitung stärken den regionalen Arbeitsmarkt und fördern die lokale Wirtschaft. Damit verbunden ist auch ein Beitrag zum Klimaschutz und die Abhängigkeit von Brennstoffimporten wird verringert. In der Regel werden nicht mehr als 5 % des Heizwerts von Holz für die Herstellung eingesetzt. Damit können mit der Verwendung von Holz zum Heizen große Mengen klimaschädlichen Kohlendioxids eingespart werden. Wichtig ist, dass die Brennstoffe in möglichst effizienten Anlagen verbrannt werden. Das schont nicht nur die Umwelt, sondern auch den Geldbeutel.

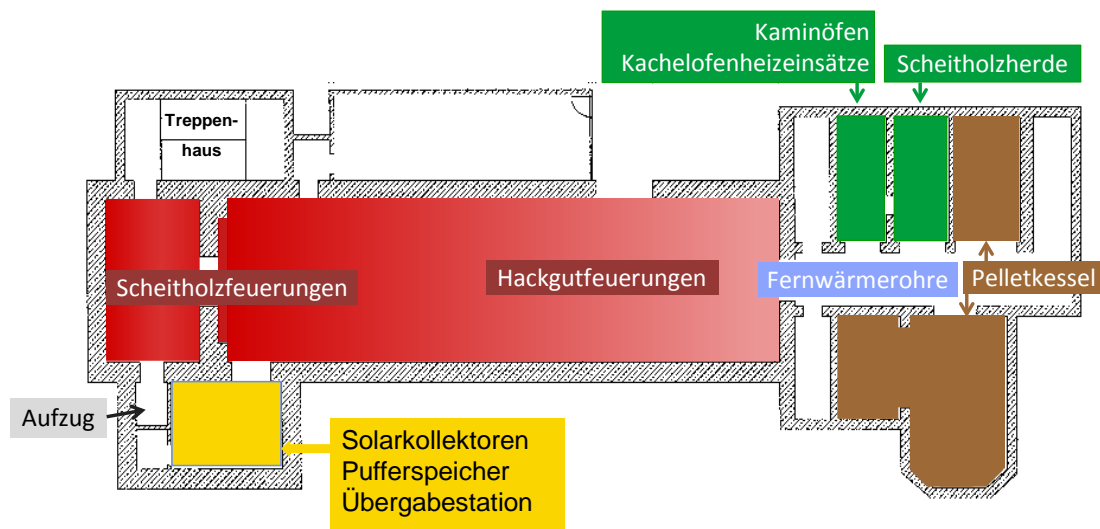
Anlagen zur thermischen Verwertung von Holz sind technisch ausgereifte und auch praxisbewährte Lösungen. Holz als Brennstoff wird immer häufiger genutzt. Die Zahl der Holzheizungen nimmt zu und damit auch der Verbrauch an Brennholz. Mit Halmgut- oder Getreidefeuerungen im kleinen Leistungsbereich gibt es derzeit in Deutschland erst we-

nige Erfahrungen und daher sind nur wenige Anbieter kleiner Feuerungsanlagen auf dem deutschen Markt präsent. Gleiches gilt auch für die Stromerzeugung aus festen Brennstoffen, die nur selten nachgefragt wird. Wird eine solche Anlage wärmegeführt und soll die Wärme ausschließlich zur Versorgung eines Einfamilienhauses genutzt werden, ist aufgrund der geringen jährlichen Betriebsstunden ein wirtschaftlicher Betrieb oft nicht zu erreichen.

Mit der Einführung von Normen, wie z. B. zuletzt der Spezifikationen für Qualitätshack-schnitzel (DIN EN ISO 17225-4), werden Orientierungen für eine möglichst gleichbleibende, definierte Brennstoffqualität gegeben, die für einen reibungslosen Betrieb von Kleinfeuerungsanlagen benötigt wird.

In jüngster Zeit entwickelt sich der Handel mit Holzbrennstoffen (auch bei Scheitholz) zunehmend überregional, was nicht zuletzt auf die vorgenannte Unterstützung durch neue europäische Normen zur Klassifizierung der Brennstoffe (DIN EN ISO 17225) zurückzuführen ist. Den meistens günstigeren Preisen für Biomassebrennstoffe stehen oft höhere Anschaffungskosten für die Feuerungsanlagen gegenüber. Die stetige Preisentwicklung der Biomassebrennstoffe lässt die Prognosen sicherer erscheinen. Eine Kalkulation der Kosten für die Wärmebereitstellung auf der Basis von Heizöl ist aufgrund der starken Preisschwankungen mit einer größeren Unsicherheit verbunden.

Plan der Ausstellung Biomasseheizungen



Hartmann, A.
P 15 E Br 010 Folie 55



Abbildung 48: Dauerausstellung Biomasseheizungen

Auf ca. 400 m² werden aktuell etwa 70 Biomasse-Zentralheizungsanlagen ausgestellt. Viele davon wurden erst in den letzten zwei Jahren aufgestellt. Scheitholz-, Hackschnitzel- und Pelletfeuerungen werden jeweils in einer Abteilung direkt nebeneinander platziert, damit sie einfacher verglichen werden können. Technische Daten vieler Kessel mit Preisangaben werden einheitlich dargestellt und bieten neutrale Informationen. Insgesamt umfasst die Ausstellung mehr als 120 Exponate, darunter auch Kaminöfen, Scheitholzherde, Fernwärmeleitungen, Pelletlager sowie viele weitere Exponate.

Quellenverzeichnis

- [1] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD- UND FORTWIRTSCHAFT (2012): Hackschnitzel richtig lagern, Merkblatt Nr. 11, URL: <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-11-hackschnitzel-lagern.pdf> (Stand: Dezember 2012)
- [2] BAYERISCHE STAATSFORSTEN (2012) Grundsätze zur Lagerung von Waldhackschnitzeln, URL: http://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/01-ueber_uns/05-standorte/Zentrum_fuer_Energieholz/Merkblatt_Lagerung_von_Hackschnitzeln_3.pdf (Stand: Dezember 2012)
- [3] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2010): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Erste Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 -1. BImSchV). Bundgesetzblatt, Jahrgang 2010, Teil I, S. 38, ISSN 0720-2946, URL: <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/1-bimschv-verordnung-ueber-kleine-und-mittlere-feuerungsanlagen/> (Stand: Januar 2010)
- [4] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2015): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Nichtamtliche Lesefassung), vom 11. März 2015, URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/richtlinien-zur-foerderung-von-massnahmen-zur-nutzung-erneuerbarer-energien-im-waermemarkt-nichtamtliche-lesefassung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand: 11. März 2015)
- [5] DEUTSCHER ENERGIE-PELLET-VERBAND E. V. (2014): Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets, URL: http://depi.de/media/filebase/files/infothek/DEPI-Ver%C3%B6ffentlichungen/DEPV_Lagerraumbroschuere.pdf (Stand: Juli 2014)
- [6] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2015): Hackschnitzelheizungen 2015 Was muss aktuell beachtet werden? 1. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 26 Seiten, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/fnr_broschuere-hackschnitzelheizungen.pdf (Stand: Juli 2015)
- [7] HARTMANN, H.; REISINGER, K.; THUNEKE, K.; HÖLDRICH, A.; ROSSMANN, P. (2013): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 3., vollst. überarb. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 192 Seiten, ISBN 3-00-011041-0, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/handbuch_bioenergie-kleinanlagen-komplett.pdf (Stand: September 2013)
- [8] HINTERREITER, S. (2010): Bestimmung und Einflussgrößen der Brückenbildung bei der Lagerentnahme von biogenen Festbrennstoffen, Dissertation. München: Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, 166 Seiten, URL: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/982294/982294.pdf> (Stand: September 2010)

- [9] HÖLDRICH, A.; HARTMANN, H.; DECKER, T.; REISINGER, K.; SCHARDT, M.; SOMMER, W.; WITTKOPF, S.; OHRNER, G. (2006): Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren. Berichte aus dem TFZ, Nr. 11. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 274 Seiten, ISSN 1614-1008, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/11_bericht.pdf (Stand: 2006)
- [10] KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H.; HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Aufl. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer-Verlag, 1030 Seiten, ISBN 978-3-540-85094-6
- [11] KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU, Merkblatt erneuerbare Energien, (2015): [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-\(271-281\)](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-(271-281)) (Stand: 19.06. 2015)
- [12] REISINGER, K., SPORRER, H., HARTMANN, H. (2008): Die Energiedichte biogener Energieträger, Merkblatt, http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/10lsw008_brennstofforgel_pdf (Stand: 2010)
- [13] BUNDESVERBAND DES SCHORNSTEINFEGERHANDWERKES (2014): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerkes 2014, URL: http://www.schornsteinfeger.de/bilder_ziv/files/erhebungen2014.pdf (Stand: 2014)
- [14] SCHLICHTER, M. (2015): Aktuelle Erfahrungen aus der Überwachung von Kleinfeuerungsanlagen. In: TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ) (Hrsg.), 19. Sitzung des Arbeitskreis Holzfeuerung am 20.5. 2015, Schulungs- und Ausstellungszentrum (SAZ). Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 38 Seiten
- [15] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (2015): Den Kaminofen richtig anzünden. Hrsg.: LandSchafttEnergie am Technologie- und Förderzentrum (TFZ). Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 2 Seiten, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/flyer_den_kaminofen_richtig_anzueden.pdf (Stand: 04.08. 2015)
- [16] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (2015): Wärmegewinnung aus Biomasse - Informationsveranstaltung und Dauerausstellung Biomasseheizungen. Hrsg.: LandSchafttEnergie am Technologie- und Förderzentrum (TFZ). Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 2 Seiten http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/service/dateien/flyer_waermegewinnung_aus_biomasse_211014.pdf (Stand: 04.08. 2015)
- [17] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (2009): Heizwerttabelle für verschiedene Holzarten, Merkblatt, Stand: 10/09. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 2 Seiten
- [18] HARTMANN, A.; FORMOWITZ, B.; FRITZ, M. (2011): Miscanthus - vielfältig nutzbare Dauerkultur. TFZ-Kompakt, Nr. 5. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 15 Seiten, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/tfz_kompakt_5_miscanthus.pdf (Stand: 04.08. 2015)

- [19] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (2010) Das Technologie- und Förderzentrum. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwuchsende Rohstoffe, 16 Seiten, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/tfz/dateien/tfz_imagebroschuere.pdf (Stand: 04.08. 2015)
- [20] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (2014): Qualitätshackschnitzel nach DIN EN ISO 17225-4, Merkblatt, URL: http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/14bku002_mb_brennstoffspezifikation_von_qualitaetshackschnitzel.pdf (Stand: Juli 2014)
- [21] WEIMAR, H. (2014), Holzbilanzen 2012 und 2013 für die Bundesrepublik Deutschland. Thünen Working Paper, Nr. 31. Hamburg: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, 37 Seiten, URL: http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn054034.pdf (Stand: Oktober 2014)
- [22] WIDMANN, B.; LANGER, E.; MENRAD, K., (2013): Kompetenzzentrum für Nachwuchsende Rohstoffe, Straubing: KoNaRo – Kompetenzzentrum für Nachwuchsende Rohstoffe, 10 Seiten

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion - Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen - Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte –
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors

15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
18	Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
21	Kleine Biomassefeuerungen – Marktüberlegungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauvarianten
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
30	Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
31	Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufe I und II
32	Pflanzenöltaugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

33	Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
34	Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
35	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen
36	Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
37	Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat
38	Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
39	Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
40	Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
41	Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605 – Absenkung der Gehalte an Calcium, Magnesium und Phosphor



ISSN 1614-1008