

HANDBUCH ZUM QUALITÄTSMANAGEMENT VON HOLZHACKSCHNITZELN



HINTERGRÜNDE
BEREITSTELLUNG
QUALITÄTSSICHERUNG

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Verbundprojektes „qualiS – Brennstoffqualifizierung und Qualitätsmanagement in der Hackschnitzelproduktion als Beitrag zur Emissionsminderung und Nachhaltigkeit“ angefertigt.

Förderkennzeichen (FKZ) der Teilvorhaben: 22031814 (TV1), 2203571 (TV2), 22035814 (TV3), 22005815 (TV4)

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Bundesverband Bioenergie e. V. (BBE)
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen (HAWK)
Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Herausgeber:	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) OT Gülzow, Hofplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen Tel.: 03843/6930-0, Fax: 03843/6930-102 info@fnr.de www.fnr.de	Bundesverband Bioenergie e. V. (BBE) Godesberger Allee 142–148, 53175 Bonn Tel.: 0228/81002-22, Fax: 0228/81002-58 info@bioenergie.de www.bioenergie.de
---------------------	--	--

Autoren

Bernd Geisen (BBE), Fabian Givers (HAWK), Dr. Daniel Kuptz (TFZ), David Peetz (DBFZ), Dr. Torsten Schmidt-Baum (DBFZ), Claudia Schön (TFZ), Katrin Schreiber (LWF), Fabian Schulmeyer (LWF), Toni Thudium (BBE), Dr. Volker Zelinski (HAWK), Thomas Zeng (DBFZ)

Redaktion

durch Autoren

Bilder

Titel: Bundesverband Bioenergie e. V. (BBE)
Sofern nicht am Bild vermerkt: Verbundprojekt qualiS

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Bestell-Nr. 910
1. Auflage
FNR, April 2017

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.

ISBN 978-3942147-35-4

HANDBUCH ZUM QUALITÄTSMANAGEMENT VON HOLZHACKSCHNITZELN





INHALT

1	Einleitung	4
	<i>Bernd Geisen (BBE) und Toni Thudium (BBE)</i>	
2	Energiepolitischer Hintergrund und rechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland	7
	<i>Erstautor Dr. Torsten Schmidt-Baum (DBFZ) und Zweitautor David Peetz (DBFZ)</i>	
2.1	Energiepolitischer Hintergrund	7
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	8
2.2.1	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	8
2.2.2	Energieeinsparverordnung – EnEV	8
2.2.3	Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG	8
2.3	Marktanreizprogramm (MAP)	9
2.3.1	BAFA	10
2.3.2	KfW	10
2.3.3	Weitere Förderungsprogramme	11
3	Marktbetrachtungen kleiner und mittlerer Hackschnitzelfeuerungen	13
	<i>David Peetz (DBFZ)</i>	
3.1	Anlagenbestand kleiner und mittlerer Hackschnitzelfeuerungen	13
3.2	Brennstoffeinsatz in kleinen und mittleren Hackschnitzelfeuerungen	14
3.3	Investitionskosten von Hackschnitzel-Heizungsanlagen	18
3.4	Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln	19
3.5	Zusammenfassung der Marktbetrachtung	20
4	Strukturen der Hackschnitzelproduzenten und Nachfrage an qualitativ hochwertigen Holzhackschnitzeln	21
	<i>David Peetz (DBFZ)</i>	
4.1	Allgemeine Strukturen der Hackschnitzelproduzenten	21
4.1.1	Vermarktung von Hackschnitzel nach den Brennstoffspezifikationen der DIN EN ISO 17225-4 und weiterer Normen	21
4.1.2	Identifizierung der Abnehmer von Holzhackschnitzeln	23
4.1.3	Anzahl vermarkteter Hackschnitzelsortimente	23
4.1.4	Bezug des Ausgangsmaterials für die Hackschnitzelbereitstellung	23
4.2	Nachfrage und Bedarf an qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln	25
4.3	Zusammenfassung zu den Nutzergruppen von qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln	25
5	Brennstoffqualität von Holzhackschnitzeln	28
	<i>Dr. Daniel Kuptz (TFZ)</i>	
5.1	Qualitätsparameter und deren Einfluss auf die Verbrennung	28
5.2	Normung und Zertifizierung	30
6	Holzhackschnitzelproduktion	31
	<i>Dr. Daniel Kuptz (TFZ) und Fabian Schultmeyer (LWF)</i>	
6.1	Brennstoffqualität bei der Hackschnitzelproduktion im Wald	31
6.2	Lagerung und natürliche Trocknung von Waldhackschnitzeln und Hackholz	33
6.3	Weitere Quellen für Holzhackschnitzel	34
6.4	Empfehlungen für den Eigenverbraucher	34



7	Mechanische Aufbereitung von Hackschnitzeln durch Siebung und Trocknung	35
	<i>Dr. Daniel Kuptz (TFZ), Kathrin Schreiber (LWF) und Fabian Schulneyer (LWF)</i>	
7.1	Sieb- und Trocknungstechniken	35
7.1.1	Siebtechnik	35
7.1.2	Trocknungstechnik	37
7.2	Fallstudien zur Hackschnitzelaufbereitung	39
7.2.1	Fallstudie 1: Gekoppelte Aufbereitung mittels Wälzbettrockner und Schwingsieb	40
7.2.2	Fallstudie 2: Entkoppelte Aufbereitung mittels Containertrocknung und Sternsieb	42
7.2.3	Fallstudie 3: Entkoppelte Aufbereitung mittels Trommelsieb und Mietentrocknung	45
7.2.4	Fallstudie 4: Aufbereitung mittels Schubbodentrockner (Eigenbau)	46
7.2.5	Fallstudie 5: Entkoppelte Aufbereitung mittels Sternsieb und Mietentrocknung	48
7.2.6	Fallstudie 6: Aufbereitung mittels Bandrockner und Schwingsieb (gekoppelt) und mittels Trommelsieb (entkoppelt)	51
7.2.7	Zusammenfassung Brennstoffqualität	53
7.2.8	Zusammenfassung Produktionskosten	55
8	Emissionsverhalten von aufbereiteten Waldrestholz hackschnitzeln	57
	<i>Thomas Zeng (DBFZ), Claudia Schön (TFZ) und Daniel Kuptz (TFZ)</i>	
8.1	Durchführung der Verbrennungsversuche	57
8.2	Feuerungsseitige Optimierungspotenziale	58
8.3	Brennstoffseitige Optimierungspotenziale	59
8.4	Zusammenfassung und Empfehlungen für Nutzer von Feuerungen mit Qualitätshackschnitzeln aus Waldrestholz	64
9	Qualitätsmanagement für die Hackschnitzelbereitstellung	66
	<i>Dr. Volker Zelinski (HAWK)</i>	
9.1	Schritte der Qualitätssicherung	67
9.2	Kontrollpunkte und Qualitätssicherungsmaßnahmen	71
9.3	Ergänzende Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung	73
10	Vereinfachte Methoden zur Selbstüberwachung der Hackschnitzelqualität	74
	<i>Dr. Volker Zelinski (HAWK)</i>	
10.1	Vereinfachte Methoden der Selbstüberwachung	74
10.1.1	Probenahmen angelehnt an die DIN EN ISO 18135 (bisher: DIN EN 14778)	75
10.1.2	Bestimmung des Wassergehalts	76
10.1.3	Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und des Feinanteils	77
10.1.4	Validierung der Methoden (Vergleich mit Analysen und Normen)	79
11	Zusammenfassung	84
	<i>Toni Thudium (BBE)</i>	
	Literaturverzeichnis	86

1 EINLEITUNG

Energieholz ist eine regenerative und nachhaltige Energiequelle, die einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Wärme- wende leistet, ohne den die europäischen Klimaschutzziele kaum zu erreichen sind. Betreiber von Holzheizungen erbringen somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, stärken regionale Wertschöpfungskreisläufe und erzielen durch eine preiswerte Brennstoffversorgung nicht zuletzt auch ökonomische Vorteile. Die nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder garantiert uns dabei, dass der Brennstoff Holz auch über Generationen hinaus in angemessener Menge zur Verfügung steht. Die moderne Holznutzung ist allerdings mit hohen Anforderungen hinsichtlich Effizienz und Emissionsverhalten verknüpft. Seitens der 2. Stufe der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV), die Anfang 2015 in Kraft trat, muss sich der Anlagenbetreiber die Frage stellen, wie umweltrechtlichen Anforderungen, insbesondere vor dem Hintergrund stark reduzierter Grenzwerte für Staub und CO, entsprochen werden kann. Neben den anlagenseitigen Faktoren hat die Brennstoffqualität einen entscheidenden Einfluss auf das Emissionsverhalten und einen störungsarmen Heizbetrieb. Dies gilt insbesondere bei der energetischen Verwertung von Holzhackschnitzeln (HHS). Es ist daher zu erwarten, dass zukünftig Brennstoffe, die sich aufgrund ihrer optimierten Brennstoffeigenschaften positiv auf das Emissionsverhalten und den störungsarmen Betrieb auswirken, verstärkt nachgefragt werden.

Mit dem vorliegenden Handbuch werden die Ergebnisse aus einem über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Verbundprojekts qualiS, welches sich mit den o. g. Fragestellungen und Erwartungen auseinandergesetzt hat, vorgestellt. Das Handbuch ist mit seinen verschiedenen Kapiteln modular angelegt, sodass es dem Anwender möglich ist, direkt in das jeweilige Interessensgebiet einzusteigen. Dabei werden komplexe Zusammenhänge allgemein verständlich und praxisnah dargestellt. Zu Beginn werden in Kapitel 2 die relevanten energiepolitischen und rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland aufgezeigt. Es werden Fördermöglichkeiten für automatisch beschickte Holzfeuerungen im kleinen Leistungsbereich dargestellt sowie die damit einhergehenden Anforderungen hinsichtlich Effizienz und einzuhaltende Emissionsgrenzwerte erläutert. In Kapitel 3 wird der deutsche Markt

für kleine und mittlere Holzhackschnitzel-Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach §4 des Bundes-Immissionschutzgesetzes bedürfen und mit einer Leistung <1 Megawatt (MW) im Geltungsbereich der 1. BImSchV liegen, näher beleuchtet. Über den ermittelten Anlagenbestand und die Brennstoffnachfrage der vergangenen Jahre wird der aktuelle Jahres-Holzhackschnitzelbedarf für Anlagen im kleinen Leistungsbereich abgeschätzt. Auf Basis einer deutschlandweiten Produzentenumfrage zur Aufbereitung und Zertifizierung von Qualitätshackschnitzeln (QHS) werden in Kapitel 4 sowohl allgemeine Strukturen der Hackschnitzelproduzenten als auch die der Hackschnitzelabnehmer dargestellt. Weiterhin werden Aussagen über das Marktpotential und das vorrangige Einsatzgebiet von QHS getroffen.

Insbesondere für sehr heterogene Naturprodukte wie Holzhackschnitzel, bei denen die Qualität aufgrund unterschiedlicher Ausgangsmaterialien und verschiedener Prozessketten zur Hackschnitzelbereitstellung stark schwanken kann, bedarf es einer Möglichkeit zur Beschreibung der vorliegenden Brennstoffqualität und die Kenntnis über die wichtigsten Parameter und deren Einfluss auf die Verbrennung. Kapitel 5 fasst hier das wichtigste Wissen zusammen. An dieser Stelle knüpft Kapitel 6 an und geht weiter auf die Hackschnitzelproduktion im Wald und die dazugehörigen Optimierungsmöglichkeiten bezüglich einer verbesserten Brennstoffqualität ein. Es werden praxisnahe Empfehlungen sowohl für den professionellen Produzenten als auch für den Selbstversorger mit einer weniger mechanisierten Ausrüstung aufgezeigt. Neben der Auswahl eines geeigneten Ausgangsmaterials und dem passenden Ernte- und Bringverfahren hat u.a. auch die korrekte Lagerung einen bedeutenden Einfluss auf die spätere Qualität der Holzhackschnitzel. Sollte die dadurch erzielte Qualität für den angestrebten Verwendungszweck nicht ausreichen, so kann diese durch weitere Aufbereitungsmaßnahmen, wie z. B. die technische Trocknung und Siebung, weiter verbessert werden. Kapitel 7 erläutert daher zunächst die aktuell dem Stand der Technik entsprechenden Aufbereitungsverfahren. Die Frage nach Möglichkeiten der Qualitätsverbesserung und der Einflussstärke verschiedener Maßnahmen wird anhand von 6 konkreten Fallstudien erläutert und über die erhobenen Kosten die Wirtschaftlichkeit dieser abgeleitet. In anschließenden Feuerungsversuchen wurde dann der



Frage nachgegangen, welche Auswirkungen qualitativ hochwertige Holz hackschnitzel auf das Emissionsverhalten einer Feuerung haben können und ob das Emissionsminderungspotential ausreichend groß ist, um den Vorgaben der 1. BImSchV ohne weitere Abgasbehandlung (z. B. über Elektroabscheider) gerecht zu werden. Die Ergebnisse sowie die Methodik der Feuerungsversuche sind in Kapitel 8 näher beschrieben.

Befasst man sich mit der Herstellung und Bereitstellung von Holz hackschnitzeln, so ist die Einführung von qualitätssichernden Maßnahmen eine sinnvolle Methode, um langfristige und nachweislich Brennstoffe gleichbleibender Qualität zu gewährleisten. Kapitel 9 und 10 stehen hierbei als Leitfaden zur Einführung eines Qualitätsmanagementsystems zur Verfügung. In diesem Rahmen beinhalten die Kapitel Informationen zu sinnvollen Kontrollpunkten und der zugehörigen korrekten Probenentnahme. Für wichtige Parameter wurden vereinfachte Methoden entwickelt. Obwohl diese Methoden an die geltenden Normen angelehnt sind, ist deren Durchführung vergleichsweise anwenderfreundlich und mit relativ einfacher Ausrüstung durchführbar. Eine ausreichende Übereinstimmung der vereinfachten Methoden mit den Ergebnissen der Standardmethoden nach Norm konnte nachgewiesen werden. Somit erhält der selbstproduzierende Eigenversorger ein Instrument zur Überprüfung seiner Brennstoffqualität und der professionelle HHS-Händler die Möglichkeit einer kontinuierlichen und effizienten Prozessüberwachung.

Das Handbuch richtet sich damit an alle Unternehmen, Institutionen und Personen, welche sich für eine optimierte und nachhaltige Bereitstellung von Holz hackschnitzeln interessieren. Es wird hierbei insbesondere auf den professionellen Produzenten, Aufbereiter und Händler, aber auch auf den Selbsterzeuger eingegangen. Aber auch Betreiber von Holz hackschnitzelheizungen im kleinen Leistungssegment, Contractoren, gewerbliche und kommunale Kleinanlagenbetreiber, Qualitätsmanager und Kesselhersteller finden in diesem Handbuch sachdienliche Informationen zu einem optimierten Umgang mit dem Brennstoff Holz hackschnitzel. Die nachfolgenden Empfehlungen und Hinweise sollen dem Anwender dabei helfen, einen kontinuierlich hochwertigen Brennstoff zu erzeugen und dessen Qualität zu charakterisieren und zu kontrollieren, sodass eine optimale Verbrennung sowie ein effektiver und umweltfreundlicher Heizbetrieb bei automatisch beschickten Kleinfeuerungsanlagen mit Holz hackschnitzeln gewährleistet wird.



KAPITEL 2

Energiepolitischer Hintergrund und rechtliche
Rahmenbedingungen in Deutschland



2 ENERGIEPOLITISCHER HINTERGRUND UND RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND

Der Staat bietet eine Reihe von Fördermöglichkeiten für die Anschaffung von Biomasseheizanlagen. Zugleich stellt er aber auch Forderung an deren Effizienz und setzt Grenzwerte bezüglich der Emissionen. Im Nachfolgenden werden die wesentlichen politischen und derzeit geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen sowie relevante Förderrichtlinien kurz erläutert.

2.1 Energiepolitischer Hintergrund

Zur Umsetzung der von den Vereinten Nationen im Kyoto Protokoll vereinbarten und 2005 in Kraft getretenen Klimaschutzziele wurden mit der EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nut-

zung von Energie aus erneuerbaren Quellen den Mitgliedstaaten verbindliche Zielwerte gesetzt. So verpflichtet sich Deutschland zur Senkung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % gegenüber 1990. Der Anteil von erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll bis zum Jahr 2020 auf 18 %, im Bereich Kälte und Wärme auf 14 % erhöht werden.

Rund die Hälfte des Energieverbrauchs in Deutschland wird für Raum- und Prozesswärme sowie für Warmwasser benötigt.

Im Jahr 2015 betrug der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme etwa 13,2 % [2-1].

Wie Abbildung 2.1 zeigt, können die Klimaschutzziele im Wärmebereich aufgrund ihrer großen Bedeutung nicht ohne feste Biobrennstoffe erreicht werden.

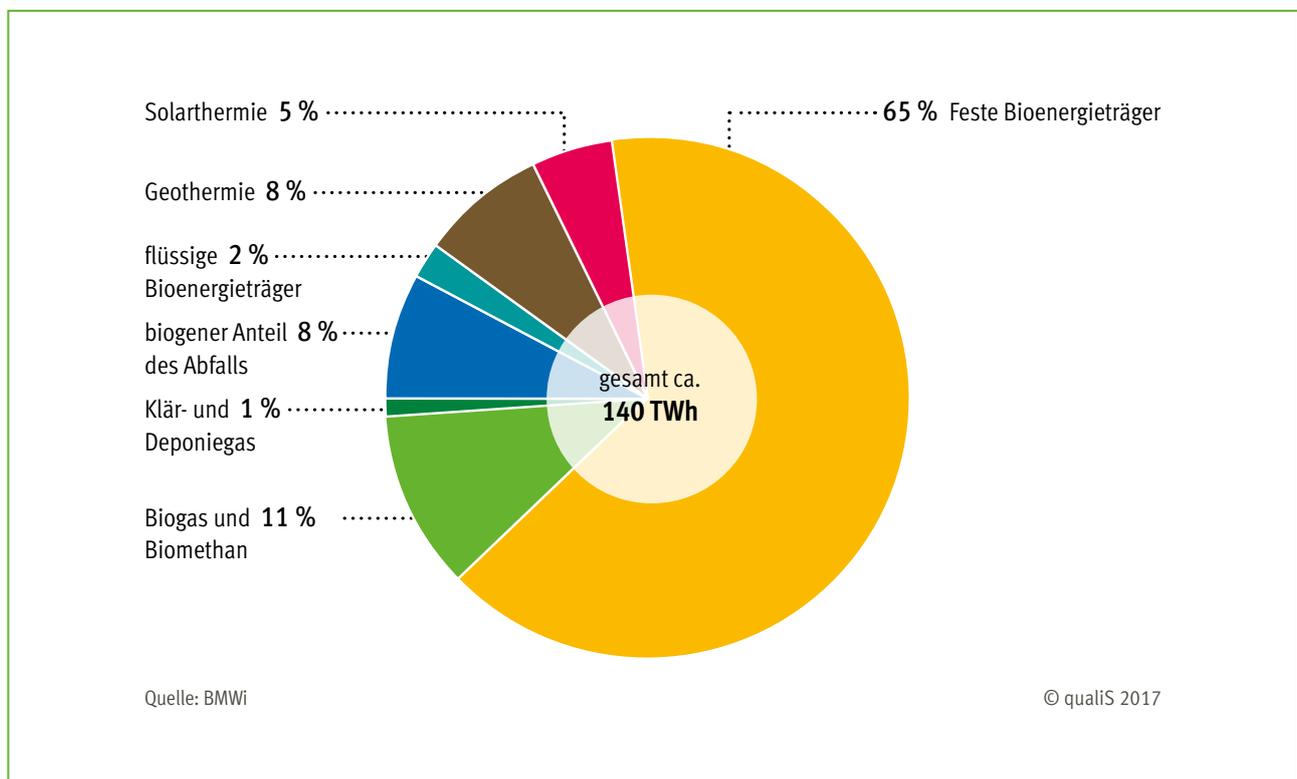


Abb. 2.1: Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern in Deutschland im Jahr 2014: ca. 140 TWh [2-1], [2-2]

Nach dem Grundsatz „Fordern und Fördern“ verankert die Bundesregierung im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EE-WärmeG) die Verpflichtung zum Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältesektor. Zugleich erhalten Wohnungseigentümer, Unternehmen und Kommunen Förderungen über das Marktanzreizprogramm, um ihre Wärmeversorgung auf erneuerbare Energiequellen umzustellen. Ziel der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) ist die Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudebestand und im Neubau. Bemessungsgrundlage ist hier der Primärenergiebedarf, der durch eine Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energieträgern wie Holzhackschnitzeln wirksam gesenkt werden kann. Weitere Informationen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien finden Sie unter der Serviceseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie [2-2].

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

2.2.1 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Das am 1. Januar 2009 in Kraft getretene EEWärmeG schreibt vor, dass alle Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 50 m², die seit Januar 2009 neu errichtet werden, zur Deckung ihres Wärmebedarfs anteilig erneuerbaren Energien nutzen müssen. Bei öffentlichen Gebäuden gilt dies auch bei grundlegender Sanierung. Beim Einsatz von fester Biomasse müssen 50 % des Wärmeenergiebedarfes gedeckt werden. Anlagen mit einer Leistung größer als 50 kW müssen einen Kesselwirkungsgrad von mindestens 88 % (um Fördergelder zu erhalten ist ein Kesselwirkungsgrad von 89 % erforderlich) aufweisen bzw. 70 % wenn diese nicht der Heizung oder Warmwasserbereitung dienen (siehe Anhang II 3, EEWärmeG). Zur Erfüllung seiner Nachweispflichten gegenüber der zuständigen Behörde muss der Eigentümer des Gebäudes innerhalb von drei Monaten ab dem Inbetriebnahmejahr der Heizungsanlage eine Abrechnung des Brennstofflieferanten vorlegen. Um im weiteren Anlagenbetrieb der Behörde auf Verlangen Nachweise erbringen zu können, sind die Abrechnungen des Brennstofflieferanten für die ersten 15 Jahre ab dem Inbetriebnahmejahr der Heizungsanlage jeweils mindestens fünf Jahre ab dem Zeitpunkt der Lieferung aufzubewahren.

Das EEWärmeG weist auch auf die Fördermöglichkeiten im Rahmen des Marktanzreizprogramms für erneuerbare Energien hin. Hier können Fördermittel für Bestandsbauten beantragt werden, wenn eine Wärmeanlage aus erneuerbaren Energien installiert wird. Förderfähig sind solarthermische Anlagen sowie Anlagen zur Nutzung von Biomasse, Geothermie und Umweltwärme. Außerdem werden Nahwärmenetze und Speicher gefördert. Verwaltet werden die Fördermittel vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.

Eine aktuelle Fassung des EEWärmeG finden Sie auf der Serviceseite des Bundesministeriums für Justiz und Verbraucherschutz.

2.2.2 Energieeinsparverordnung – EnEV

Zweck der EnEV ist die Verbesserung der Wärmedämmung und eine Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden. Hierzu werden die zulässigen Energieverbrauchs-Grenzwerte für neu gebaute oder sanierte Gebäude schrittweise abgesenkt und der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung begrenzt. So müssen ab 1. Januar 2016 neu errichtete Wohn- und Nichtwohngebäude deutlich höhere energetische Anforderungen erfüllen. Der zulässige Primärenergiebedarf wird um 25 % gesenkt. Der Dämmstandard der Gebäudehülle (Wärmedurchgangskoeffizient) wird um durchschnittlich 20 % erhöht.

Zur Einhaltung der Forderungen bezüglich des Primärenergiebedarfes steht es Architekten und Bauherren frei, Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes oder/und zur effizienten Wärmeerzeugung zu ergreifen. Im Vergleich zum Erdgas wird beim Einsatz von Holz nur ein Fünftel an fossiler Primärenergie verbraucht (bezogen auf die Endenergie), sodass Hackschnitzelkessel ebenfalls einen wichtigen Beitrag zu Einhaltung der Mindestanforderungen leisten können.

2.2.3 Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG

Bei der Planung von Biomasseheizanlagen ist immer deren Genehmigungsbedürftigkeit zu prüfen und die sich daraus ergebenden Anforderungen hinsichtlich der Anlagenauslegung zu berücksichtigen.

Von großer Bedeutung bei der Genehmigung von Bioenergieanlagen ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), dessen Zweck der Schutz von Menschen, Tieren, Pflanzen, Böden, Wasser, Atmosphäre und Kulturgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen ist.

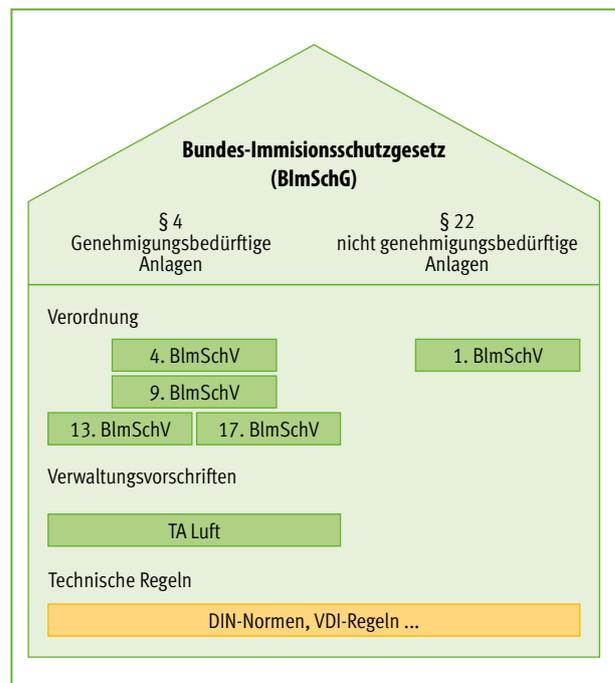


Abb. 2.2: Zusammenhang zwischen dem BImSchG und ausgewählten Verordnungen, Verwaltungsvorschriften sowie den technischen Regeln, angepasst nach [2-3]

Tab. 2.1: Stufenweise Absenkung der Emissionsgrenzwerte für wiederkehrende Messungen durch die Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV)

1. BImSchV			Stufe 1 Anlagen die nach dem 22. März 2010 errichtet wurden		Stufe 2 Anlagen die nach dem 31. Dezember 2014 errichtet wurden	
Brennstoff nach § 3 Absatz 1		Nennwärmeleistung [kW]	Staub [g/m ³]	CO [g/m ³]	Staub [g/m ³]	CO [g/m ³]
Nr.	Bezeichnung					
4	naturbelassenes stückiges Holz einschl. anhaftender Rinde (Scheitholz*, Hack-schnitzel, Reisig, Zapfen)	≥ 4 ≤ 500	0,10	1,00	0,02	0,40
5	Naturbelassenes nicht stückiges Holz (Sägemehl, Spänen, Schleifstaub, Rinde)	> 500		0,50		
5a	Presslinge aus naturbelassenen Holz	≥ 4 ≤ 500	0,06	0,80		

* Bei Feuerungen in den ausschließlich Brennstoffe nach § 3 Absatz 1 Nummer 4 in Form von Scheitholz eingesetzt werden, gelten die Grenzwerte der Stufe 2 erst für Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2016 errichtet werden.

Die Charakterisierung der Anlagen, die genehmigungspflichtig sind, erfolgt in der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV). Die 9. BImSchV (Verordnung über das Genehmigungsverfahren) beinhaltet die Regelungen über die Durchführung von Genehmigungsverfahren sowie Anforderungen an die Antragsunterlagen. Es wird empfohlen, sich frühzeitig vor Beginn eines Genehmigungsverfahrens von der örtlich zuständigen Genehmigungsbehörde bezüglich der notwendigen Antragsunterlagen und des zeitlichen Ablaufes beraten zu lassen.

Bei der Planung von Großfeuerungsanlagen sind zudem die 13. BImSchV, die Anforderungen an diese Anlagen definiert, sowie die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), die die Emissionsgrenzwerten für genehmigungspflichtige Anlagen festlegt, zu beachten (siehe Abb. 2.2).

Hackschnitzelkessel mit einer Feuerungswärmeleistung kleiner 1 MW, die naturbelassenes stückiges Holz verwenden, sind gemäß § 22 BImSchG nicht genehmigungspflichtig. Für diese gilt die Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV), die eine Reduzierung der Immissionsbelastungen im direkten Umfeld der Feuerungsanlage bezweckt sowie eine effizientere Energienutzung fördert.

Um den Einbau effizienter und emissionsarmer Anlagentechnik voranzutreiben, wurden mit der am 22. März 2010 in Kraft getretene novellierten Fassung des 1. BImSchV die Anforderungen vor allem an neue Holzfeuerungen durch eine stufenweise Absenkung der Emissionsgrenzwerte für Staub und Kohlenstoffmonoxid (CO) verschärft. (siehe Tab. 2.1). So müssen nach dem 1. Januar 2015 in Betrieb gegangene Anlagen bei der wiederkehrenden Messung durch den Schornsteinfeger einen Staubgrenzwert von 0,02 g/m³ (13 % O₂) einhalten.

Mit abnehmender Brennstoffqualität und zunehmender Anlagengröße wird der Einbau effektiver Feinstaubabscheider notwendig (z. B. C.A.R.M.E.N. e. V., listet Feinstaubabscheider für Kessel-Leistungsbereiche bis 1 MW [2-4]).

Auch für Altanlagen sind zeitlich gestaffelte Regelungen für den Austausch oder die Ertüchtigung zur Verringerung des Feinstaubausstoßes (Staubabscheider) festgelegt. Die Übergangs-

fristen und Ausnahmeregelungen sind allerdings relativ großzügig (siehe Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Übergangsfristen für automatisch beschickte Altanlagen gemäß der 1. BImSchV

Zeitpunkt der Errichtung	Zeitpunkt der Einhaltung der Grenzwerte der Stufe 1 des § 5 Absatz 1
bis einschließlich 31. Dezember 1994	01. Januar 2015
vom 1. Januar 1995 bis einschließlich 31. Dezember 2004	01. Januar 2019
vom 1. Januar 2005 bis einschließlich 31. März 2010	01. Januar 2025

2.3 Marktanreizprogramm (MAP)

Das Marktanreizprogramm ist ein zentrales Förderprogramm für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt. Für Privatleute, Unternehmen und Kommunen, die in Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse investieren, stehen grundsätzlich zwei Optionen zur Verfügung:

- Zuschüsse des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für kleinere Anlagen mit einer Nennwärmeleistung < 100 kW in Privathaushalten und in Unternehmen.
- Zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) für große, gewerbliche Anlagen – diese können beispielsweise Wäschereien, Hotels oder kommunale Eigenbetriebe in Anspruch nehmen, die in erneuerbare Prozesswärme investieren, Biomasse-Heizkraftwerke oder dafür ausgelegte Wärmenetze errichten.

Wichtige Fördervoraussetzung ist, dass die geförderte Anlage – auch bei einem eventuell stattfindenden Eigentümerwechsel – mindestens sieben Jahre ohne Stilllegung betrieben wird. Einen guten Überblick der Fördermöglichkeiten des Marktanreizprogrammes bieten die Webseiten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) [2-5].

2.3.1 BAFA

Hausbesitzer bzw. Betreiber einer Anlage zur Verbrennung von Biomassehackschnitzeln bis 100 kW Nennwärmeleistung können bei der BAFA Anträge auf einen Zuschuss einreichen. Die Formulare, die auch elektronisch ausgefüllt werden können, werden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle auf seiner Webseite bereitgestellt [2-6].

Nach den derzeit geltenden Förderrichtlinien beträgt die Basisförderung für eine neu errichtete automatisch beschickte Anlage mit Leistungs- und Feuerungsregelung sowie automatischer Zündung zur Verfeuerung von Hackschnitzeln zur Wärmeerzeugung pauschal 3.500 € je Anlage.

Die Hackschnitzelkessel müssen mit einem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW (Nennwärmeleistung der Anlage) versehen sein. Der Kesselwirkungsgrad muss mindestens 89 % betragen.

Weitere technische Fördervoraussetzung ist u. a. die Einhaltung der in den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt gesetzten Emissionsgrenzwerte. So ist der Ausstoß von Kohlenstoffmonoxid auf 200 mg/m³ bei Nennwärmeleistung und die staubförmigen Emissionen auf 0,02 g/m³ begrenzt.

Darüber hinaus werden über das BAFA Innovations- und Zusatzförderungen für Sekundärmaßnahmen angeboten. Hierzu zählen Maßnahmen zur Emissionsminderung (z. B. elektrostatische Partikelabscheider) und zur Effizienzsteigerung (Brennwertnutzung).

Die Tabelle 2.3 gibt einen Überblick über weitere BAFA-Förderungen.

Tab. 2.3: Förderprogramm-Beschreibung-Fördersumme (Stand 20.01.2017)

Basisförderung	Gebäudebestand		Pauschal 3.500 € je Anlage
Innovationsförderung	mit Brennwertnutzung	Gebäudebestand	3.500 €
		Neubau	3.000 €
	mit Partikelabscheidung	Gebäudebestand	5.250 €
		Neubau	3.500 €
Nachrüstung Abscheider	Gebäudebestand	750 €	
	Neubau	750 €	
Zusatzförderung	Kombinationsbonus	Solarkollektoranlage, Wärmepumpenanlage	+ 500 €
		Wärmenetz	+ 500 €
	Gebäudeeffizienzbonus	–	zusätzlich 0,5 x Basis- oder Innovationsförderung

Der Gebäudeeffizienzbonus kann für Maßnahmen in einem effizient gedämmten Wohngebäude im Gebäudebestand (Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus müssen erfüllt sein) in Höhe von bis zu 50 % der jeweiligen Basisförderung bzw. Innovationsförderung gewährt werden. Effizient im Sinne dieser Vorschrift sind Wohngebäude, die die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 55 erfüllen.

Der Kombinationsbonus Wärmenetz wird zusätzlich zur Basisförderung gewährt, wenn eine förderfähige Biomasseanlage hydraulisch an ein Wärmenetz angeschlossen wird. Die Zusatzförderung beträgt 500 €.

Das BAFA bewilligt und zahlt nur Zuschüsse für Biomasseanlagen aus, sofern zuvor ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage durchgeführt wurde und der entsprechende Nachweis erbracht wird. Beim hydraulischen Abgleich werden die einzelnen Komponenten der Heizungsanlage wie Heizkörper, Thermostatventile, Pumpen und Rohre so aufeinander abgestimmt, dass die Heizkörper jederzeit mit genau der richtigen Menge an Heizwasser versorgt werden. Förderungen zur Durchführungen eines hydraulischen Abgleiches werden ebenfalls angeboten.

Details zu der BAFA-Förderung können auf den Seiten des Bundesamtes abgerufen werden [2-8].

2.3.2 KfW

Das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“ unterstützt besonders förderungswürdige, größere Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt mit zinsgünstigen Darlehen der KfW und mit Tilgungszuschüssen, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert werden. Zu den Förderberechtigten zählen:

- natürliche Personen, die die erzeugte Wärme und/oder den erzeugten Strom ausschließlich für den privaten Eigenbedarf nutzen (keine Vermietung und keine Landwirtschaft)
- gemeinnützige Antragsteller und Genossenschaften,
- freiberuflich Tätige,
- Landwirte und Unternehmen,
- Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften und Gemeindeverbände.

Die KfW gewährt Kredite grundsätzlich über Kreditinstitute (Banken und Sparkassen), die für die von ihnen durchgeleiteten Kredite vollständig die Haftung übernehmen. Der Antrag ist daher vor Beginn des Vorhabens bei Ihrer Hausbank zu stellen. Planungsleistungen dürfen vor Antragstellung erbracht werden.

Mit dem Förderprogramm können, auch wenn der Antragsteller nicht zum Vorsteuerabzug berechtigt ist, bis zu 100 % der förderfähigen Nettoinvestitionskosten ohne Mehrwertsteuer (MwSt.) finanziert werden.

Biomasseanlagen zur Verbrennung fester Biomasse für die thermische Nutzung erhalten einen Tilgungszuschuss von bis zu 20 € je kW installierter Nennwärmeleistung (Grundförderung) für förderfähige Biomasseanlagen zur thermischen Nutzung, höchstens jedoch 50.000 € je Einzelanlage. Des Weiteren können folgende Boni genutzt werden:

- Bonus für niedrige Staubemissionen: Bis zu 20 € je kW Nennwärmeleistung, sofern die staubförmigen Emissionen maximal 15 mg/m³ (Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 vol-% im Normzustand (273 K, 1.013 hPa)) betragen.
- Bonus für die Errichtung eines Pufferspeichers: Die Grundförderung erhöht sich um bis zu 10 € je kW Nennwärmeleistung, sofern für den Kessel ein Pufferspeicher mit einem Mindestspeichervolumen von 30 l/kW Nennwärmeleistung installiert wird.

Grundförderung und die Boni sind kumulierbar. Der maximale Tilgungszuschuss mit Bonusnutzung beträgt 100.000 € je Anlage.

Auch Wärmenetze, die zur Versorgung einzelner oder mehrerer Objekte erforderlich sind, werden mit 60 € je neu errichtetem Meter, höchstens jedoch 1 Mio. € (Förderhöchstbetrag) gefördert.

Zuzüglich zu der Wärmenetzförderung pro Meter Trasse können die Hausübergabestationen von Bestandsgebäuden mit jeweils bis zu 1.800 € gefördert werden, wenn die Investitionen vom Investor und Betreiber des Wärmenetzes durchgeführt werden und kein kommunaler Anschlusszwang besteht.

Alle Informationen zum KfW Förderprogramm sind im Merkblatt Erneuerbare Energien – KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“ zusammengefasst [2-9].

2.3.3 Weitere Förderungsprogramme

Über das **Förderprogramm Heizungsoptimierung** können sich Privatpersonen, Unternehmen, freiberuflich Tätige, Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften und kommunale Zweckverbände sowie sonstige juristische Personen des Privatrechts zwei Maßnahmen fördern lassen:

- **Pumpenaustausch**

Gefördert wird der Austausch alter Pumpen durch hocheffiziente Pumpen für Heizung und Warmwasser.

- **Hydraulischer Abgleich**

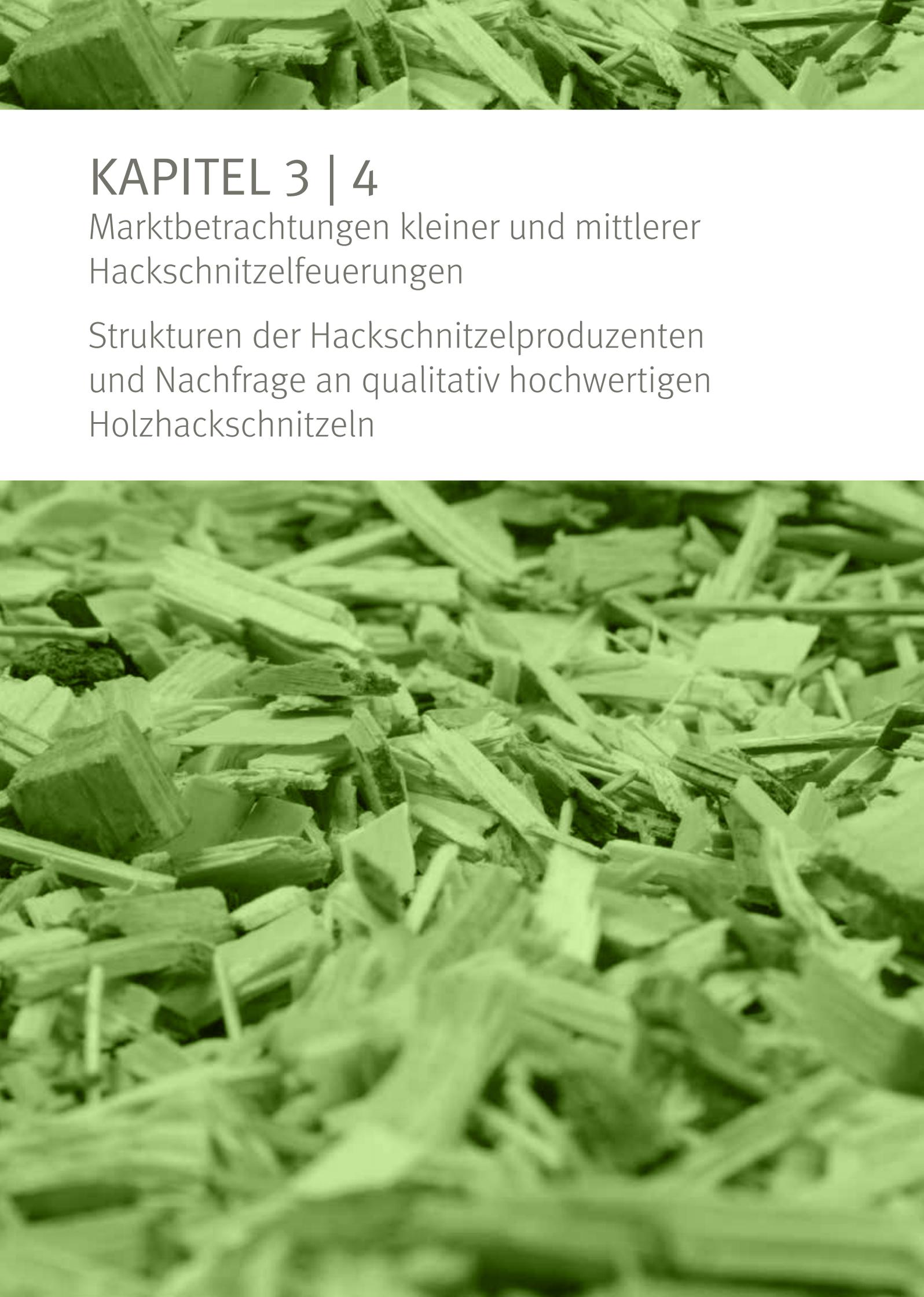
Die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs bei bestehenden Heizsystemen wird ebenfalls bezuschusst. Dabei stimmt ein Fachbetrieb alle Komponenten der Heizungsanlage aufeinander ab und optimiert diese für die Gebäudenutzung. Ergänzend zum hydraulischen Abgleich werden auch weitere Investitionen und Optimierungen an der bereits installierten Anlage gefördert (z. B. Austausch von Thermostatventilen).

Eine Kombination von Pumpenaustausch und Heizungsoptimierung ist möglich und sinnvoll. Bezuschusst werden die Fördermaßnahmen jeweils mit bis zu 30 %, maximal 25.000 €.

Die „Richtlinie über die Förderung der Heizungsoptimierung durch hocheffiziente Pumpen und den hydraulischen Abgleich“ bildet die Grundlage für die das Förderprogramm [2-10].

Weitere Fördermöglichkeiten bieten bspw. das für Bayern gültige **10.000 Häuserprogramm**, das den vorzeitigen Austausch von veralteten, ineffizienten Heizkesseln durch moderne, innovative Heizanlagen (Öl-/Gasbrennwertkessel, Biomassekessel oder KWK-Anlagen, jeweils optional kombinierbar mit Solarthermie fördert.) [2-11].

Auch das Land Hessen fördert auf der Grundlage des am 1. April 2008 in Kraft getretenen **„Programm und Richtlinien zur Förderung der ländlichen Entwicklung in Hessen“** marktgängige Holzfeuerungsanlagen zur zentralen Wärmeversorgung ab 50 kW. Der Zuschuss für die Errichtung von Biomassefeuerungsanlagen zur Wärmeerzeugung beträgt bis 100 kW derzeit 36 € je kW errichteter installierter Nennwärmeleistung. Die Höhe der Förderung kann durch Erlass der jeweiligen Markt- bzw. Haushaltssituation angepasst werden. Anlagen ab 101 kW Nennwärmeleistung können einen Zuschuss von derzeit bis zu 30 % der förderfähigen Netto-Investitionskosten beantragen. Der Förderhöchstbetrag beträgt 200.000 € pro Objekt. Die Kumulation mit weiteren Förderprogrammen (z. B. KfW) ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Einschränkungen und Grenzen (z. B. „De-minimis“-Regelung) möglich. Zudem bietet das Hessische Umweltministerium potenziellen Investoren – auch solchen, die unter die Förderung des Bundesprogramms fallen – eine kostenfreie Beratung durch die hessenENERGIE GmbH an [2-12].

The background of the entire page is a close-up, high-angle shot of a large pile of wood chips. The chips are light-colored, possibly birch or beech, and are scattered in various orientations, creating a textured, organic pattern. The lighting is even, highlighting the natural grain and edges of the wood.

KAPITEL 3 | 4

Marktbetrachtungen kleiner und mittlerer
Hackschnitzelfeuerungen

Strukturen der Hackschnitzelproduzenten
und Nachfrage an qualitativ hochwertigen
Holzhackschnitzeln

3 MARKTBETRACHTUNGEN KLEINER UND MITTLERER HACKSCHNITZELFEUERUNGEN

Hackschnitzelfeuerungsanlagen zählen zu den automatisch betriebenen Biomassefeuerungen und finden sowohl Anwendung in industriellen Heiz- bzw. Heizkraftwerken als auch im kommunalen, gewerblichen und privaten Bereich. Die thermische Verwertung der Hackschnitzel erfolgt hierbei in Anlagen verschiedenster Feuerungsbauarten mit Nennwärmeleistungen von 10 kW bis in den hohen zweistelligen Megawattbereich.

Nachfolgende Ausführungen zum Anlagenbestand und jährlichen Bedarf von Hackschnitzeln beziehen sich im Wesentlichen auf Anlagen die keiner Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bedürfen und mit einer Leistung < 1 MW im Geltungsbereich der 1. BImSchV liegen.

3.1 Anlagenbestand kleiner und mittlerer Hackschnitzelfeuerungen

Entsprechend der 1. BImSchV ist der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) verpflichtet, die Messergebnisse dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) mitzuteilen. Diese Datenquelle weist die Erstmessung und Wiederkehrende Messung – getrennt nach Brennstoffen und Beschickungsart, darunter auch gesondert für Hackschnitzel – aus. Aus der Kombination dieser Angaben kann bis zum Jahr 2011 der Anlagenzubaufür Zentralfeuerstätten, in denen Hackschnitzel eingesetzt werden, abgeleitet werden.

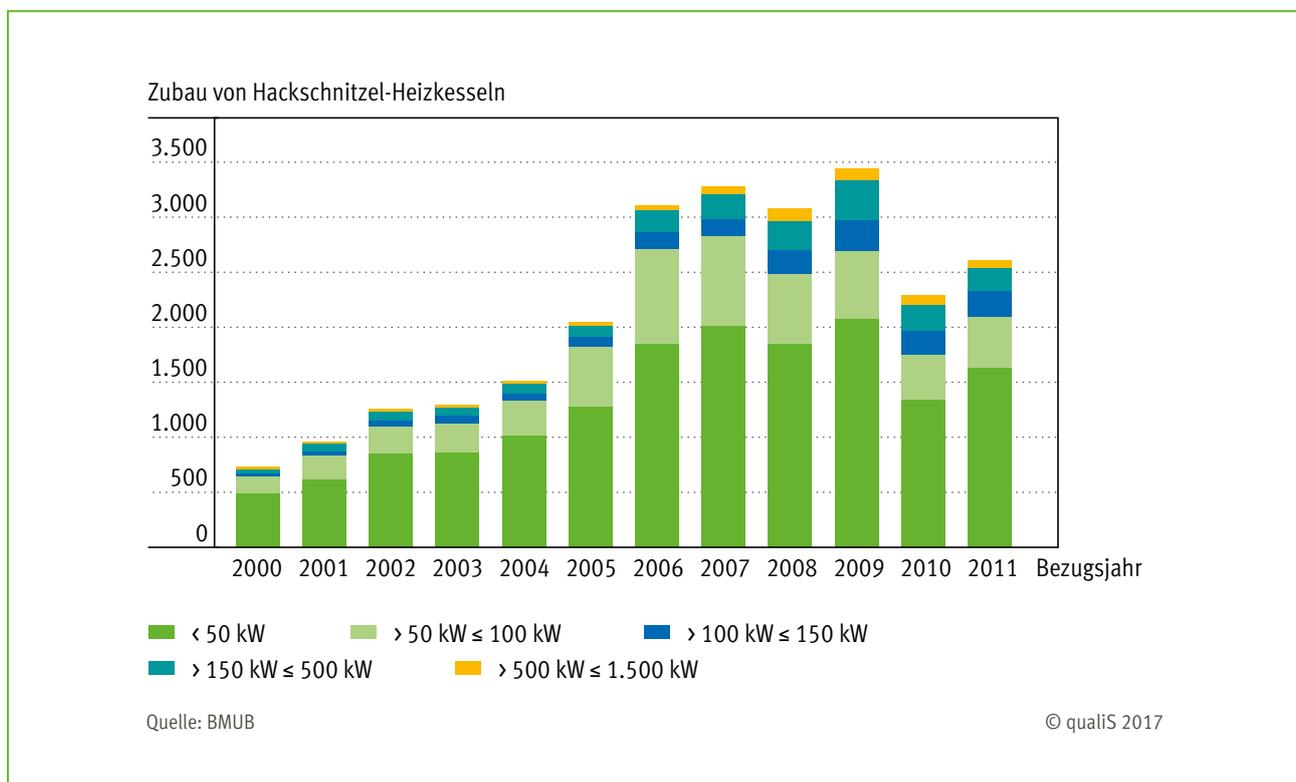


Abb. 3.1: Zubau von Hackschnitzel-Heizkesseln (1. BImSchV) in Deutschland [3-1]

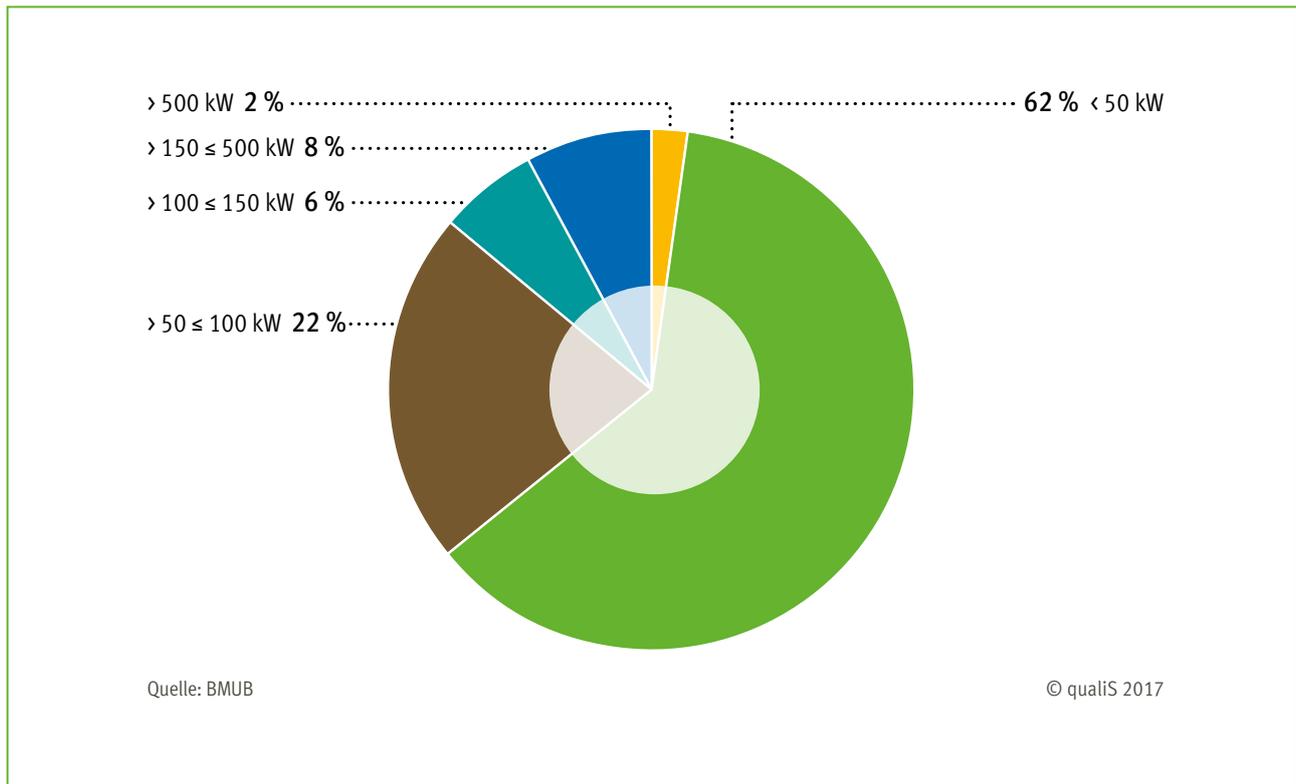


Abb. 3.2: Verteilung des HS-Anlagenbestands (1. BImSchV) nach Leistungsklassen in 2011 [3-1]

Insbesondere in den Jahren 2006 bis 2009 wurden deutlich mehr Anlagen als in den Vorjahren in Betrieb genommen (maximal ca. 3.500 Anlagen pro Jahr). In den Folgejahren sank die Zahl der Neuinstallationen auf ca. 2.400 Anlagen pro Jahr (Inkrafttreten der novellierten 1. BImSchV am 22. März 2010).

Es zeigt sich, dass für 1. BImSchV-Anlagen insbesondere der Anteil von Kleinanlagen mit einer Nennwärmeleistung < 100 kW überwiegt. Diese finden bevorzugt in privaten Ein- und Mehrfamilienhäusern, aber auch in kleinen und mittleren Unternehmen oder kommunalen Einrichtungen Anwendung. Die Verteilung der Größenklassen basiert auf den Messergebnissen des ZIV von 2011 und ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Seit 2012 wird ein neues Instrument für die Datenerhebung verwendet. Die Ergebnisse liegen ab diesem Zeitpunkt nicht vor, weshalb ergänzend zur Entwicklung des Anlagenbestands bis zum Jahr 2011 eine Schätzung des Zubaus für die Jahre 2012 bis 2015 erfolgt. Diese Schätzung basiert auf Grundlage der Statistik des Bundesverbands der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) zur Marktentwicklung der Wärmeerzeuger [3-2]. Die Datenquelle weist jedoch Biomasseanlagen in Summe aus, sodass es einer Verschneidung mit den Daten des ZIV bedarf. Demnach beträgt der Anteil von Hackschnitzelfeuerungen am Gesamtzubau von Biomassefeuerungsanlagen – in den Jahren 2005 bis 2011 – im Mittel ca. 13 %. Aus der Kombination dieser Angaben generiert sich die Entwicklung des Anlagenbestands von Hackschnitzel-Heizkesseln für die Jahre 2000 bis 2015. Gemäß Abbildung 3.3 wird der Bestand von Hackschnitzel-Heizkesseln im Jahr 2015 auf 44.360 Anlagen taxiert.

Eine umfangreiche Übersicht zu den am Markt verfügbaren Hackschnitzelheizungen – mit Nennwärmeleistungen von 11

bis 2.000 kW – liefert die FNR-Broschüre „Hackschnitzel-Heizungen Marktübersicht“ [3-3].

3.2 Brennstoffeinsatz in kleinen und mittleren Hackschnitzelfeuerungen

In Hackschnitzelfeuerungen kleiner 1 MW, welche nach den Verordnungen der 1. BImSchV betrieben werden, dürfen ausschließlich Regelbrennstoffe nach § 3 eingesetzt werden.

Insbesondere naturbelassenes Holz, z. B. Waldrestholz und chemisch unbehandelte Resthölzer aus der Säge- und Holzwerkstoffindustrie sind hier zu nennen. Weiterhin wird zunehmend auf Holz aus dem Kurzumtrieb sowie aus der Landschaftspflege zurückgegriffen [3-3].

Nachstehend erfolgt die Berechnung des mengenbezogenen Hackschnitzeleinsatzes, entsprechend den fünf Leistungsklassen mit dem Bezugsjahr 2015. Grundsätzlich basiert die Berechnung im Wesentlichen auf:

- Auswertungen:
 - Anlagenbestand 2015 (siehe Abb. 3.3),
 - Leistungsklassenverteilung (siehe Abb. 3.2),
 - Mittlere Volllaststunden bzgl. Leistungsklassen (siehe Abb. 3.4),
 - Mittlere Nennwärmeleistung bzgl. Leistungsklassen (siehe Abb. 3.5),
- und Annahmen:
 - Jahresnutzungsgrad 80 % (konstant, siehe [3-3]),
 - Heizwert 5,1 MWh/t_{atro} (gemittelt, siehe [3-4]).

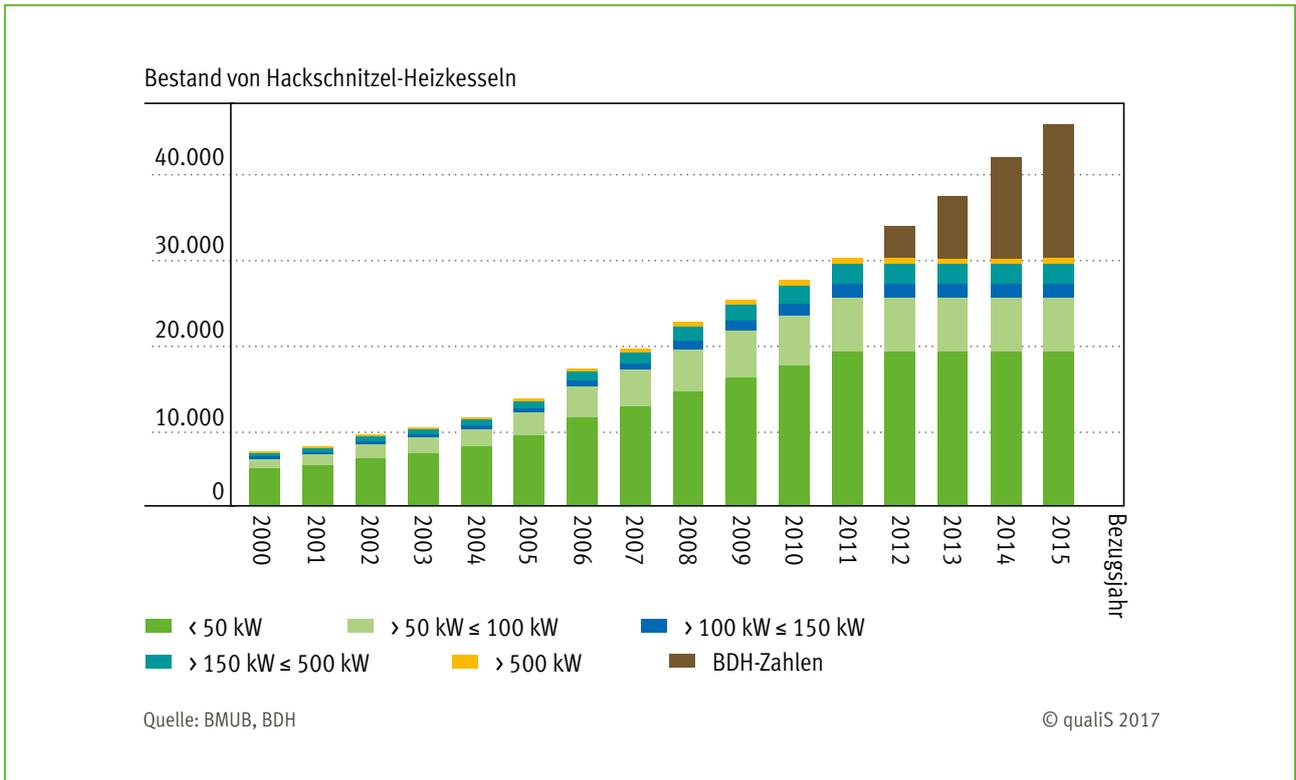


Abb. 3.3: Entwicklung des Anlagenbestands von Hackschnitzel-Heizkesseln (1. BImSchV) in Deutschland [3-1],[3-2]

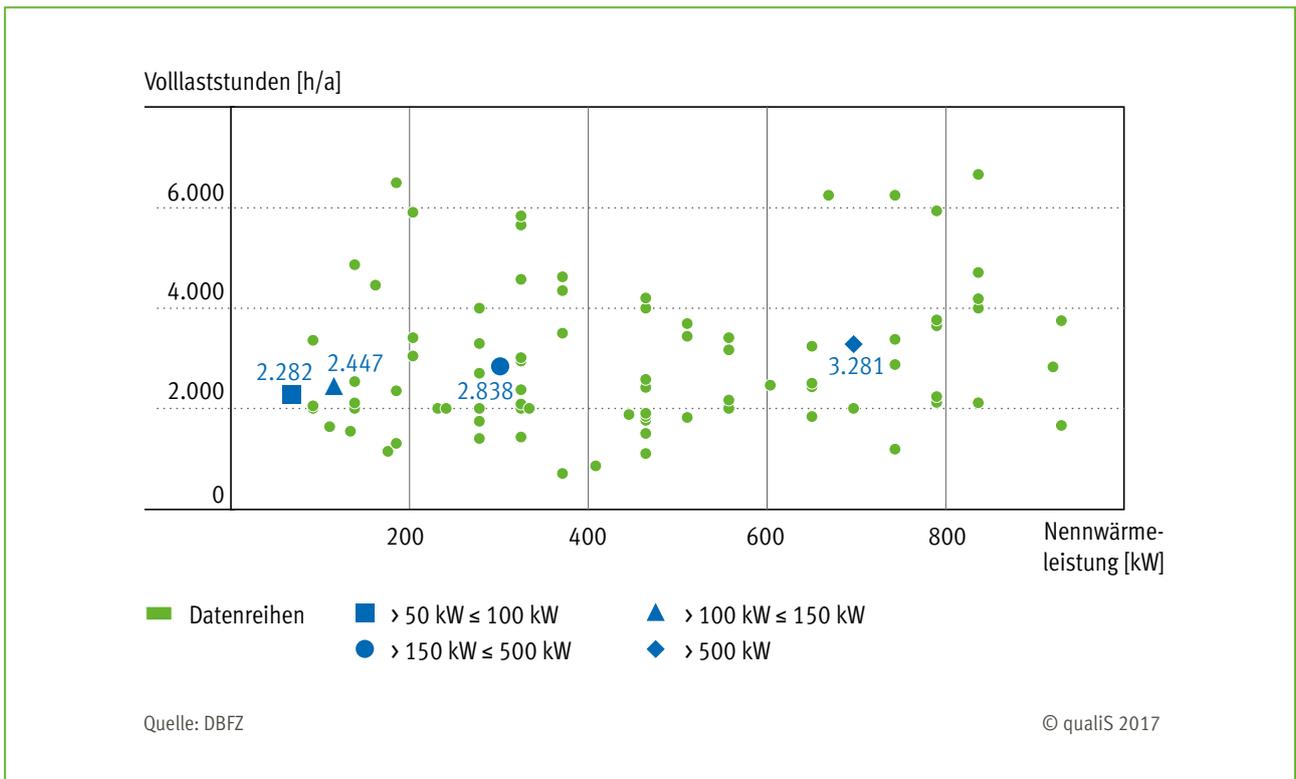


Abb. 3.4: Mittlere Volllaststunden der Leistungsklassen bis 1.000 kW, n = 85 [3-5]

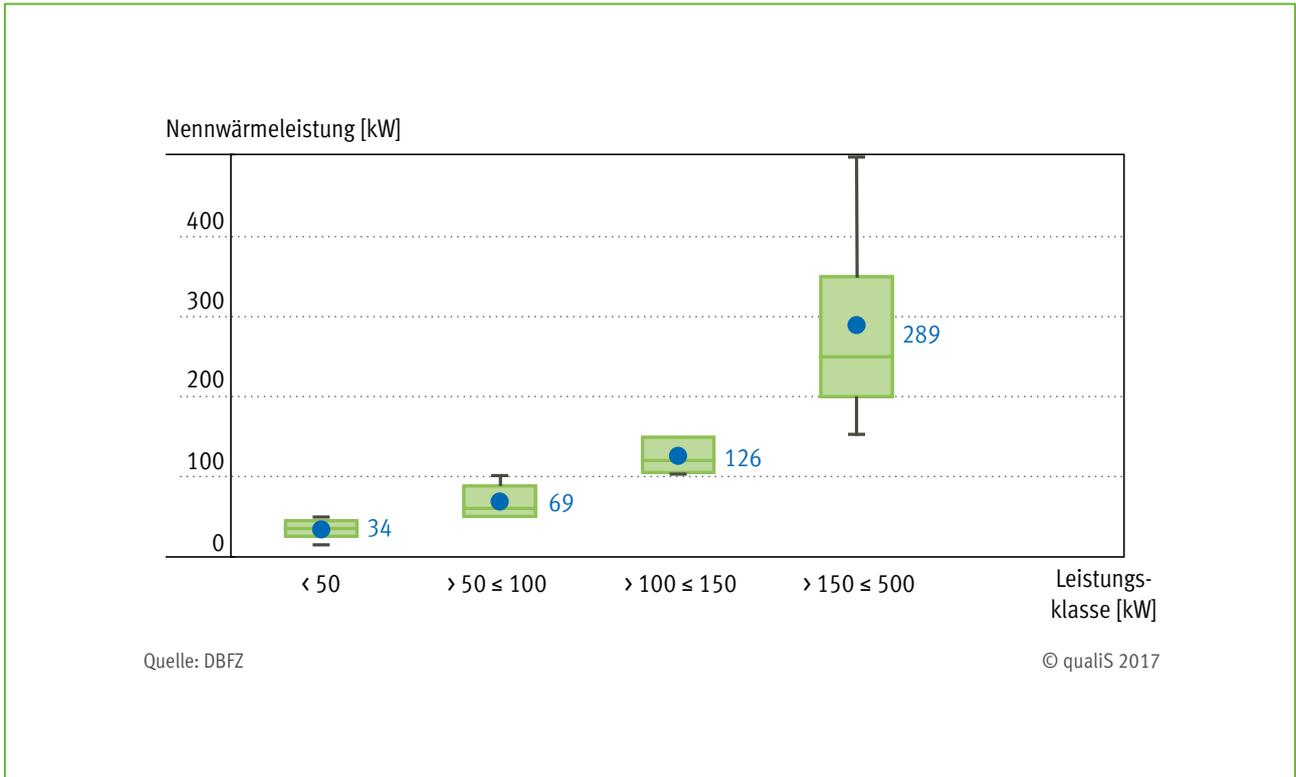


Abb. 3.5: Mittlere Nennwärmeleistung der Leistungsklassen ≤ 500 kW, n = 4.528 Anlagen [3-6]

Folglich liefert diese Methode nur eine Annäherung zum tatsächlichen Hackschnitzeleinsatz in Feuerungsanlagen kleiner 1 MW und ist entsprechend als Schätzwert zu verstehen.

Nicht zuletzt durch regional unterschiedliche sowie verbraucher- bzw. jahresspezifische Betriebsstunden der Hackschnitzelheizungen ist eine gewisse Streuung nicht auszuschließen. Abbildung 3.4 zeigt die jährlichen Volllaststunden von Hackschnitzelfeuerungen, bezogen auf die Nennwärmeleistung der Anlage. Diese Angaben beruhen auf der Heizwerke-Datenbank des DBFZ.

Aufgrund unzureichender Anzahl verwertbarer Datensätze aus dem Jahr 2015, basiert die Auswertung auf Betreiberangaben der letzten sieben Jahre. Zu sehen ist, dass die leistungsklassenspezifischen Volllaststunden mit zunehmender Nennwärmeleistung ansteigen. In der untersten Leistungsklasse ≤ 50 kW standen keine Datensätze zur Verfügung. Hier beziehen sich weiterführenden Berechnung auf einen Schätzwert von 2.000 Volllaststunden.

Die Verteilung der leistungsklassenspezifischen Nennwärmeleistung in den vier Klassen bis ≤ 500 kW zeigt die vorstehende Abbildung 3.5.

Unter Berücksichtigung der Annahmen zum Jahresnutzungsgrad von 80% sowie einem mittleren Heizwert von 5,1 MWh/t_{atro}, lässt sich der jährliche Hackschnitzelverbrauch wie folgt berechnen:

$$\frac{\text{Anlagenbestand} * \varnothing \text{ Nennwärmeleistung} * \text{Volllaststunden}}{\text{Jahresnutzungsgrad} * \text{Heizwert}}$$

Insgesamt wurden im Jahr 2015 schätzungsweise 2,4 Mio. Tonnen (atro) Holzhackschnitzel in 1. BImSchV-Anlagen energetisch verwertet. Bei einem Einsatz von ca. 1 Mio. Tonnen (atro) wurde annähernd die Hälfte der Hackschnitzel in Feuerungen ≤ 150 kW verbrannt.

In Abbildung 3.6 ist neben der leistungsklassenspezifischen Verteilung auch der Zusammenhang von installierter Nennwärmeleistung und Hackschnitzelverbrauch dargestellt.

Die unterschiedlichen Wertdifferenzen zwischen den Datenreihen begründen sich im Wesentlichen dadurch, dass mit steigender Leistung die Annahmen zu den Volllaststunden im Zahlenwert steigen. Mit sinkender Nennwärmeleistung der Feuerungsanlage verringert sich folglich der spezifische Jahresbedarf an Brennstoff.

Die nachstehende Abbildung 3.7 zeigt den spezifischen Hackschnitzelverbrauch in Tonnen (atro) je Jahr und kW Kesselleistung. Zum einen aus den geschätzten Werten zum Brennstoffeinsatz in 2015, gemäß den Ausführungen der Tabelle 3.1 (grüne Datenpunkte) und zum anderen auf Basis von Betreiberangaben der letzten Jahre, gemäß verwertbarer Datensätze der Heizwerke-Datenbank des DBFZ (blaue Datenpunkte). Zu sehen ist zwar eine gewisse Streuung, welche u. a. auf unterschiedliche Betriebsjahre, Verbraucher, Jahresnutzungsgrade etc. zurückzuführen ist, dennoch liegen die zwei Regressionsfunktionen sehr dicht beieinander.

Demnach ist davon auszugehen, dass die in Tabelle 3.1 ausgewiesenen Werte eine repräsentative Schätzung zum Brennstoffeinsatz in Hackschnitzelfeuerungen (Anlagenbestand 2015) kleiner 1 MW darstellen.

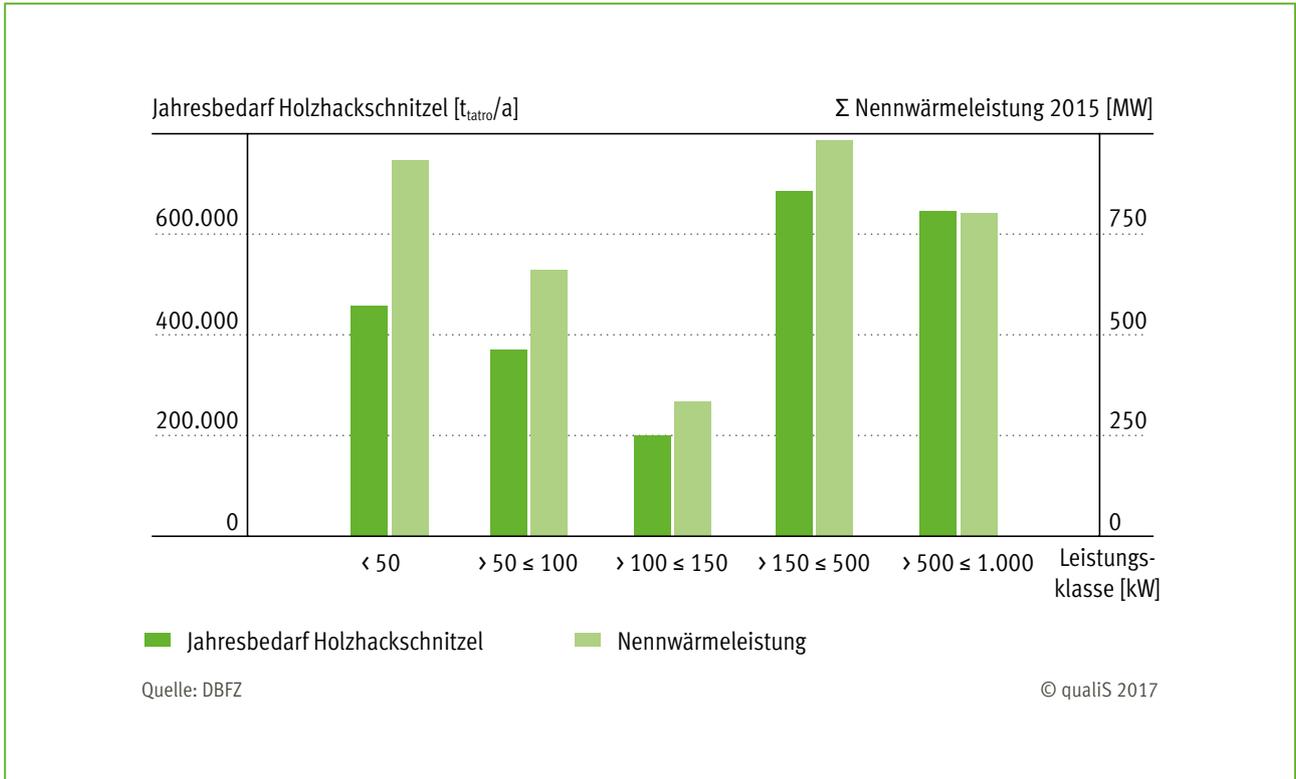


Abb. 3.6: Jahresbedarf (2015) an Holzackschnitzeln in 1. BImSchV-Anlagen

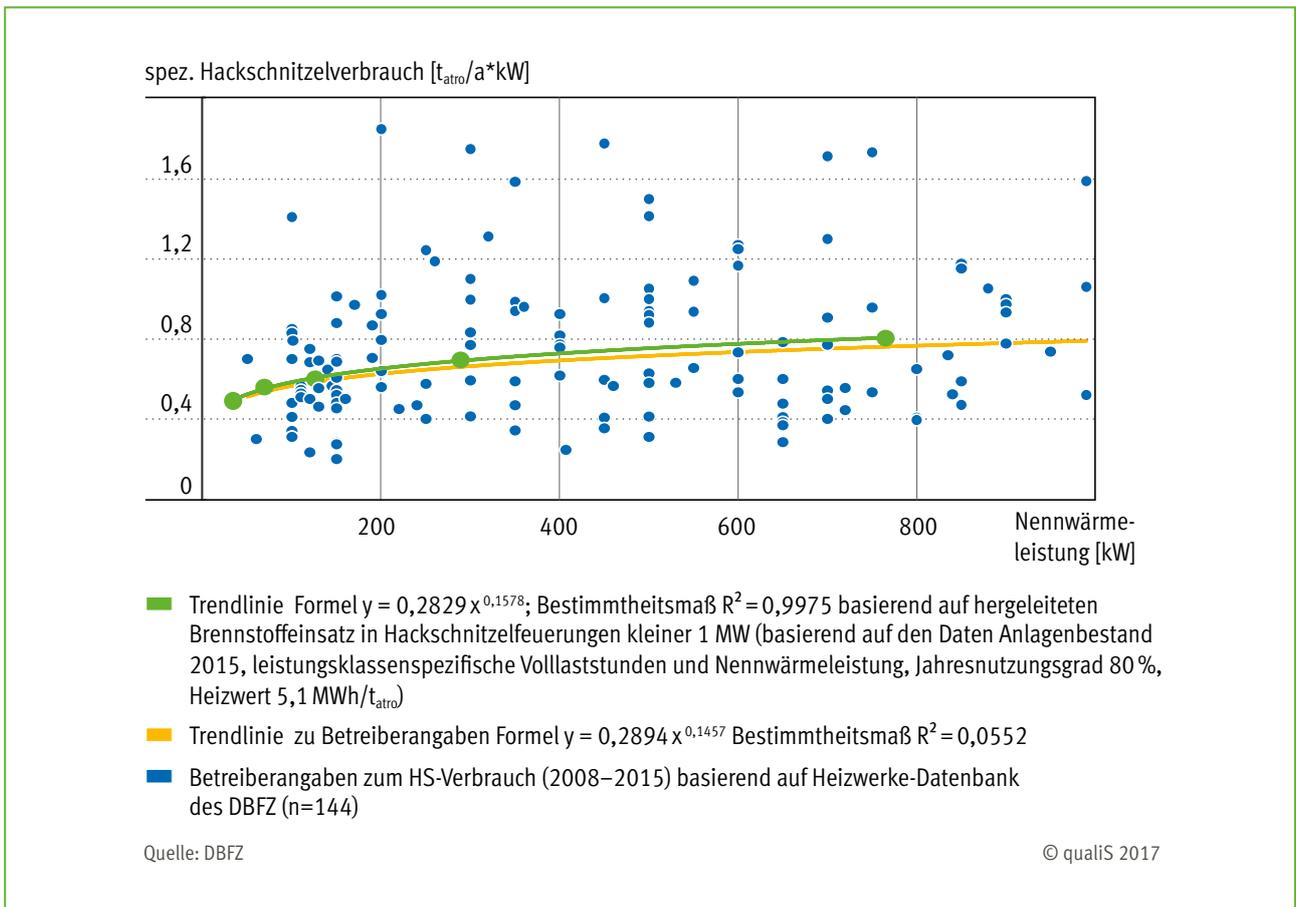


Abb. 3.7: Spezifischer Hackschnitzelverbrauch in $t_{atro}/a/kW$ (grün: n = 5 [vgl. Tab. 3.1], blau: n = 144 [3-5])

Tab. 3.1: Geschätzter Brennstoffeinsatz in Hackschnitzelfeuerungen kleiner 1 MW (Anlagenbestand 2015, leistungsklassenspezifische Volllaststunden und Nennwärmeleistung, Jahresnutzungsgrad 80 %, Heizwert 5,1 MWh/t_{atro})

Leistungsklasse [kW]	Nennwärmeleistung ø [kW]	Hackschnitzel-Feuerungsanlagen [Anzahl]	Nennwärmeleistung Σ [MW]	Volllaststunden ø [h/a]	HHS-Jahresbedarf ~ 2015 [t _{atro} /a]
< 50	34	27.604	939	2.000	460.294
> 50 ≤ 100	69	9.634	665	2.282	371.944
> 100 ≤ 150	126	2.647	334	2.447	200.318
> 150 ≤ 500	289	3.422	989	2.838	687.937
> 500 < 1.000	765	1.053	806	3.281	648.158
Σ		44.360	3.733		2.368.651

3.3 Investitionskosten von Hackschnitzel-Heizungsanlagen

Im Vergleich zu Öl- oder Gasheizungen liegen die Investitionskosten für Hackschnitzel-Heizungen deutlich höher. Nach Angaben des TFZ entfallen ca. 50 % der Investitionskosten – von Hackschnitzel-Heizungen mit Nennwärmeleistungen bis 100 kW – auf den Kessel mit Steuerung und Regelung, weitere 19 % auf Peripherieteile, 16 % auf den Raumaustrag, 10 % für die Montage und 5 % auf den Pufferspeicher [3-7].

In Abbildung 3.8 sind spezifische Investitionskosten für Hackschnitzelfeuerungen mit Nennwärmeleistungen von 11 bis 1.000 kW dargestellt.

Die dargestellten Investitionskosten gründen vorrangig auf einer Auswertung der Marktübersicht von Hackschnitzel-Heizungen und wurden auf Basis eigener Recherchen ergänzt [3-3]. Trotz einer gewissen Streuung ist bezeichnend, dass die spezifischen Investitionskosten mit zunehmender Anlagenleistung deutlich sinken.

Gleiches gilt für die spezifischen Investitionskosten von Partikelabscheidern, wie nachstehende Abbildung 3.9 zeigt.

Die dargestellten Kosten basieren auf Angaben zweier Hersteller, welche Partikelabscheider unterschiedlichster Ausführungen für Hackschnitzelfeuerungen mit maximalen Nennwärmeleistungen bis 530 kW am Markt anbieten.

Aufgrund geringer Anzahl verwertbarer Datensätze sollten die dargestellten Investitionskosten nur als Richtwerte angesehen werden. Herauszustellen sind jedoch die signifikant hohen Kosten für einen Abscheider, im Vergleich zu den Investitionskosten für die Hackschnitzelfeuerung.

Weitere Ausführungen zur Kostenstruktur von Hackschnitzel-Heizkesseln sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ausgewählter Modellanlagen können dem TFZ-Bericht 21 „Kleine Biomassefeuerungen – Marktbetrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit“ entnommen werden [3-7].

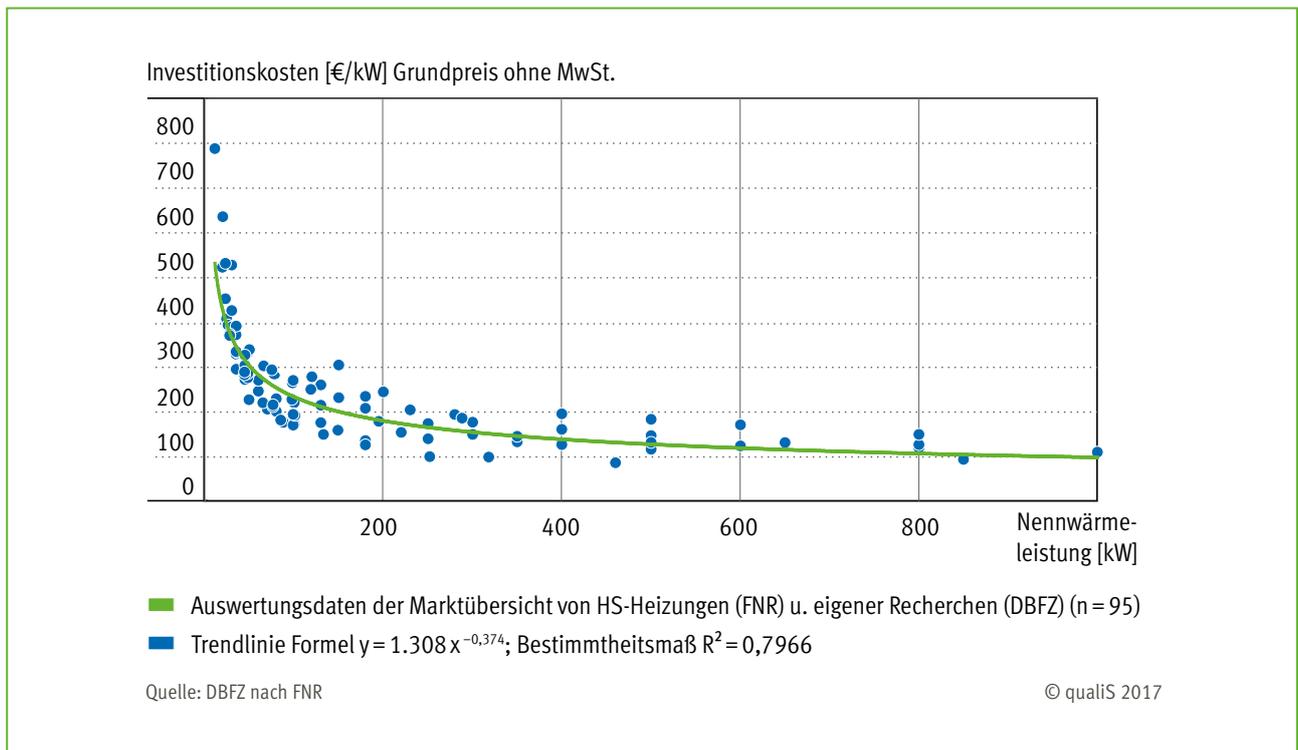


Abb. 3.8: Spezifische Investitionskosten von Hackschnitzelfeuerungen, n = 95 [3-3]

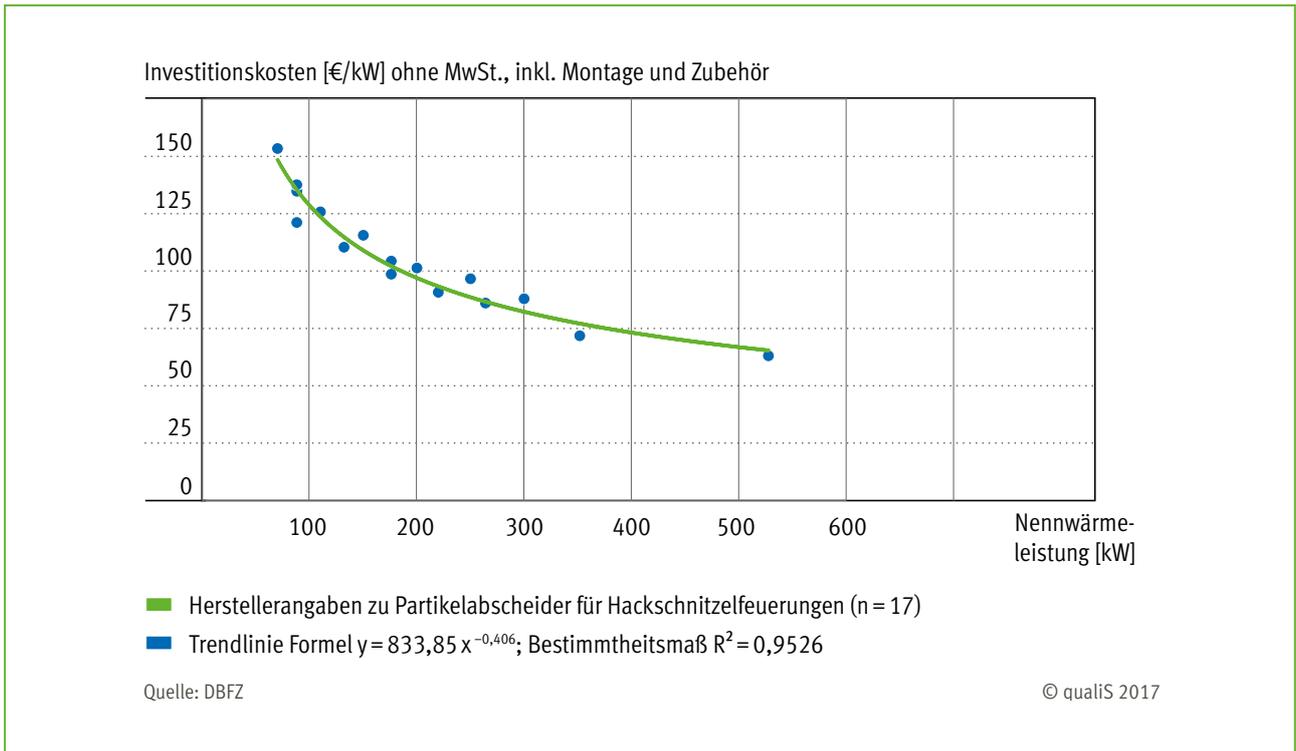


Abb. 3.9: Spezifische Investitionskosten von Partikelabscheidern, n = 17 [3-8]

3.4 Preisentwicklung bei Holz hackschnitzeln

Im Rahmen einer Hackschnitzelproduzenten-Umfrage (siehe Kapitel 4) wurden u. a. die Verkaufspreise diverser Sortimente im Betriebsjahr 2014 abgefragt. Die Abbildung 3.10 zeigt die

Preise in Bezug auf Wassergehalt und Partikelgröße. Die Mittelwerte innerhalb der fünf Wassergehaltsklassen stellen hierbei jedoch nur einen Richtwert dar. Dies beruht auf der Tatsache, dass hierbei weitere Qualitätskriterien – wie z. B. Aschegehalt, Feinanteil etc. – außer Acht gelassen wurden.



Abb. 3.10: Durchschnittliche Verkaufspreise von Holz hackschnitzeln unterschiedlicher Wassergehalte und Partikelgrößen, n = 49 [Befragung der Hackschnitzelproduzenten, Bezugsjahr 2014, siehe Kapitel 4]

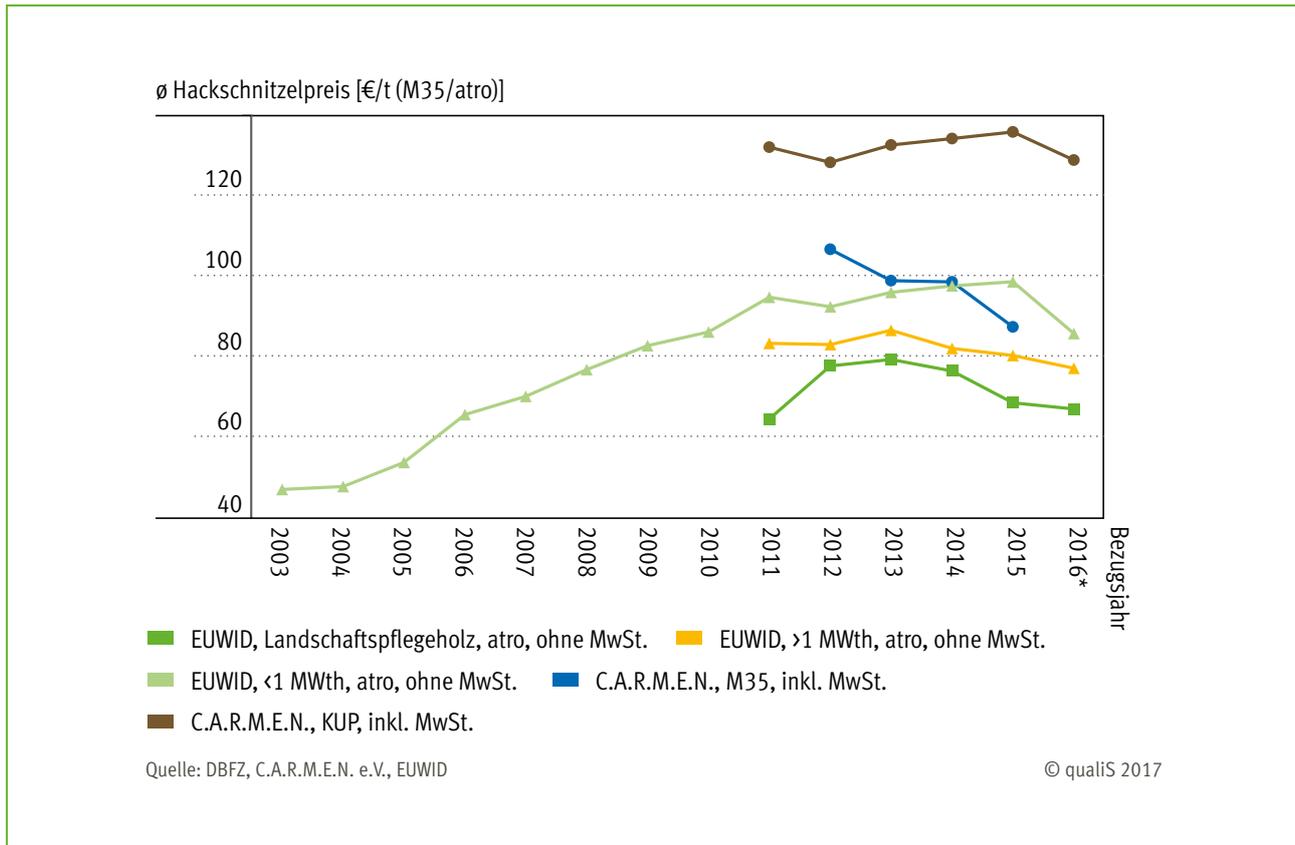


Abb. 3.11: Preisentwicklung diverser Hackschnitzelsortimente, nach Auswertung [3-9] der Angaben von C.A.R.M.E.N. [3-10] und EUWID „Holz und Holzwerkstoffe“ [3-11]

Weiterhin ergeben sich signifikante Unterschiede im Verkaufspreis der Hackschnitzel bezüglich des Standortes. Folglich sollte vorstehende Abbildung 3.11 grundsätzlich auch nur die Hackschnitzel-Preisentwicklung der letzten Jahre veranschaulichen.

Die Abbildung 3.11 generiert sich auf Basis zweier Literaturquellen und zeigt Jahresdurchschnittspreise unterschiedlicher Sortimente. Die Daten werden alle zwei Monate bzw. quartalsweise veröffentlicht und beinhalten zudem detailliertere Angaben zu regionalen Preisunterschieden, getrennt nach Nord und Süd.

- C.A.R.M.E.N [3-10]:
 - Waldhackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35 m-% (20 m-%), Lieferung von 80 (30) Schüttraummeter
 - KUP-Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35 %, Lieferung von 80 Schüttraummeter
- EUWID [3-11]:
 - „Holz und Holzwerkstoffe“
 - Angabe in €/t_{atro}, ohne MwSt. und frei Verwerter
 - HHS < 1 MW_{th}, HHS > 1 MW_{th}, sowie HHS aus Landschaftspflegemaßnahmen

3.5 Zusammenfassung der Marktbetrachtung

Die Angaben zur Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln belegen relativ stabile Verkaufspreise in den letzten fünf Jahren. Die Übersichten zu den Hackschnitzelpreisen sowie zu den spezifischen Investitionskosten von Hackschnitzelfeuerungen und Partikelabscheidern sollen im Wesentlichen Vergleichswerte liefern und auf verfügbare Quellen hinweisen.

Nutzergruppenspezifisch konnte der Anlagenbestand und der Brennstoffeinsatz in kleinen und mittleren Hackschnitzelfeuerungen ermittelt werden.

Anhand der Auswertung der Messergebnisse des ZIV bis zum Jahr 2011 sowie ergänzende Annahmen zum Anlagenzubau in den Folgejahren, wird der Bestand von Hackschnitzelfeuerungsanlagen < 1 MW im Jahr 2015 auf 44.360 Anlagen geschätzt. Die gesamte Nennwärmeleistung beträgt hierbei ca. 3.733 MW. Weiterführend konnten Anlagenbestand und Nennwärmeleistung verschiedener Leistungsklassen ermittelt werden.

Basierend auf diesen Zahlen zum Anlagenbestand und entsprechend summierten Nennwärmeleistungen sowie auf Grundlage zusätzlicher Annahmen zur Betriebsweise der Hackschnitzelfeuerung, konnte der Brennstoffeinsatz im Jahr 2015 leistungsklassenspezifisch taxiert werden. Demnach wurden im Jahr 2015 insgesamt ca. 2,4 Mio. Tonnen (atro) Holzhackschnitzel in 1. BImSchV-Anlagen energetisch verwertet.

4 STRUKTUREN DER HACKSCHNITZELPRODUZENTEN UND NACHFRAGE AN QUALITATIV HOCHWERTIGEN HOLZHACKSCHNITZELN

Nachstehende Aussagen basieren auf Auswertungen einer bundesweiten Umfrage zur sekundären Aufbereitung und Zertifizierung von qualitativ hochwertigen Holzhackschnitzeln. Die Online-Befragung richtete sich an Hackschnitzelproduzenten sowie Aufbereiter und war eine Kooperation zwischen folgenden Instituten:

- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF),
- DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH,
- Deutsches Pelletsinstitut GmbH (DEPI),
- Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ).

Insgesamt wurden 954 potenzielle Teilnehmer recherchiert und ein Anschreiben – mit Verweis auf den Link der Umfrage – direkt per E-Mail bzw. postalisch an 886 Adressen versendet. Außerdem wurde der Link zur Umfrage auf verschiedenen Homepages gestellt und über Newsletter Dritter verteilt. Neben den allgemeinen Strukturen der Hackschnitzelproduzenten beinhaltete die Befragung relevante Themen zur Bereitstellung, Aufbereitung, zum Verkauf und zur Einschätzung der zukünftigen Nachfrage von qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln. Insgesamt wurden 83 Fragen gestellt, welche in einem Zeitraum von ca. 9 Wochen – bis zum 12. Januar 2016 – von 122 Teilnehmern vollständig oder teilweise beantwortet wurden. Letztendlich standen 91 Datensätze für eine repräsentative Auswertung zur Verfügung.

Im Rahmen der Umfrage wurden die Produzenten u. a. zu den Aufbereitungstechniken und -schritten zweier Sortimente befragt. Detaillierte Aussagen hierzu können dem Kapitel 7 entnommen werden.

4.1 Allgemeine Strukturen der Hackschnitzelproduzenten

Eingangs der Befragung wurden die Hackschnitzelproduzenten nach ihrem Absatz an Hackschnitzeln im Betriebsjahr 2014 gefragt. Hierdurch konnten stellenweise direkte Zusammenhänge zwischen Hackschnitzelmenge und anderen relevanten Betriebsparametern dargestellt werden.

In Abbildung 4.1 ist die Anzahl der benötigten Vollzeitkräfte für die Hackschnitzelaufbereitung dargestellt.

Bei annähernd 85 % der hierbei verwertbaren Rückläufe waren bis zu 5 Personen mit der Hackschnitzelaufbereitung beschäftigt. Kleine Unternehmen mit nur einer Vollzeitstelle sind mit 45 % am häufigsten vertreten. Diese Ein-Personen-Unternehmen bereiteten im Mittel ca. 2.400 Tonnen (atro) Hackschnitzel im Jahr auf.

4.1.1 Vermarktung von Hackschnitzel nach den Brennstoffspezifikationen der DIN EN ISO 17225-4 und weiterer Normen

Die Spezifikation von Hackschnitzeln für die Verwendung in Kleinf Feuerungsanlagen sollte gemäß DIN EN ISO 17225, Teil 4 erfolgen. Diese internationale Norm ersetzt seit 2014 die bis dahin gültige DIN EN 14961-4 sowie die in der Praxis noch häufig verwendete ÖNorm M7133 (siehe Kapitel 5).

Grundsätzlich gilt, dass die Verwendung der Norm freiwillig und nicht gesetzlich bindend ist. Es bieten sich jedoch einige Vorteile bei Verwendung aktueller Normen. Durch einheitliche Standards vereinfacht sich u. a. der Austausch zwischen den Akteuren. So kann sich der Kesselhersteller, bei der für den Kessel benötigten Brennstoffqualität, auf die aktuelle Norm beziehen, Hackschnitzelproduzenten können folglich unterschiedliche Sortimente mit Normbezug herstellen und der Betreiber einer Hackschnitzelfeuerung ist in der Lage die für ihn relevanten Sortimente am Markt zu vergleichen.

Abbildung 4.2 zeigt die Antworten der Hackschnitzelproduzenten auf die Frage: „Auf Basis welcher Norm legen Sie die Eigenschaften der Hackschnitzel fest?“.

Gemäß den Aussagen der Produzenten nehmen 40 % Bezug auf eine der genannten Normen. Nur lediglich 10 % beziehen sich auf die aktuelle DIN EN ISO 17225-4. Der Großteil der Befragten legt die Eigenschaften der Hackschnitzel ohne Normbezug fest. Entweder vermarkteten diese die Brennstoffe dann nach eigenen Qualitätskriterien oder stellten die Hackschnitzel nach den Anforderungen der Kunden bereit. Letzteres gilt möglicherweise vermehrt für Kunden mit Anlagen > 1 MW, für die die Spezifikationen der DIN EN ISO 17225-4 meist zu streng ausgelegt sind.

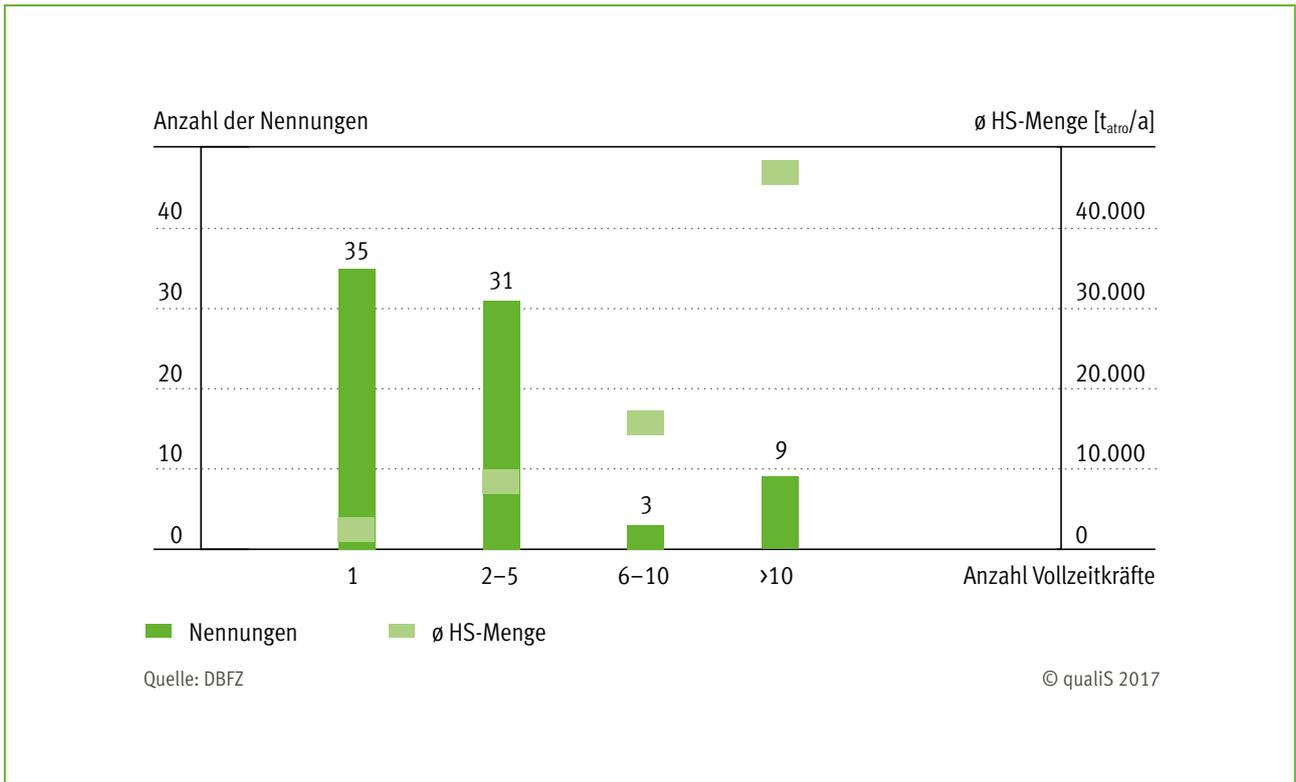


Abb. 4.1: Anzahl der Vollzeitkräfte für die Hackschnitzelaufbereitung, n = 78

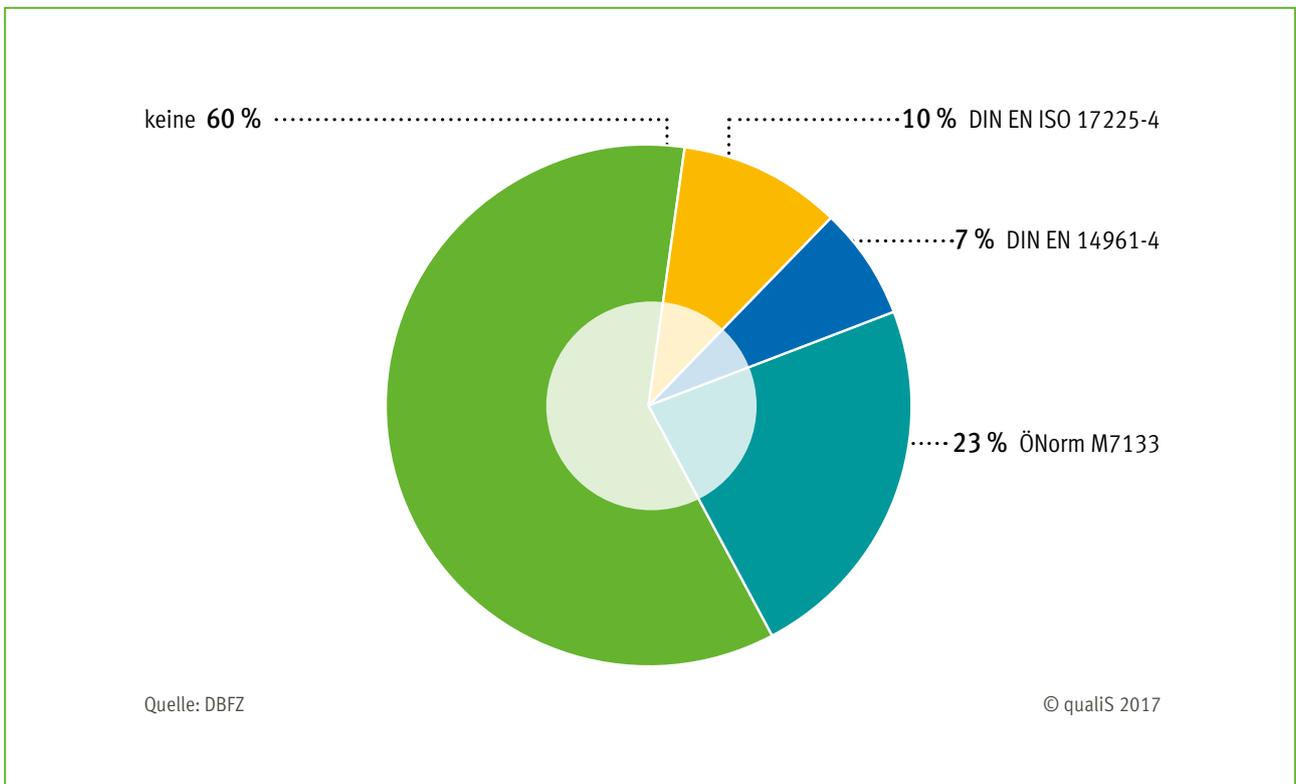


Abb. 4.2: Vermarktung der Hackschnitzel nach den Brennstoffspezifikationen, n = 85

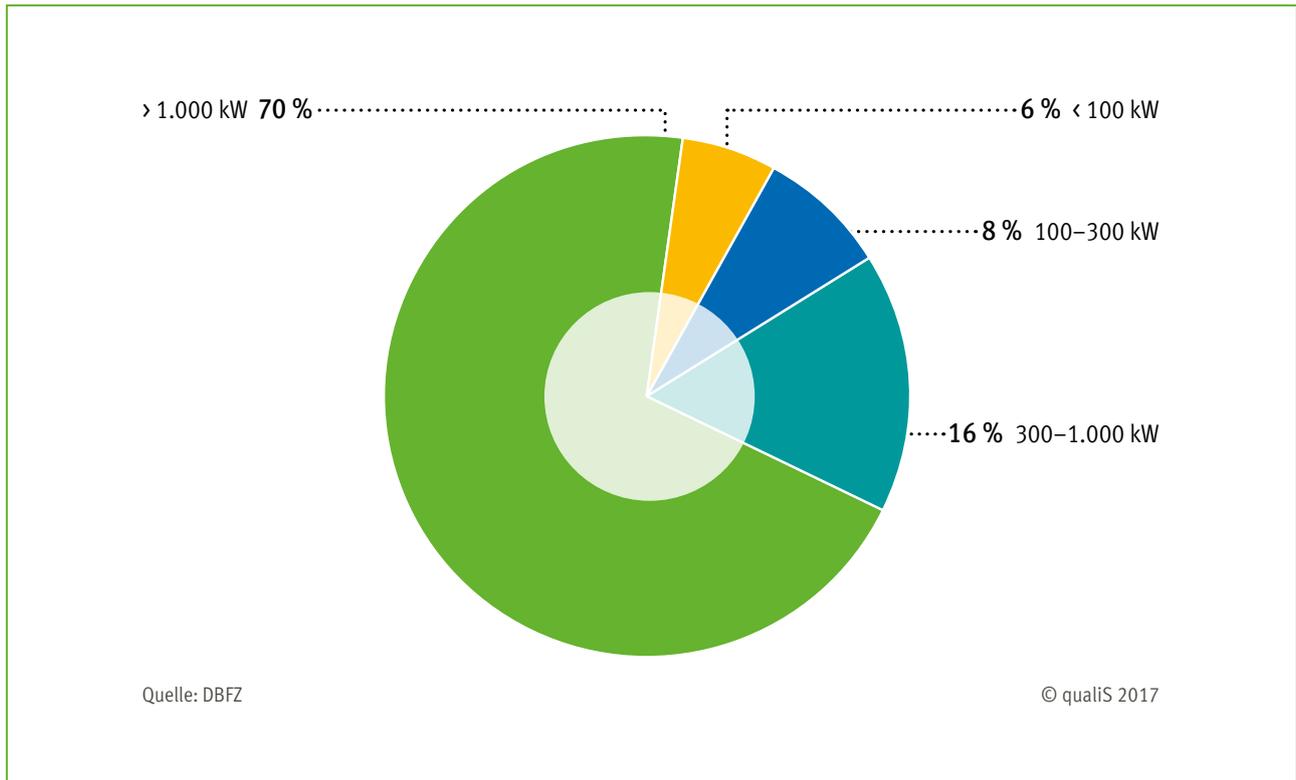


Abb. 4.3: Hackschnitzelabnehmer nach Anlagenleistung, bezogen auf den HHS-Abnahmemenge in 2014, n = 68

4.1.2 Identifizierung der Abnehmer von Holz hackschnitzeln

Nachfolgende Betrachtungen geben Aufschluss über die Abnehmer von Holz hackschnitzeln, wobei sich hier die Aussagen auf die jährlich vermarktete Hackschnitzelmenge beziehen. In der Befragung wurde dies durch eine prozentuale Verteilung der Antwortmöglichkeiten realisiert.

Abbildung 4.3 zeigt die Hackschnitzelabnahme in 2014 hinsichtlich unterschiedlicher Nennwärmeleistungsbereiche der Kunden.

Die Hauptmenge der Hackschnitzel aus der Befragung wird demnach vorrangig für die thermische Verwertung in Großfeuerungsanlagen verwendet. Allerdings bedienen die meisten Produzenten alle genannten Leistungsklassen. Lediglich drei Produzenten liefern nur an Kunden mit < 100 kW und sechs Produzenten nur an Betreibern von Feuerungsanlagen > 1 MW.

Demzufolge sind nachstehende Textpassagen – bei denen sich die Verteilung vorrangig auf die Anzahl der Nennung bezieht – in demselben Maße für 1. BImSchV-Anlagen relevant.

Weiterführend wurde nach der Betreiberstruktur der Hackschnitzelabnehmer gefragt.

Abbildung 4.4 zeigt, dass 80,2% der Hackschnitzel in gewerblichen Betrieben thermisch verwertet wurden. Auch hier vermarkten die meisten Produzenten an alle gelisteten Betriebsstrukturen, nur sechs ausschließlich an Gewerbebetriebe.

4.1.3 Anzahl vermarkteter Hackschnitzelsortimente

Nachstehende Ausführungen sollen ausschließlich einen Überblick zur Anzahl bereitgestellter Hackschnitzelsortimente liefern.

Entsprechend der Abbildung 4.5 gaben insgesamt 78 Hackschnitzelproduzenten (ca. 85,7%) an, bis zu vier Sortimente zu vermarkten. Generell ist zu erkennen, dass sich die mittlere abgesetzte Hackschnitzelmenge mit steigender Sortimentsvielfalt erhöht, ausgenommen die zwei Nennungen im Bereich > 10 Sortimente.

4.1.4 Bezug des Ausgangsmaterials für die Hackschnitzelbereitstellung

Die Hackschnitzel setzten sich bei einem Großteil der Befragten aus diversen Ausgangsmaterialien zusammen. Zu nennen sind hier insbesondere Sortimente aus Waldrest-, Energierund-, Landschaftspflege- und Sägereistholz.

Abbildung 4.6 zeigt den Umkreis, aus welchem das Ausgangsmaterial von den Hackschnitzelproduzenten bezogen wird.

Mit Hinblick auf verwertbare Rückläufe der Umfrage, beziehen drei Viertel der Hackschnitzelproduzenten ihr Ausgangsmaterial im direkten Umkreis bis 50 Kilometer. Dies spricht für eine regionale Verfügbarkeit des Brennstoffs Holz hackschnitzeln, was neben ökologischen auch ökonomische Vorteile bietet.

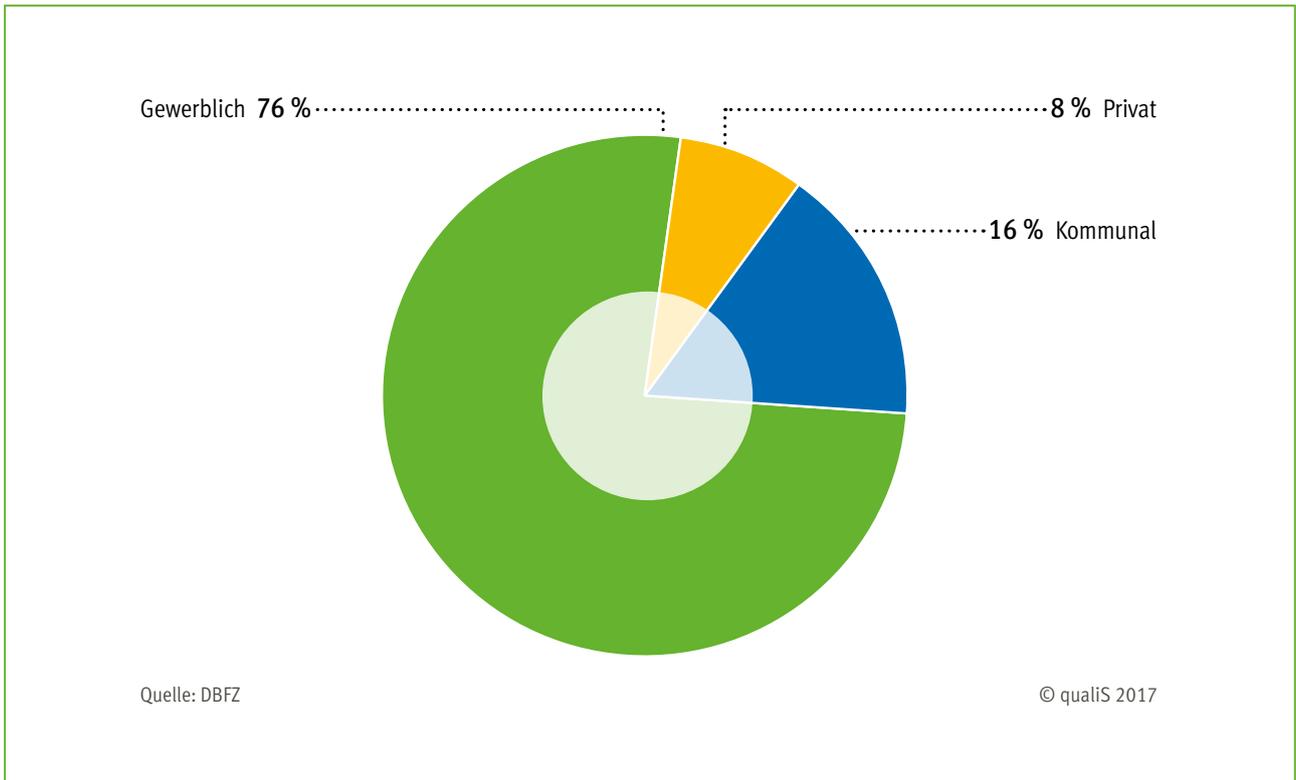


Abb. 4.4: Hackschnitzelabnehmer nach Betreiberstruktur, bezogen auf den HHS-Abnahmemenge in 2014, n = 73

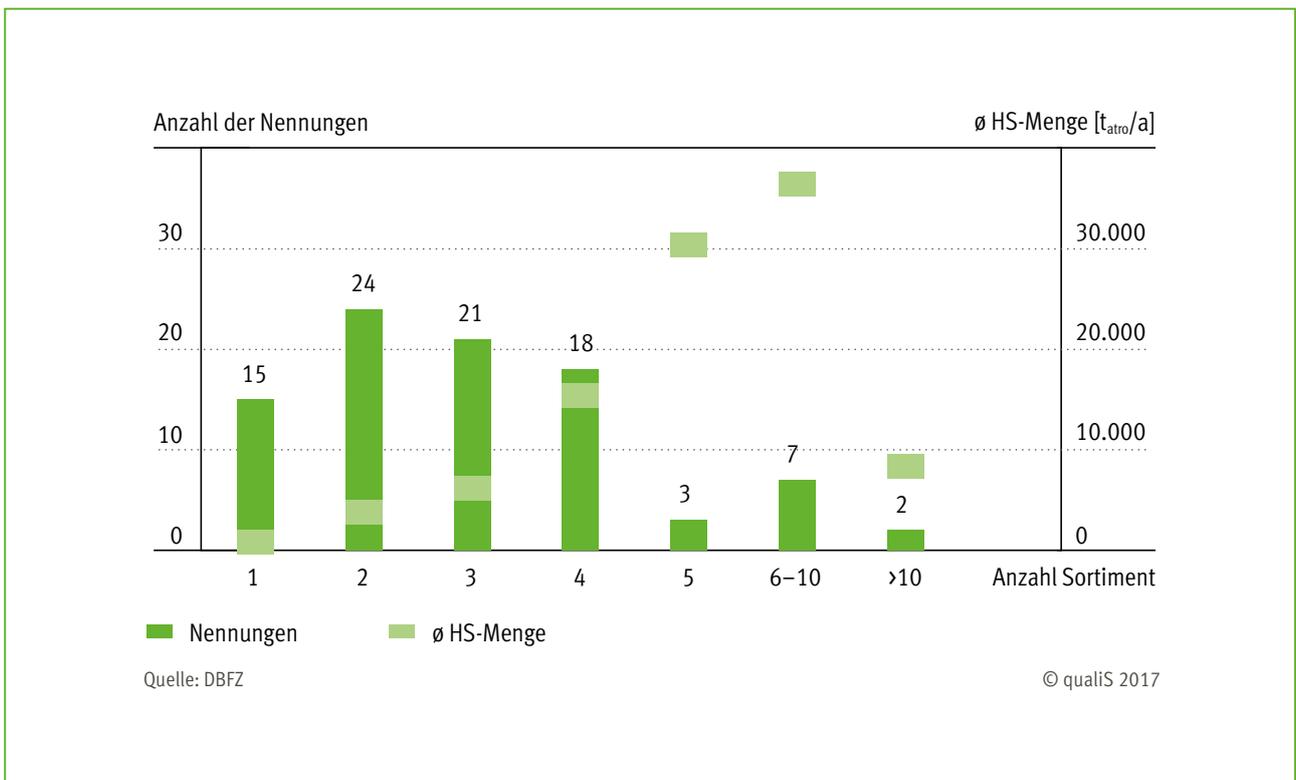


Abb. 4.5: Anzahl vermarkteter Hackschnitzelsortimente, n = 90

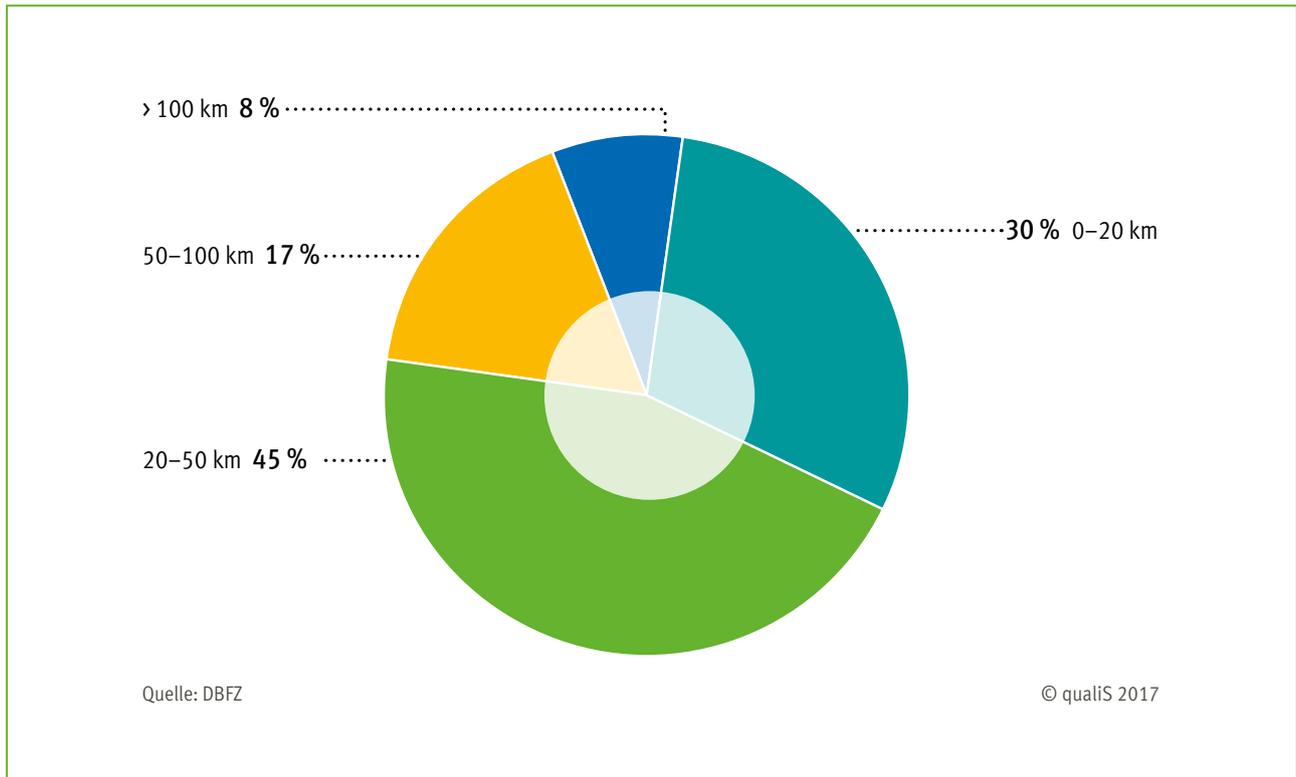


Abb. 4.6: Transportentfernung des Ausgangsmaterials für die HS-Bereitstellung, n = 86

4.2 Nachfrage und Bedarf an qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln

Qualitativ hochwertige Hackschnitzel weisen zum einen höhere Energiedichten und eine verbesserte Lagerfähigkeit gegenüber minderwertigeren Sortimenten auf. Zum anderen kann sich der Einsatz von Hackschnitzeln im höheren Qualitätssegment auch positiv auf Emissionsverhalten und Betriebsweise der Feuerungsanlage auswirken. Letzteres wird maßgeblich durch gleichbleibend hohe Qualitäten gewährleistet und spiegelt sich in Form einer effizienten und sauberen Verbrennung – bei geringerem Wartungs- und Reinigungsaufwand – wieder.

Mit Bezug auf positiven Effekten qualitativ hochwertiger Hackschnitzel auf das Emissionsverhalten, wurden die Hackschnitzelproduzenten nach Neukunden im Jahr 2015 – explizit ausgewiesen war das Datum des Inkrafttretens der 2. Stufe der 1. BImSchV – gefragt, die höhere Anforderungen an die Hackschnitzelqualitäten stellten.

Aus nachstehender Abbildung 4.7 geht hervor, dass 21 Teilnehmer diese Frage bejahten. Folglich bestand bei knapp einem Drittel der Hackschnitzelproduzenten eine gestiegene Nachfrage an einem Brennstoff im höheren Qualitätssegment. Gleichzeitig bewerten diese sowohl das zukünftige Interesse an der Herstellung von qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln als auch die Zahlungsbereitschaft der Kunden für dieses Segment im Mittel höher.

Im Rahmen einer weiteren Umfrage wurden zudem 28 Kesselhersteller aus Deutschland und Österreich gefragt, ob das Inkrafttreten der 2. Stufe der 1. BImSchV zu einem gesteigerten Interesse an Qualitätshackschnitzeln geführt hat. Diesbezüglich konnten acht Rückläufe einbezogen werden, von denen lediglich ein Her-

steller ein gesteigertes Interesse bestätigte. Ähnlich schätzten diese acht Hersteller das zukünftige Interesse ein, hier vermuteten insgesamt nur zwei Kesselhersteller ein gesteigertes Interesse.

Ferner wurden auch die Hackschnitzelproduzenten nach ihrer Einschätzung bezüglich zukünftiger Nachfrage an Holz hackschnitzeln im höheren Qualitätssegment befragt.

Die Abbildung 4.8 belegt, dass die Produzenten einen gewissen Nachfrageanstieg über alle Leistungsklassen hinweg erwarten. Wobei das Marktpotenzial qualitativ hochwertiger Hackschnitzel vornehmlich im Bereich kleiner Anlagen – mit Nennwärmeleistungen bis 300 kW – am höchsten erscheint.

4.3 Zusammenfassung zu den Nutzergruppen von qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln

Auf Basis der Befragung zur sekundären Aufbereitung und Zertifizierung von qualitativ hochwertigen Holz hackschnitzeln konnten sowohl allgemeine Strukturen der Hackschnitzelproduzenten als auch charakteristische Merkmale der Hackschnitzelabnehmer dargestellt werden.

Weiterhin konnten Aussagen zur Nachfrage an qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln getroffen werden. So verzeichneten annähernd ein Drittel der Hackschnitzelproduzenten im Betriebsjahr 2015 Neukunden mit höheren Ansprüchen an die Hackschnitzelqualität. Aus Sicht der teilnehmenden Hackschnitzelproduzenten, wird der zukünftige Markt für qualitativ hochwertige Hackschnitzel i. d. R. bei einem Einsatz in Feuerungsanlagen bis 300 kW Nennwärmeleistung gesehen.

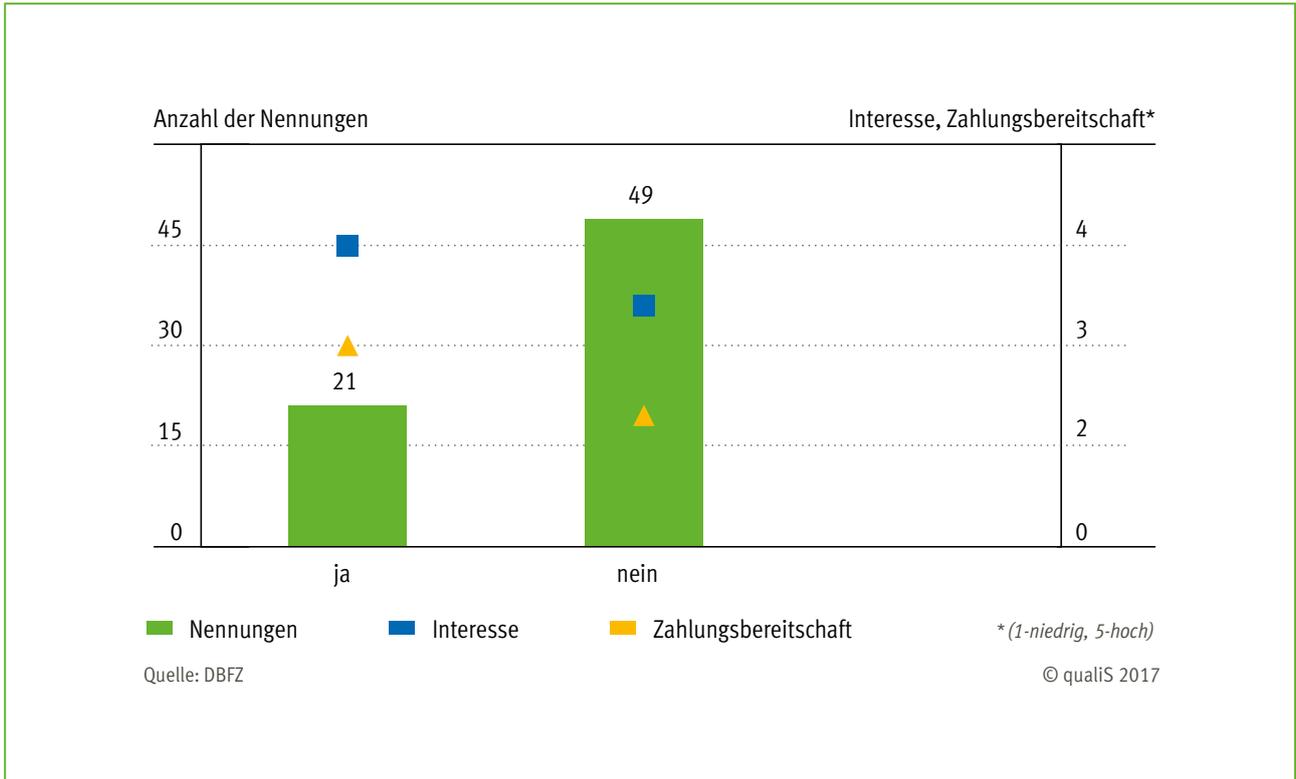


Abb. 4.7: Sind seit 2015 (Inkrafttreten der 2. Stufe, 1. BImSchV) neue Kunden mit höheren Ansprüchen an die Qualität der Hackschnitzel hinzugekommen? n = 70

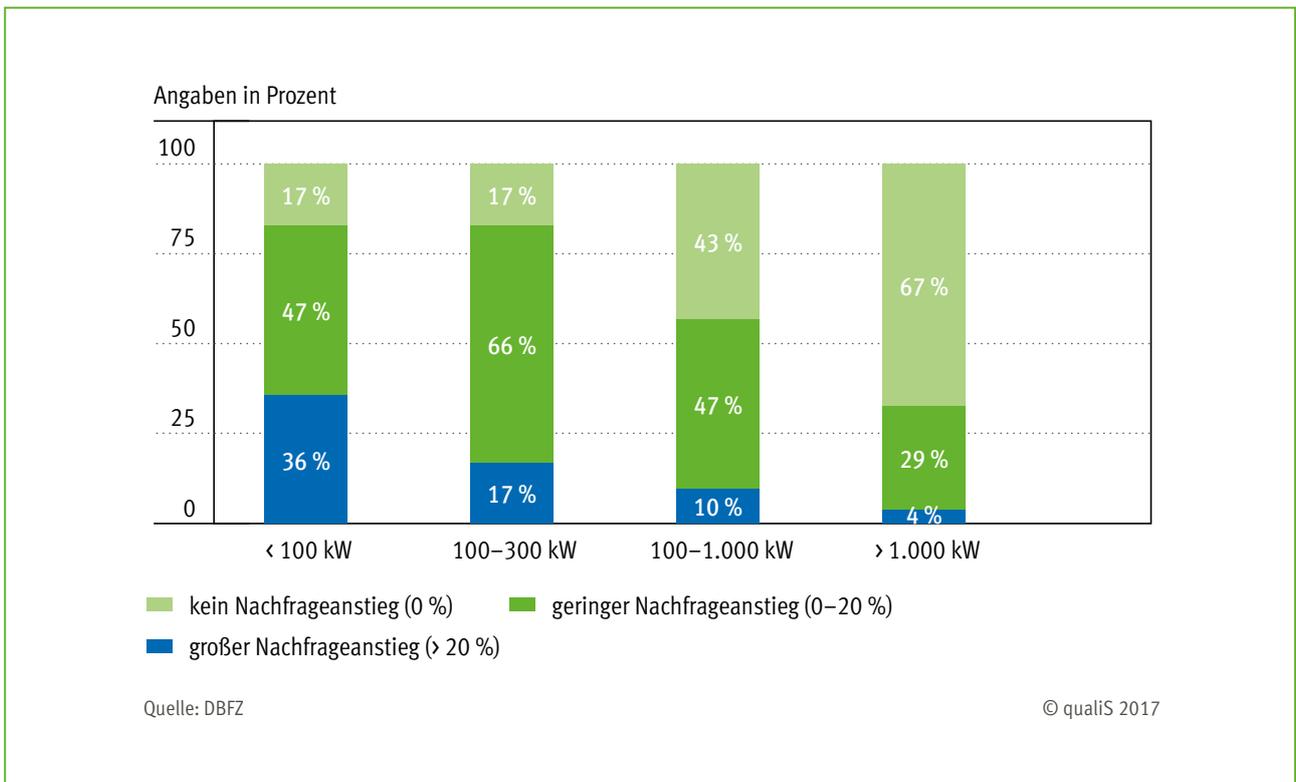


Abb. 4.8: Wie schätzen Sie die zukünftige Nachfrage nach Hackschnitzeln im höheren Qualitätssegment seitens unterschiedlicher Zielgruppen ein? n = 59

The background of the entire page is a close-up photograph of wood chips, which are small, irregular pieces of wood. The chips are light brown and have a fibrous texture. They are scattered across the page, with some in sharp focus and others blurred in the background. The overall color palette is warm and natural, dominated by the browns and tans of the wood.

KAPITEL 5–7

Brennstoffqualität von Holzhackschnitzeln

Holzhackschnitzelproduktion

Mechanische Aufbereitung von Hackschnitzeln
durch Siebung und Trocknung

5 BRENNSTOFFQUALITÄT VON HOLZHACKSCHNITZELN

Kleine bis mittelgroße Hackschnitzelf Feuerungen benötigen für eine effiziente und emissionsarme Verbrennung eine definierte und gleichbleibende Brennstoffqualität [5-1]. Nur durch das aufeinander abgestimmte Zusammenspiel von Anlagentechnik, Benutzerverhalten und Brennstoff kann ein optimaler Betrieb gewährleistet werden. Gerade bei sehr heterogenen Naturprodukten wie Holzhackschnitzeln kann die Brennstoffqualität jedoch aufgrund unterschiedlicher Ausgangsmaterialien und Prozessketten stark schwanken [5-2]. Im Folgenden werden wichtige Brennstoffparameter zusammengefasst und praxisrelevante Brennstoffspezifikationen vorgestellt.

5.1 Qualitätsparameter und deren Einfluss auf die Verbrennung

Zahlreiche Brennstoffqualitätsparameter beeinflussen die emissions- und störungsarme Verbrennung (siehe Tab. 5.1). Um den optimalen Anlagenbetrieb gewährleisten zu können, sollten Hack-

schnitzeln einen zu der jeweiligen Feuerung passenden Wassergehalt und Aschegehalt sowie eine geeignete Partikelgröße, z. B. für den reibungslosen Transport in Förderschnecken, aufweisen. Hierbei sind die Angaben des Kesselherstellers zu beachten [5-1].

Auch Emissionen an Kohlenstoffmonoxid (CO) und Staub sowie an Schwefeldioxid (SO₂) und an Stickstoffoxiden (NO_x) lassen sich zu Teilen auf den Brennstoff zurückführen. Staubemissionen entstehen z. B. brennstoffbedingt, wenn sich ein hoher Anteil an sogenannten aerosolbildenden Elementen im Brennstoff befindet [5-3]. Hierbei ist vor allem Kalium (K) zu nennen, welches im Fall von Holzbrennstoffen i. d. R. den größten Anteil der Aerosolbildner ausmacht. Es gehört zu den sogenannten „verbrennungskritischen Elementen“, da es neben einer erhöhten Aerosolbildung auch weitere negative Effekte, z. B. die Bildung von Schlacke im Brennraum und auf dem Rost, hervorrufen kann. Verbrennungskritische Inhaltsstoffe finden sich stoffwechselbedingt häufig in grünen Pflanzenteilen, z. B. in Nadeln und Blättern, in dünnen Ästen und in der Rinde. Die Konzentrationen im Holz sind dagegen deutlich geringer.

Tab. 5.1: Relevante Parameter für die Brennstoffqualität von Holzhackschnitzeln [5-1]

Qualitätsparameter	Einfluss des Qualitätsparameters
Wassergehalt	Heizwert, Lagerfähigkeit, CO-Emissionen, Brennstoffgewicht, Verbrennungstemperatur
Heizwert	Energiegehalt des Brennstoffs
Aschegehalt	Partikelemissionen, Rückstandsbildung und -verwertung
Ascheerweichungsverhalten	Schlackebildung und -ablagerung
Partikelgrößenverteilung, Überlängen, Feinanteil	Störung der Fördererlemente, Rieselfähigkeit, Brückenbildungsneigung, Belüftungs- und Trocknungseigenschaften, Staubentwicklung, Explosionsgefahr
Stickstoff	NO _x Emissionen
Schwefel	SO ₂ Emissionen, Hochtemperaturkorrosion, Partikelemissionen
Chlor	Emissionen von HCl und halogenorganischen Verbindungen (z. B. bei PCDD/F-Bildung), Partikelemissionen
Kalium	Ascheerweichungsverhalten, Hochtemperaturkorrosion, Partikelemissionen
Natrium	Partikelemissionen
Magnesium & Calcium	Ascheerweichungsverhalten, Ascheeinbindung von Schadstoffen, Ascheverwertung, Partikelemissionen
Silizium	Aschegehalt, Ascheerweichungsverhalten
Schwermetalle	Ascheverwertung, Schwermetallemissionen, z. T. katalytische Wirkung (z. B. bei PCDD/F-Bildung), Partikelemissionen



Qualitativ hochwertige Hackschnitzel

Eine hohe Brennstoffqualität zeichnet sich auch durch einen homogenen Brennstoff aus. Starke Schwankungen sind v.a. beim Wassergehalt, der Partikelgröße und dem Aschegehalt zu

vermeiden, damit die jeweilige Feuerung bestmöglich auf eine gleichbleibende Qualität eingestellt werden kann.

Tab. 5.2: Spezifikationen für Holzhackschnitzel nach DIN EN ISO 17225-4 (Auszug) [5-4]

Qualitätsklasse	Einheit	A1	A2	B1	B2
Herkunft nach DIN EN ISO 17225-1		1.1.1 Vollbäume ohne Wurzeln ^a 1.1.3 Stammholz 1.1.4 Waldrestholz 1.2.1 Chemisch unbehandelte Holzrückstände	1.1.1 Vollbäume ohne Wurzeln ^a 1.1.3 Stammholz 1.1.4 Waldrestholz 1.2.1 Chemisch unbehandelte Holzrückstände	1.1 Wald- und Plantagenholz und anderes naturbelassenes Holz ^b 1.2.1 Chemisch unbehandelte Holzrückstände	1.1 Wald- und Plantagenholz und anderes naturbelassenes Holz ^b 1.2 Restholz aus der Industrie 1.3 Gebrauchtholz, chem. unbehandelt
Wassergehalt	m-%	≤ 10 oder ≤ 25	≤ 35	Maximalwert ist anzugeben	
Aschegehalt	m-%, wf	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0	
Heizwert	MJ/kg	Mindestwert ist anzugeben			

^a ohne Klasse 1.1.1.3 (Kurzumtriebsplantagenholz), falls der Brennstoff von belasteten Flächen stammt

^b ohne die Klassen 1.1.5 (Stümpfe/Wurzeln) und 1.1.6 (Rinde)

Tab. 5.3: Größenklassen für Holzhackschnitzel nach DIN EN ISO 17225-4 [5-4]

Größenklasse	Hauptfraktion	Feinanteil	Grobanteil	Maximale Länge	Maximale Querschnittsfläche
	≥ 60 %, mm	% ≤ 3,15 mm	%	mm	cm ²
P16S	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	≤ 15 %	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 45 mm	≤ 2 cm ²
P31S	3,15 mm ≤ P ≤ 31,5 mm	≤ 10 %	≤ 6 % > 45 mm	≤ 150 mm	≤ 4 cm ²
P45S	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	≤ 10 %	≤ 10 % > 63 mm	≤ 200 mm	≤ 6 cm ²

5.2 Normung und Zertifizierung

Die Qualität von biogenen Festbrennstoffen lässt sich mithilfe internationaler Normen beschreiben. Hackschnitzel zur Verwendung in kleinen bis mittelgroßen Feuerungen können mithilfe der seit 2014 gültigen DIN EN ISO 17225-4 klassifiziert werden [5-4]. Sie ersetzt vorherige Normen wie z. B. die Ö-Norm M7133 oder die DIN EN 14961-4. In der DIN EN ISO 17225-4 werden vier hochwertige Produktspezifikationen (Klasse A1 bis B2) definiert, die genaue Anforderungen an den Wassergehalt, die Partikelgrößenverteilung, den Aschegehalt oder die chemischen Zusammensetzung festlegen (siehe Tab. 5.2 und 5.3). Daneben werden geeignete Ausgangsmaterialien festgelegt. Hierbei handelt es sich vornehmlich um naturbelassenes, chemisch unbehandeltes Holz. So ist z. B. der Einsatz von Waldrestholz und schwachem Stammholz für qualitativ hochwertige Hackschnitzel ab Klasse A1 erlaubt, KUP-Holz von möglicherweise belasteten Standorten ist aber erst ab Klasse B1 zugelassen.

Kesselhersteller, Hackschnitzelproduzenten und Brennstoffkunden können sich an den Vorgaben aus der DIN EN ISO 17225-4 orientieren, um den am besten geeigneten Brennstoff für die jeweilige Feuerung zu definieren, zu produzieren oder zu erwerben. In weiterführenden Prüfnormen werden die notwendigen Messmethoden beschrieben, mithilfe derer sich die definierten Qualitätsparameter einheitlich bestimmen lassen. Die Verwendung der DIN EN ISO 17225-4 erfolgt freiwillig, eine gesetzliche Verpflichtung besteht nicht.

Aufgrund der Komplexität der gängigen Produktnormen für biogene Festbrennstoffe und um den Kauf hochwertiger Hackschnitzel für private und kommunale Kunden ohne forstlichen Hintergrund zu vereinfachen, wurden leichter verständliche Nachweismöglichkeiten (Zertifikate, Gütesiegel) für den Handel erarbeitet (siehe Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Zertifikate und Gütesiegel für qualitativ hochwertige Holzhackschnitzel (Beispiele)

Zertifikat/Gütesiegel	Institut
ENplus Holzhackschnitzel	Deutsches Pellet Institut GmbH
RAL-GZ 451/2 Holzhackschnitzel	RAL-Gütegemeinschaft Wald- und Landschaftspflege e. V.

Die Zielsetzung eines Zertifikats oder eines Gütesiegels für Hackschnitzel ist es, die Produkthanforderungen aus den Normen unter einem Label zusammenzufassen und somit dem Endkunden die Einarbeitung in die umfangreichen Regelwerke zu ersparen. In Abstimmung mit der Praxis (Kesselhersteller, Brennstoffproduzenten) gehen die Anforderungen teilweise über die Spezifikationen der DIN EN ISO 17225-4 hinaus, indem z. B. der Feinanteil oder die maximale Partikellänge weiter reduziert werden. Vor allem für den Wassergehalt werden Anforderungen an einen engen Wertebereich gestellt. Neben der Produktspezifikation setzten die Zertifizierungssysteme ein betriebliches Qualitätsmanagement voraus, mithilfe dessen die langfristige Einhaltung einer gleichbleibenden Produktqualität gewährleistet werden soll.

6 HOLZHACKSCHNITZEL- PRODUKTION

Für die Produktion von Hackschnitzeln existiert in der Praxis eine Vielzahl an Verfahrensketten [6-1], [6-2]. Die Brennstoffe werden aus verschiedenen Ausgangsmaterialien und mit unterschiedlichen Aufbereitungsschritten produziert. Dementsprechend weit streut die Qualität des Brennstoffs. Vor allem private Betreiber von Hackschnitzelf Feuerungen, z. B. aus der Landwirtschaft, besitzen häufig eigenen Wald und stellen ihren Brennstoff selbst her [6-2]. Im Folgenden wird daher auf die Brennstoffproduktion im Wald und die dazugehörigen Optimierungsmaßnahmen bezüglich der Brennstoffqualität eingegangen. Danach folgt eine Bewertung weiterer Brennstoffquellen.

6.1 Brennstoffqualität bei der Hackschnitzelproduktion im Wald

Waldhackschnitzel fallen meistens als Koppelprodukt bei der Holzernte an [6-2]. Daneben können Hackschnitzel bei der Waldpflege, z. B. bei der Jungdurchforstung oder bei der Aufarbeitung von Windwurfflächen und Käferholz produziert werden. Der eigentliche Verfahrensschritt „Hacken“ ist dabei i. d. R. zeitlich von der jeweiligen Erntemaßnahme entkoppelt. Zum Einsatz kommen meist leistungsstarke, mobile Trommelhacker, zu gewissen Anteilen aber auch Scheibenrad- und Schneckenhacker. Gehackt wird häufig direkt an der Waldstraße, an der die Hackholzpolter vorkonzentriert werden.

Schon bei der Prozesskette im Wald kann die Brennstoffqualität maßgeblich positiv oder negativ beeinflusst werden [6-2], [6-3]. Hierbei sind folgende übergeordnete Punkte zu nennen:

- Auswahl des Ausgangsmaterials,
- Auswahl von Ernte- und Bringungsverfahren,
- Hackmaschine und Maschineneinstellungen,
- Saubere Arbeitsweise in der gesamten Prozesskette,
- Erfahrungsgrad des Maschinenführers, bzw. der Maschinenführerin.

Die Brennstoffqualität hängt maßgeblich vom Ausgangsmaterial ab. Frische Waldhackschnitzel weisen häufig Wassergehalte von ca. 50 m-% auf, weshalb sie für die Anwendung in kleinen und mittelgroßen Anlagen i. d. R. getrocknet werden müssen (siehe Kapitel 6.2 und 7).



Hackschnitzelproduktion aus Waldrestholz:
Vorkonzentrierter Polter (oben) und Hacken an der Waldstraße (unten)

Daneben hängen noch weitere Brennstoffparameter vom Ausgangsmaterial ab. Vor allem das Sortiment hat großen Einfluss auf den Aschegehalt, den Feinanteil sowie den Anteil an Überlängen (siehe Tab. 6.1). Hierbei zeigen vor allem Hackschnitzel aus Waldrestholz (z. B. Kronenmaterial, Äste) aufgrund hoher Anteile an Nadeln und Rinde oft höhere Feinanteile als z. B. Hackschnitzel aus sogenanntem „Energierundholz“ (dünne, auch grob entastete Stammabschnitte geringer Qualität) [6-2]. Hackschnitzel aus Waldrestholz lassen sich aufgrund hoher Feinanteile und Überlängen auch deutlich seltener in die Partikelgrößenklassen P16S, P31S und P45S nach DIN EN ISO 17225-4 einordnen als Hackschnitzel aus Energierundholz (siehe Kapitel 5).

Tab. 6.1: Typische Werte für Waldhackschnitzel

	Waldrestholz und Vollbäume mit Nadeln, Blättern und Rinde	Energierundholz
Wassergehalt (m-%)	ca. 45–55	
Aschegehalt (m-%, wf)	ca. 1,5–3,5	ca. 0,5–1,5
Heizwert (MJ/kg, wf)	ca. 18,5–19,5	ca. 18,5–19,0
Feinanteil (m-%)	ca. 10–25	ca. 5–15

Quelle: TFZ-Bericht 40

Neben dem Sortiment (Waldrestholz, Energierundholz) hat auch die Baumart einen Einfluss auf die Brennstoffqualität. So haben harte Laubhölzer (z. B. Buche, Eiche, Birke) eine höhere Schüttdichte als z. B. Nadelholz oder weiches Laubholz. Im Gegensatz dazu besitzen Nadelhölzer häufig einen geringfügig höheren Heizwert je Masse aufgrund höherer Anteile an Harz oder Lignin.

Die Wahl der passenden Hackmaschine und der richtigen Maschineneinstellungen sind ebenso maßgeblich für eine hohe Brennstoffqualität [6-2]. Dabei beeinflusst die Maschine vor allem die Stückigkeit, d. h. die Partikelgröße und die Partikelform, den Feinanteil und die Überlängen. Durch unterschiedliche Schneidsysteme und der teilweise einstellbaren Schnittweiten der Hackmesser, aber auch durch Variation der Drehzahl des Schneidaggregates zum Einzug des Hackholzes verändert sich die Größe der Partikel. Engmaschige Prallsiebe hinter der Hackertrommel eines Trommelhackers minimieren Überlängen, können aber wiederum den Feinanteil erhöhen. Vor allem auf eine gute Messerschärfe sollte stets geachtet werden, um sowohl einen geringen Feinanteil, aber auch eine glattkantige Partikelform zu gewährleisten. Förderbänder für den Materialausstrag können vorteilhaft gegenüber dem Austrag mittels Gebläse sein, da es durch den sanfteren Austrag zu keiner zusätzlichen Nachzerkleinerung der Partikel kommt. Weiterentwicklungen bei der Anordnung der Messer auf der Hackertrommel oder die Bauweise und Dimension der Trommel selbst können die Partikelgröße und die Partikelform, aber auch den Kraftstoffverbrauch beim Hacken weiter optimieren.



Beispiel für ein Schneidaggregat: Halbdurchlässige Hackertrommel mit versetzten Messern

Ein Eintrag von Fremdmaterial im Brennstoff, vor allem durch Mineralboden, führt zu einer erheblichen Erhöhung des Aschegehalts und senkt den Anteil des brennbaren Materials [6-3]. Die damit verbundenen hohen Anteile an Silizium und anderen Elementen (z. B. Schwermetalle) können zu einem veränderten Ascheschmelzverhalten führen oder die Entsorgung der Asche erschweren. Weiterhin führt ein erhöhter Bodenanteil im Brennstoff zu stärkerem Verschleiß der Hackmesser. Der Eintrag von Mineralboden kann in allen Abschnitten der Verfahrenskette einschließlich Holzernte und Rücken stattfinden und muss in jedem Fall vermieden werden.



Beispiel für extreme Schlackebildung bei unpassender Brennstoffqualität, angefallen im Aschebehälter einer 1,3 MW Feuerung

Qualitätsverbessernd können auch Innovationen in dem vorausgehenden Teil der Prozesskette wirken. Neue Bereitstellungsverfahren, wie die gezielte Aushaltung von grob entastetem Energierundholz aus Nadelholzkronen oder die Verwendung von neuartigen Harvester-Aggregaten, die eine Entrindung des Holzes ermöglichen, werden untersucht und wurden bereits auf aktuellen Messen und Tagungen, z. B. auf der KWF-Tagung 2016, vorgestellt.

Letztlich ist auch der Erfahrungsgrad der Maschinenführer zu nennen. Unsaubere Kranführung kann einen erhöhten Eintrag von Mineralboden zur Folge haben. Auch ist eine gleichmäßige Beschickung des Hackers nötig, bei der z. B. die Hackertrommel nicht leerläuft. Beim regelmäßigen Leerlaufen der Trommel haben lange Partikel die Möglichkeit, sich senkrecht zum Prallsieb aufzustellen und dieses zu passieren. Hierdurch erhöht sich der Anteil an Überlängen, sodass die Verwendung des Brennstoffs in Feuerungen mit Förderschnecken mit kleinem Querschnitt kritisch wird. Im Gegensatz dazu führt die Überlastung der Maschine durch zu starke Beschickung oft zu automatisch gesteuerten Unterbrechungen des Einzugs, wodurch sich u. a. der Feinanteil erhöhen kann.

Zusammenfassend ergibt sich somit schon bis einschließlich des Prozessschritts „Hacken“ eine Vielzahl an Möglichkeiten, die Brennstoffqualität von Waldhackschnitzeln sowohl positiv als auch negativ zu verändern. Vor allem Betreiber privater Hackschnitzelfeuerungen, die ihren Brennstoff selbst herstellen, haben hiermit schon eine Reihe an Optimierungsmaßnahmen um eine hohe Brennstoffqualität auch ohne weitere Aufbereitungsschritte zu gewährleisten.

6.2 Lagerung und natürliche Trocknung von Waldhackschnitzeln und Hackholz

FrISCHE Waldhackschnitzel haben häufig einen zu hohen Wassergehalt und müssen getrocknet werden (siehe Abschnitt 6.1). Neben technischen Trocknungsverfahren, z. B. der Nutzung von kostengünstiger Abwärme aus Biogasanlagen (siehe Kapitel 7), gibt es die Möglichkeit, die Brennstoffe bei der Lagerung im gehackten und ungehackten Zustand über natürliche Prozesse zu trocknen [6-1]. Die Lagerung ist dabei ein regelmäßiger und wichtiger Bestandteil der Bereitstellungskette, denn sie dient als zeitlicher Ausgleich zwischen dem Anfall des Brennstoffes und dem Verbrauch. Sie wird aber auch gezielt zur Trocknung eingesetzt.

Die Lagerung von Hackschnitzeln findet sowohl im Freien, als auch unter Dach, d. h. in Lagerhallen statt. Stellenweise werden luftdurchlässige Vliese verwendet, um die Wiederbefeuchtung der Hackschnitzel durch Niederschlag zu vermeiden. Gelagert wird sowohl auf unbefestigten, als auch auf befestigten Untergründen. In der Praxis werden dabei eine Vielzahl unterschiedlicher Lagervarianten (z. B. Mietengröße, Mietenausformung, etc.) beobachtet.



Hackschnitzellagermieten mit und ohne Vliesabdeckung

Bei der Lagerung frischer Hackschnitzel kommt es zu einer starken Erwärmung der Schüttungen. Diese Erwärmung wird durch biologische Abbauprozesse der vorhandenen Mikroorganismen, z. B. durch Bakterien und Pilze, bedingt. Hierdurch geht Trockenmasse, d. h. Brennstoff verloren. Diese Trockenmasseverluste können im Bereich von 0,4 bis zu im Extremfall 4,5 m-% pro Monat liegen [6-1]. Die Abbaurate wird u. a. durch hohe Anteile an Feinmaterial und grüner Biomasse, aber auch durch einen hohen Einlagerungswassergehalt und eine hohe Mietenhöhe gefördert. Allerdings ermöglicht erst die durch den Abbau bedingte Erwärmung der Haufen die Trocknung der Brennstoffe. Die schlussendlich bereitgestellte Menge an Energie hängt dabei nicht nur von den Verlusten, sondern auch von dem Wassergehalt bei Auslagerung ab, denn bereits entferntes Wasser muss bei der Verbrennung nicht mehr verdampft werden. Aktuelle Erfahrungen zeigen, dass eine gute Trocknung vor allem in niederschlagsarmen Sommermonaten geschieht. Eine Lagerung mit dem Ziel, den Wassergehalt der Brennstoffe zu senken, sollte daher vor allem in dieser Zeit stattfinden.

Die Verwendung von Vliesen kann den Trocknungseffekt bei der Freilandlagerung im Sommer stellenweise noch verbessern, bedeutet aber, analog zur Lagerung in der Halle, einen höheren Kosten- und Arbeitsaufwand. Zu beachten ist, dass vor allem beim Abbau der Lagermiete von unbefestigten Lagerplätzen kein zusätzlicher Mineralboden in den Brennstoff gelangt und es somit zu keiner Verschlechterung der Brennstoffqualität kommt. Die Hackschnitzel sollten, wenn möglich, nach der Lagerung homogenisiert werden, da sich Schichten mit unterschiedlichen Wassergehalten bilden können. Die Durchmischung kann hierbei mittels Radlader erfolgen.



Beispiel für Schichtbildung in einer Lagermiete

Hohe Schüttungen >4 m oder das Verdichten der Mieten durch das Befahren mit dem Radlader sind zu vermeiden, da sonst das Risiko der Selbstentzündung (zu hohe Eigenerwärmung, kein Wärmeabfluss) besteht [6-1]. Als Lagerort sollten zudem Standorte gewählt werden, die nicht direkt an Wohngebäude grenzen, da es durch Pilzbesiedelung zu Sporenflug kommen kann. Eine Alternative zur Lagerung und Trocknung in der Miete ist die Lagerung im ungehackten Polter. Auch hierbei kommt es zu der natürlichen Trocknung der Brennstoffe, jedoch weniger durch Selbsterwärmung als vielmehr durch natürlichen Luftdurchzug und Sonneneinstrahlung. Als Lagerort sollte, wie auch bei der Trocknung von Scheitholz, ein luftiger, sonniger Ort, z. B. am Feldrand gewählt werden. Der Vorteil der Trocknung im Polter ist, dass die Massenverluste niedriger, bzw. vergleichbar zu denen in der Miete sein sollten, dieser Verlust jedoch vor allem bei der Lagerung von ungehacktem Waldrestholz teilweise durch ein Abrieseln von Nadeln, Blättern und Rinde und nicht nur durch Zersetzung zu erklären ist. Hierdurch verringern sich häufig auch der Aschegehalt und der Feinanteil. Weiterhin könnte am Brennstoff anhaftender Mineralboden durch Niederschlag abgewaschen werden. Voraussetzung ist jedoch auch hier, dass nach der Trocknung auf eine saubere Arbeitsweise geachtet wird. Aktuelle Versuche zeigen, dass trotz unterschiedlicher natürlicher Prozesse bei der Poltertrocknung im Sommer ähnliche Trocknungsraten erzielt werden können wie bei der Mietentrocknung. Im Winter konnten dagegen nur bei abgedeckten Waldrestholzmieten durch hohe Eigenerwärmung nennenswerte Trocknungseffekte erzielt werden. Die Trocknung von ungehacktem Holz ist

zudem nicht generell zu empfehlen, denn hierzu muss auch die Waldschutzsituation, z. B. die Bildung möglicher Brutherde für den Borkenkäfer, berücksichtigt werden.



Vorgetrockneter Hackholzpolter am Feldrand

Zu beachten ist, dass beiden Varianten, die Trocknung im Polter und die Trocknung in der Miete, keinen absoluten Trocknungserfolg garantieren können. Dieser hängt immer auch von den gegebenen Lagerbedingungen, z. B. von der Temperatur und dem Niederschlag in dem jeweiligen Jahr ab. Sehr niedrige Wassergehalte < 20 m-%, wie sie für manche Kessel empfohlen werden, sind mit natürlichen Trocknungsprozessen zudem nur schwer zu erreichen. Hier wären technische Trocknungsverfahren zu bevorzugen. Nichtsdestotrotz stellt die natürliche Trocknung gerade für Privatanwender eine kostengünstige Alternative dar.

6.3 Weitere Quellen für Holzhackschnitzel

Waldhackschnitzel stellen nur eine von einer Vielzahl möglicher Quellen für die Hackschnitzelproduktion dar [6-2]. Daneben fallen Hackschnitzel häufig als Nebenprodukte der Sägeindustrie an. Diese Hackschnitzel haben i. d. R. keine Anteile an Nadeln oder Ästen und haben auch häufig sehr niedrige Rindenanteile. Der Aschegehalt und die Gehalte an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen sind somit für dieses Sortiment sehr gering. Naturbelassene Hackschnitzel aus Sägerestholz sind nach der Trocknung auf den gewünschten Zielwassergehalt und optional der Ausiebung vom Holzigen Feinanteil als besonders geeigneter Brennstoff für Kleinfeuerungsanlagen zu bewerten. Auch die Einhaltung strenger Emissionsgrenzwerte für CO und Staub ohne technische Minderungsmaßnahmen (z. B. Staubabscheider) sollten am ehesten mit diesen Brennstoffen möglich sein. Im Unterschied zum Waldhackschnitzel hat der private Anwender jedoch kaum die Möglichkeit, diese Brennstoffe selbst zu erzeugen. Sie müssen somit zugekauft werden. Weitere Brennstoffquellen sind z. B. gezielt für die Brennstoffproduktion angebaute Hölzer aus dem Kurzumtrieb (KUP), sowie Resthölzer aus der Landschaftspflege, aus der Pflege von Verkehrswegen und Stromtrassen oder aus dem urbanen Bereich (sogenanntes Siedlungsholz). Diese Brennstoffe sind aufgrund hoher Rinden- und Grünanteile meist als weniger geeignet für Kleinfeuerungs-

anlagen einzuordnen [6-3]. Auch ist bei manchen Sortimenten eine Verschmutzung, z. B. durch Streusalz (Erhöhung der Korrosionsgefahr) möglich. Ein Einsatz ohne sekundäre Staubminderungsmaßnahmen dürfte schwierig sein.

Einen Sonderfall stellt gebrauchtes Holz dar, welches am Ende seines Lebenszyklus thermisch verwertet werden soll. Diese Hölzer sind häufig chemisch behandelt und dürfen dann nicht in Kleinfeuerungsanlagen, sondern nur in speziell zugelassenen Altholzanlagen verbrannt werden. Chemisch unbehandeltes Gebrauchtholz wäre prinzipiell zwar zulässig, kann jedoch häufig optisch nicht eindeutig bewertet werden, da viele Holzschutzmittel nicht mit bloßem Auge erkennbar sind. Diese können jedoch korrosionsfördernde Inhaltsstoffe und Schwermetalle beinhalten oder zu besonders schädlichen Emissionen z. B. von PCB (Polychlorierte Biphenyle) führen. Somit sollte auch die Verwendung von optisch als unbehandelt bewertetem Gebrauchtholz in Kleinfeuerungsanlagen vermieden werden.

6.4 Empfehlungen für den Eigenverbraucher

Insgesamt lässt sich eine Reihe von Empfehlungen für Betreiber einer privaten Hackschnitzelheizung aussprechen:

- Auswahl eines hochwertigen Ausgangsmaterials für die Brennstoffproduktion, z. B. (grob entastetes) Energierundholz oder Sägerestholz.
 - Passende Hackmaschine/Maschineneinstellung für die richtige Partikelgröße und für einen niedrigen Anteil an Feinmaterial und Überlängen wählen.
 - Saubere Arbeitsweise in der gesamten Prozesskette inklusive Holzernte, Rücken und Transport.
 - Frische Hackschnitzel müssen für kleine Feuerungen getrocknet werden. Zur Auswahl steht die natürliche Trocknung in Mieten und Polter, aber auch technische Trocknungsverfahren mit Abwärme, z. B. von Biogasanlagen in Lohn-trocknungsbetrieb.
 - Eine regelmäßige Eigenkontrolle der Brennstoffqualität bei der Produktion sollte durchgeführt werden (s. Kapitel 9 & 10)
- Sollte die gewünschte Brennstoffqualität nicht erreicht werden können, so kann diese durch sekundäre Aufbereitungsmaßnahmen, z. B. durch technische Trocknung und Siebung in Lohnbetrieben, weiter verbessert werden (siehe Kapitel 7).
- www.tfz.bayern.de
 - www.lwf.bayern.de

7 MECHANISCHE AUFBEREITUNG VON HACKSCHNITZELN DURCH SIEBUNG UND TROCKNUNG

Die Nachfrage nach einer hohen Hackschnitzelqualität und das hierdurch erforderliche betriebliche Qualitätsmanagement findet bei der Produktion und bei der Anlieferung von biogenen Festbrennstoffen zunehmend Anwendung. Sekundäre Brennstoffaufbereitungsschritte, z. B. die mechanische Siebung oder die technische Trocknung, stellen vielversprechende Möglichkeiten dar, um z. B. den Wassergehalt und den Aschegehalt zuverlässig zu reduzieren oder um die passende Partikelgrößenverteilung zu erreichen [7-1]. Eine mechanische Siebung verringert zudem den Anteil an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen, da viele dieser Elemente in der grünen Biomasse (Nadeln, Blätter) und in der Rinde gespeichert sind oder über Verunreinigungen der Brennstoffe mit Mineralboden bei der Holzerte, beim Hacken, beim Transport oder bei der Aufbereitung der Brennstoffe am Biomassehof eingetragen werden können (siehe Kapitel 6, [7-2]). Aufgrund der Vielzahl an Aufbereitungsmethoden gibt es allerdings bisher noch wenige verlässliche Daten zur tatsächlichen Steigerung der Brennstoffqualität. Auch hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens wurden mechanisch aufbereitete Hackschnitzel bisher nur selten untersucht.

In Kapitel 7.1 werden zunächst gängige Aufbereitungstechniken beschrieben. Anschließend erfolgt die Darstellung von 6 Fallstudien, die bei ausgewählten Hackschnitzelproduzenten begleitet wurden (Kapitel 7.2).

7.1 Sieb- und Trocknungstechniken

Zur Marktanalyse gängiger Sieb- und Trocknungstechniken für die Aufbereitung von Holzhackschnitzeln wurde im Dezember 2015 eine Online-Umfrage mit Brennstoffproduzenten und Händlern durchgeführt (siehe Kapitel 4). Hierbei wurde von den Produzenten u. a. erfragt, welche Techniken zur Aufbereitung von Hackschnitzeln Anwendung finden und in welcher Reihenfolge die Prozessschritte aufeinander folgen. Unterschieden wurde dabei in zwei potenzielle Sortimente für Anlagen nach der 1. BImSchV, wobei Sortiment 1 für den Einsatz in Feuerungen mit einer Anlagenleistung von < 100 kW und Sortiment 2 für Feuerungen > 100–1.000 kW vorgesehen war.

Der Rücklauf zur Umfrage umfasste 91 verwertbare Datensätze. Die Daten wurden mit weiteren verfügbaren Informations-

quellen (z. B. den Online-Marktübersichten des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik e. V., KWF [7-3], [7-4]) verglichen.

7.1.1 Siebtechnik

Die zur Aufbereitung von Holzhackschnitzeln einsetzbaren Siebtechniken haben ihren Ursprung in der Sortierung von Gesteinen, im Recycling, der Futtermittelindustrie und der Kompostierung. In Deutschland werden Siebanlagen von mehreren nationalen und internationalen Anbietern eingesetzt. Bereits 2011 wurde vom KWF eine Marktübersicht über relevante Siebmaschinen veröffentlicht, die für die Aufbereitung von Hackschnitzeln genutzt werden können [7-3]. Insbesondere bei den mobilen Siebanlagen sind seither weitere Hersteller und Modelle dazu gekommen. Unterschieden wird zunächst in stationäre und in mobile Siebanlagen. Mobile Siebanlagen sind vor allem Trommel- und Sternsiebe. Stationäre Siebanlagen sind vor allem Plan- und Schwingsiebe, es kommen aber auch Stern- und Trommelsiebe zum Einsatz.

Die Ergebnisse der projektbezogenen Marktanalyse zeigen, dass die Siebung als Aufbereitungsschritt in der Praxis eine eher untergeordnete Rolle spielt. Nur ungefähr ein Drittel der Befragten siebt die Sortimente tatsächlich (siehe Abb. 9.1). Hierbei kommen vor allem Schwingsiebe zum Einsatz. Daneben werden die Brennstoffe mit Trommel- und Sternsieben aufbereitet (siehe Abb. 9.2).



Mobiles Trommelsieb an einem Biomassehof

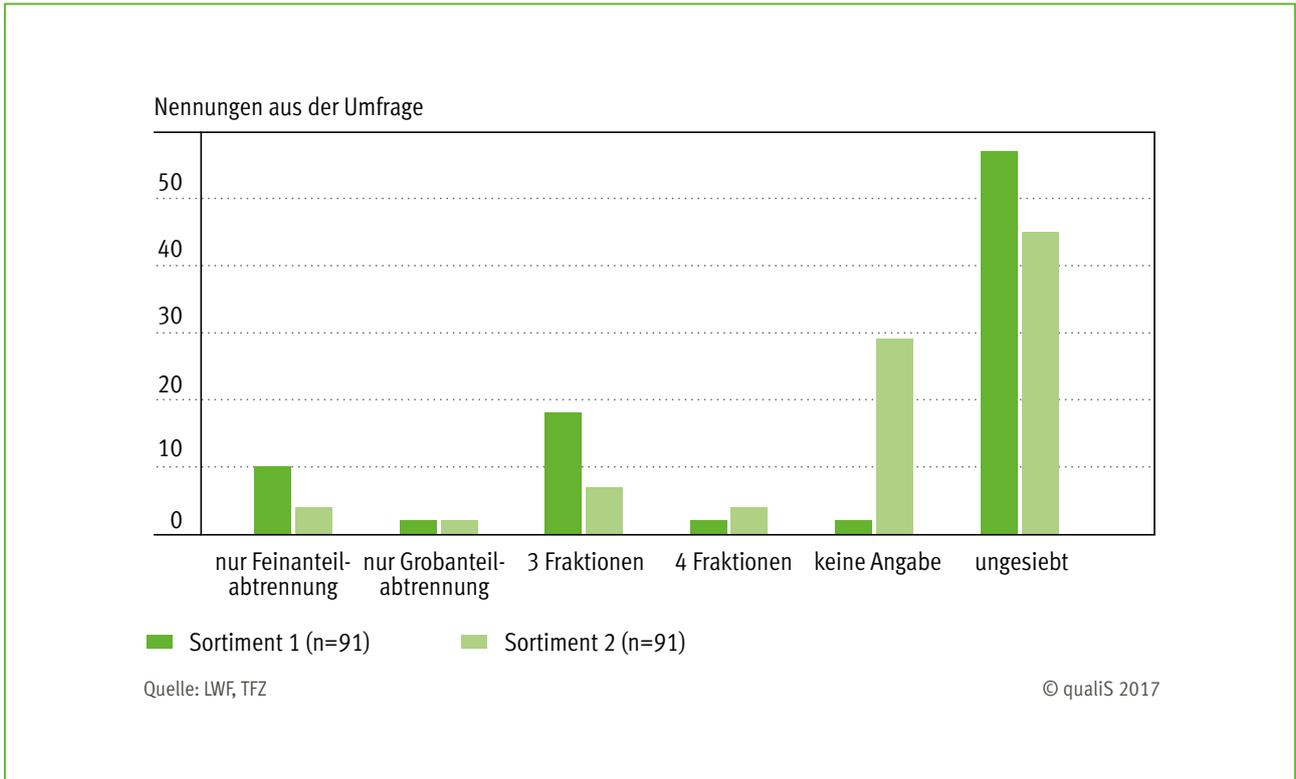


Abb. 7.1: Anzahl an Siebfraktionen bei der Aufbereitung von Hackschnitzeln für Anlagen nach 1. BlmSchV (Sortiment 1 für Feuerungen < 100 kW, Sortiment 2 für Feuerungen > 100–1.000 kW, Ergebnisse aus einer Produzentenumfrage im Jahr 2015)

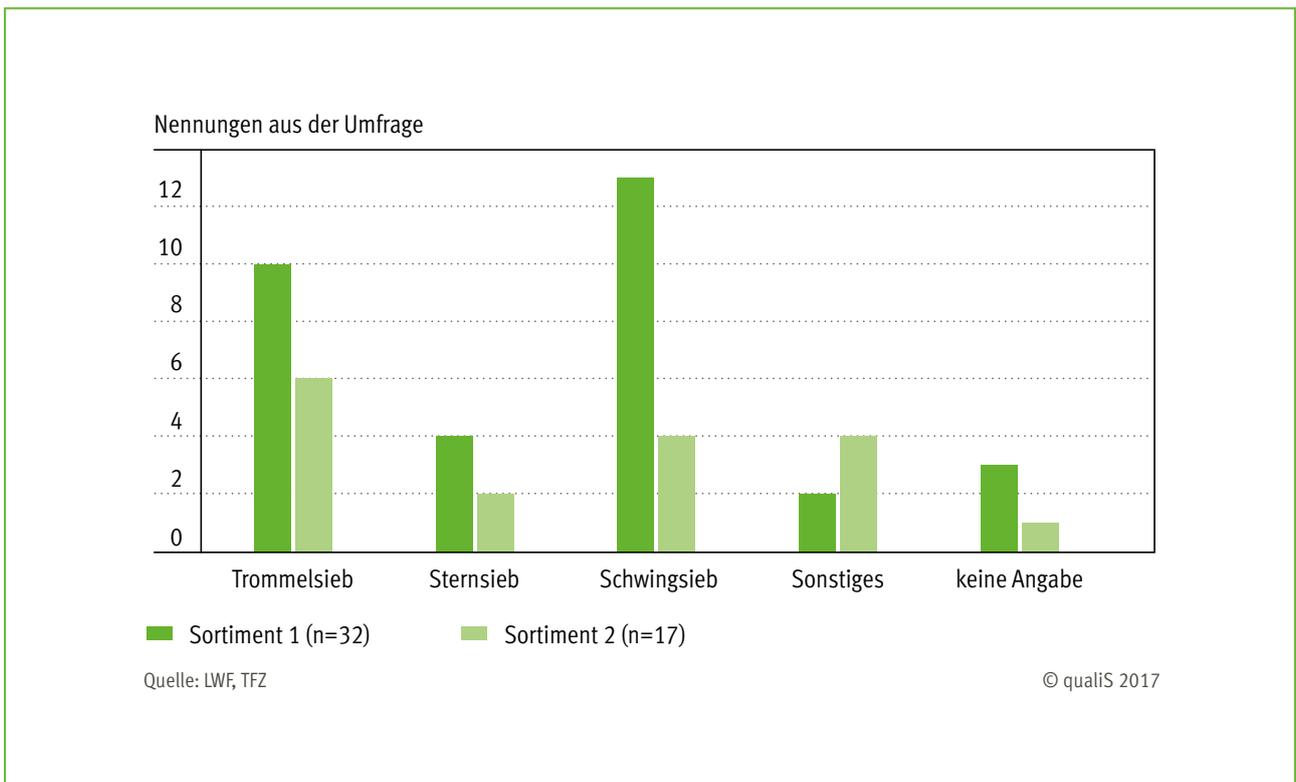


Abb. 7.2: In der Praxis verwendete Siebtechniken zur Aufbereitung von Hackschnitzeln für Anlagen nach 1. BlmSchV (Sortiment 1 für Feuerungen < 100 kW, Sortiment 2 für Feuerungen > 100–1.000 kW, Ergebnisse aus einer Produzentenumfrage im Jahr 2015)

Schwingsiebe: Schwingsiebe werden nicht nur häufig für die Siebung von Gesteinen, sondern auch in der Recycling-, Futtermittel- und Holzindustrie verwendet. Meist sind die Anlagen fest in einer Aufbereitungskette verbaut. In Schwingsieben können i. d. R. mehrere Siebelemente übereinander integriert werden, sodass gleichzeitig mehrere Fraktionen abgesiebt werden. Durch einen Wechsel der Siebelemente kann die Zielgröße der Fraktionen ausgewählt werden. Häufig wird das Material über eine Förderanlage aus einem vorgelagerten Bunker transportiert und gleichmäßig auf den obersten Siebkorb verteilt. Durch Schwingbewegungen der Siebelemente fallen die verschiedenen Partikel je nach Größe durch die einzelnen Siebstufen. Über Förderbänder werden die Partikel danach aus den jeweiligen Siebstufen abtransportiert [7-1].

Trommelsiebe: Trommelsiebe finden in vielen Bereichen Verwendung. Sie sind z. B. zur Siebung von Kompost und Boden, aber auch von Biomasse und Holzhackschnitzeln einsetzbar. Der Markt bietet eine große Spannweite an verschiedenen Größen und Ausführungen (z. B. auch mit mehreren integrierten Trommeln). Die Siebfläche reicht von 10 m² bei kleinen, mobilen Anlagen bis zu über 50 m² bei großen, stationären Sieben. Die Siebe verfügen ebenfalls meist über einen Bunker, in den das zu siebende Material eingefüllt wird. Dieses rutscht durch eine leichte Neigung der Trommel oder mittels einer integrierte Förderanlage (z. B. Schneckenbahnen) Richtung Trommelende. Durch die Rotation der Trommel werden je nach Lochweite verschiedene Fraktionen ausgesiebt und über Förderbänder ausgetragen. Die Siebgeschwindigkeit kann mehrstufig geregelt werden. Um verschiedene Siebfraktionen zu erhalten ist bei manchen Modellen das Austau-

schen der Trommeln notwendig. Die Siebe können ohne größeren Aufwand mit einem Radlader gewechselt werden [7-1].

Sternsiebe: Mit Sternsieben können neben Bauschutt, Kompost und Boden auch Biomasse und Hackschnitzel gesiebt werden. Sowohl stationäre als auch mobile Siebanlagen sind verbreitet. Das Material wird entweder in den Bunker der Maschine oder direkt auf das Sieb gefüllt und fällt auf waagrecht angeordnete Wellen, die mit sternförmigen Scheiben besetzt sind, welche durch Drehbewegungen das Material auflockern. Die Überlängen bleiben auf den Wellen liegen und wandern seitwärts, wo sie aus der Siebeeinheit fallen. Wenn mehrere Fraktionen ausgesiebt werden sollen, fällt das Material zwischen den Sternen der ersten Ebene hindurch auf ein zweites Sternsieb. Hier fällt dann die nächst feinere Fraktion wiederum hindurch. Die Hackschnitzel werden durch die Drehbewegung der Sterne weiter transportiert und fallen am Ende des Siebes aus der Maschine. Dort wo die Fraktionen aus der Siebeeinheit ausgetragen werden, wird i. d. R. ein Förderband installiert um das Material direkt wegzufördern [7-1].

7.1.2 Trocknungstechnik

Neben der Siebtechnik wurden im Rahmen der Marktanalyse auch Fragen zur Trocknungstechnik gestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass sowohl die natürliche, als auch die technische Trocknung eine große Rolle in der Aufbereitung von Hackschnitzeln spielen (siehe Abb. 7.3). Das Vorgehen bei der natürlichen Trocknung wurde bereits in Kapitel 6.2 erläutert. Analog zur Siebtechnik hat das KWF im Jahr 2013 eine Online-Marktübersicht für Trocknungsanlagen speziell zur Trocknung von Holz-hackschnitzeln veröffentlicht [7-4].

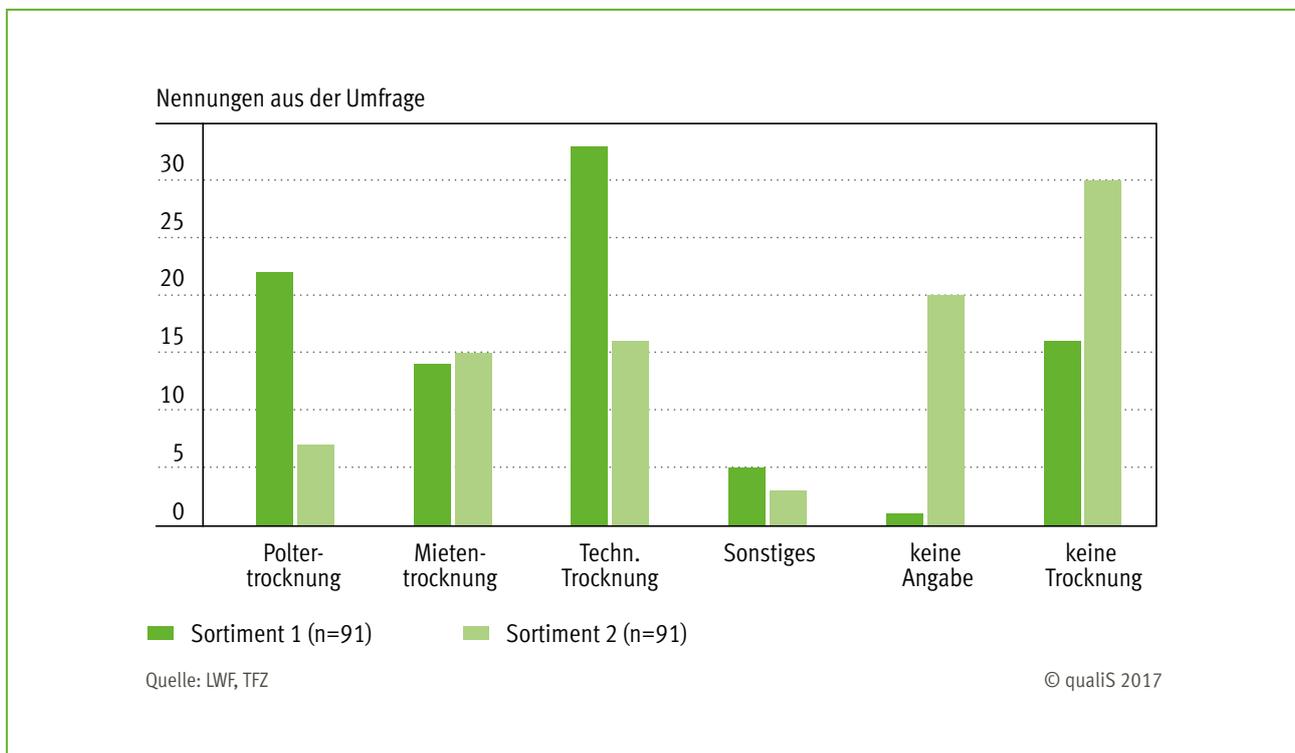


Abb. 7.3: Häufig verwendete Trocknungstechniken zur Aufbereitung von Hackschnitzeln für Anlagen nach 1. BImSchV (Sortiment 1 für Feuerungen < 100 kW, Sortiment 2 für Feuerungen > 100–1.000 kW, Ergebnisse aus einer Produzentenumfrage im Jahr 2015)

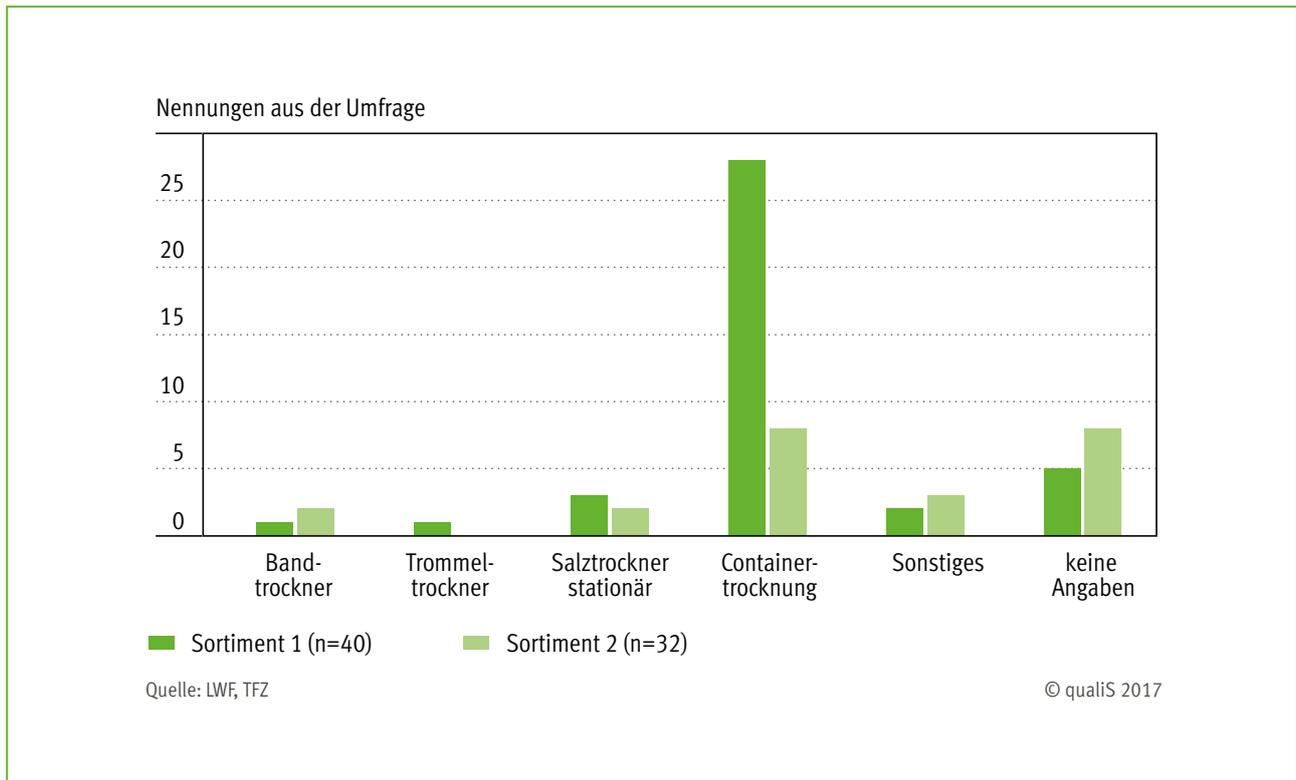


Abb. 7.4: Häufig verwendete technische Trocknungsverfahren zur Aufbereitung von Hackschnitzeln für Anlagen nach 1. BImSchV (Sortiment 1 für Feuerungen < 100 kW, Sortiment 2 für Feuerungen > 100–1.000 kW, Ergebnisse aus einer Produzentenumfrage im Jahr 2015)

Bei der technischen Trocknung spielt vor allem die Satz-trocknung in mobilen Trocknungscontainern in der Praxis eine große Rolle (siehe Abb. 7.4). Daneben kommen u. a. auch kontinuierlich laufende Band-, Trommel- und Wälzbett-trockner sowie stationäre Satz-trockner zum Einsatz. Unabhängig der Trocknungsart erfolgt die technische Trocknung von Holzhackschnitzeln häufig unter Zufuhr von warmer, trockener Luft (z. B. Abwärme aus Biogasanlagen).

Die wichtigsten Techniken unterscheiden sich in kontinuierliche Verfahren, die im bewegten Gutstrom trocknen und in Batch-Verfahren, die unbewegtes Gut belüften.

Satz-trockner: In der Praxis sind Satz-trockner weit verbreitet. Bei diesen befindet sich das Trocknungsgut in Ruhe und wird meist von unten, in Einzelfällen auch seitlich mit warmer Luft durchströmt und so getrocknet. Bei vielen Anlagen befindet sich das Trocknungsgut in speziellen Behältern, z. B. angepassten Transportcontainern. In diese ist mehrere Zentimeter über dem Boden ein Lochblech eingebaut, auf dem die Hackschnitzel liegen. Über Anschlüsse in der Rückwand der Container werden sie mit der Wärmequelle verbunden. Dabei kann es sich um speziell erzeugte Wärme oder um Abwärme z. B. aus Biogasanlagen handeln. Die Wärme wird über ein Gebläse und flexible Schläuche in die Belüftungs-räume der Container gepresst. Neben kommerziell angebotenen Containern bauen sich einige Hackschnitzelproduzenten auch reguläre Hakenliftcontainer nach ihren Vorstellungen zu Trocknungscontainern um. Daneben finden sich in der Praxis auch fest verbaute Satz-trockner-boxen [7-1].



Trocknungscontainer angeschlossen an ein Gebläse

Band-trockner: Band-trockner trocknen kontinuierlich im bewegten Gutstrom. Dabei wird das Trocknungsgut dünn auf ein luft-durchlässiges Band gegeben. Warme Luft durchströmt das Band, wobei es zum Trocknungsvorgang kommt. Am Ende des Bands wird der Wassergehalt i. d. R. automatisch und kontinuierlich, z. B. kapazitiv, infrarot oder über die Luftfeuchte in der Abluft bestimmt. Die Trocknungszeit kann über die Geschwindigkeit des Bandes, die Wärme der Luft und die Gebläseleistung geregelt werden. Diese Art der Trocknung eignet sich vor allem für große Durchsätze und niedrigere Temperaturen (75–110 °C) [7-1].



Bandrockner erreichen teilweise große Dimensionen

Wälzbettrockner: Auch Wälzbettrockner gehören zu den kontinuierlichen und mit bewegtem Gut arbeitenden Trocknungsverfahren. Im Inneren des Trockners befindet sich ein Rührwerk, welches die Hackschnitzel durch den Trockner schiebt und dabei gleichzeitig durchmischt. So wird für eine gleichmäßige Verteilung und Trocknung gesorgt. Die Zuluft wird mit einem Gebläse in den Trockner geleitet. Die Abluft wird abgesaugt. Die Verweilzeit der Hackschnitzel im Trockner wird unter anderem von der zugeführten Wärmeleistung und der Zuführungsgeschwindigkeit der Hackschnitzel bestimmt. Der Wassergehalt wird auch beim Wälzbettrockner i. d. R. automatisch und regelmäßig, z. B. kapazitiv oder mittels Infrarot gemessen [7-1].

Trommelrockner: Bei Trommelrocknern wird das Trocknungsgut im Inneren einer rotierenden, leicht geneigten Trommel mit Luft getrocknet. Hubschaufeln sorgen dafür, dass das Material immer wieder durchmischt wird. Die Verweilzeit im Trockner ist unter anderem abhängig von der Drehzahl der Trommel und deren Neigung, aber auch der Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft. Der Wassergehalt kann je nach Ausführung des Trockners ebenfalls über Sensoren (z. B. kapazitiv oder mittels Infrarot) gemessen werden.

Es gibt noch weitere Techniken die vereinzelt zur Trocknung von Holz hackschnitzeln eingesetzt werden. Eine Variante der Satzrocknung ist z.B. die sogenannte Solartrocknung. Die Hackschnitzel werden auf Lochblechböden unter Dach gelagert. Die Luft wird mit Sonnenenergie über spezielle Kollektoren erwärmt und strömt von unten durch die Hackschnitzel, wodurch diese getrocknet werden.

7.2 Fallstudien zur Hackschnitzelaufbereitung

Im Rahmen des Projekts qualIS wurde in sechs Fallstudien frisch gehacktes Waldrestholz durch typische Siebungs- und Trocknungsverfahren aufbereitet (siehe Tab. 7.1). Die Wahl der Prozessketten erfolgte dabei anhand der Ergebnisse der Marktanalyse (Kapitel 7.1). Die Aufnahmen fanden bei ausgewählten Hackschnitzelproduzenten statt.

In jeder Fallstudie wurden drei Aspekte untersucht:

- die Qualitätsverbesserung während der Aufbereitung,
- das Emissionsverhalten der aufbereiteten Hackschnitzel in Kleinfeuerungsanlagen und
- die Produktionskosten der Aufbereitungsschritte.

Tab. 7.1: Fallstudien im Projekt qualIS

Fallstudie	Trocknung	Siebung
1	Wälzbett-Trockner	Sternsieb/Schwingsieb
2	Containertrocknung	Sternsieb
3	Mietertrocknung	Trommelsieb
4	Schubbodentrockner	–
5	Mietertrocknung	Sternsieb
6	Bandrockner	Schwingsieb/Trommelsieb

Alle Ausgangsmaterialien sowie die Zwischen- und Endprodukte wurden beprobt und nach DIN EN ISO Normen für biogene Festbrennstoffe analysiert (siehe Tab. 7.2). Die Ergebnisse wurden mit den Qualitäten und Brennstoffspezifikationen der DIN EN ISO 17225-4 verglichen (siehe Kapitel 5) [7-5], [7-6]. Gleichzeitig wurden Brennstoffproben für die Analyse des Emissionsverhaltens in kleinen Hackschnitzelfeuerungen gewonnen (siehe Kapitel 8). Als Ausgangsmaterial kamen bei jeder Fallstudie Hackschnitzel aus Waldrestholz zum Einsatz.

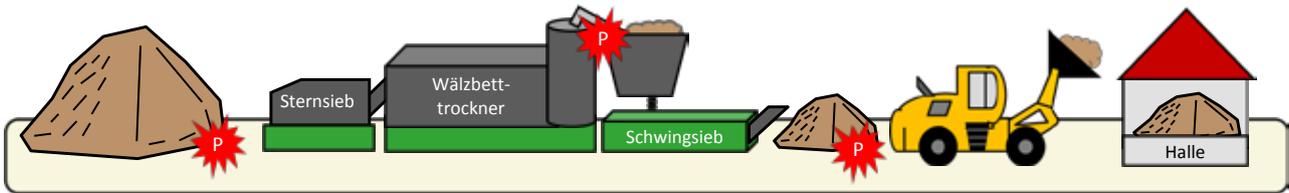
Tab. 7.2: Analytierte Brennstoffparameter inklusive Analyseverfahren

Parameter/Eigenschaftsklasse	Abkürzung, Einheit und Probenzahl je Verfahrensschritt	DIN EN ISO
Wassergehalt	M in m-%, n ≥ 10	18134-2/3
Aschegehalt	A in m-%, wf, n = 3	18122
Heizwert	Hu in MJ/kg, wf, n = 3	18125
Partikelgrößenverteilung	in m-%, n = 10	17827-1
Feinanteil	F in m-%, n = 10	17827-1
Schüttdichte	BD in kg/m ³ , n = 10	17828
Gesamtgehalt an C, H & N	in m-%, wf, n = 1*	16948
Gehalt an Cl&S	in m-%, wf, n = 3	16994
Hauptbestandteile	in mg/kg, wf, n = 1*	16967
Spurenelemente	in mg/kg, wf, n = 1*	16968

* Mischung aus drei Biomasseproben

Die Proben wurden während dem laufenden Produktionsprozess gewonnen. Neben der Brennstoffbeurteilung erfolgte die Ermittlung der Durchsatzleistung je Verfahrensschritt über Zeitstudien. Weitere Betriebskosten und -verbräuche (z. B. Brennstoffkosten, Personal, Maschinen, Strom, Wärme, Kraftstoff) wurden gemessen bzw. von den Betreibern erfragt. Zusätzliche wichtige Parameter waren die jährliche Auslastung der Maschinen sowie die Kosten für die Abschreibung und die maximale Nutzungsdauer. Darauf aufbauend wurde für jeden Aufbereitungsschritt und die damit zusammenhängenden Prozesse eine Berechnung der Produktionskosten (mit Bezug auf die produzierte Hackschnitzelmenge) durchgeführt.

Die dargestellten Kosten beziehen sich somit nicht auf den langfristigen Erfolg der beteiligten Unternehmen, sondern explizit auf die in den Fallstudien aufbereitete Charge. Ebenso lassen die ermittelten qualitativen Eigenschaften keine Aussage über die Brennstoffqualität der Unternehmen im Jahresverlauf zu.



Prozess- und Aufbereitungsschritte sowie Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 1

7.2.1 Fallstudie 1: Gekoppelte Aufbereitung mittels Wälzbettrockner und Schwingsieb

Verfahrensbeschreibung: Fallstudie 1 wurde an einer Betriebsstätte in Oberbayern/Bayern durchgeführt, deren Betriebskonzept allein die Produktion von hochwertigen Hackschnitzeln ist. Der Betriebshof verfügt über eine Lagerhalle und eine Produktionshalle mit einer Gesamtfläche von rund 1.900 m², einen befestigten Lagerplatz von rund 900 m² und eine Lkw-Waage. Die Abnehmer sind meist kommunale oder gewerbliche Betriebe mit Anlagenleistungen bis zu 1.000 kW. Es werden Hackschnitzel, die vollständig aus Sägerestholz oder Energierundholz bestehen sowie Hackschnitzel, die aus einem Gemisch von Nadel- und Laubwaldrestholz produziert werden, zu jeweils einem Sortiment aufbereitet.

Als Ausgangsmaterial für Fallstudie 1 wurden Waldrestholz-hackschnitzel aus Nadelholz verwendet. Der Aufbereitungsprozess besteht aus drei aneinander gekoppelten Schritten: Sieben (Überlängen), Trocknen und Sieben (Feinanteil) (siehe Tab. 7.3). Die Wärme für den Trockner wird von einer nahegelegenen Biogasanlage bezogen. Insgesamt läuft die Anlage nahezu ganzjährig 24 Stunden am Tag. Die gesamte Produktionszeit beträgt ca. 8.000 Stunden pro Jahr. Für das Bedienen der Aufbereitungsanlage benötigt ein Angestellter rund vier Stunden pro Tag.

Tab. 7.3: Steckbrief zu Fallstudie 1

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Prozessschritt 1: Siebung	Sternsieb Backers
Prozessschritt 2: Trocknung	Wälzbettrockner Allgaier WB-T
Prozessschritt 3: Siebung	Schwingsieb S & F GmbH ASS 100
Wärmequelle	Biogasanlage
Kopplungsgrad	Alle Prozessschritte miteinander gekoppelt
Ausgangs- und Endprodukte	
Ausgangsmaterial	Frische Waldrestholzhackschnitzel/ frische Sägerestholzhackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete und gesiebte Hackschnitzel
Nebenprodukt 1	Überlängen (> 28 mm)
Nebenprodukt 2	Staubfraktion (≤ 1,5 mm)
Nebenprodukt 3	Feinanteil (< 6 mm)

Für die Aufbereitung werden Hackschnitzel aus der Region betriebsextern produziert, angeliefert, vor Ort gewogen und anschließend auf dem Lagerplatz abgeladen. Mit einem Radlader werden die Hackschnitzel auf einen Schubboden geschoben. Dieser befördert die Hackschnitzel über ein Förderband zum

Trockner. Bevor die Hackschnitzel am Trockner ankommen, werden die Überlängen über ein Sternsieb (Backers) aussortiert (Prozessschritt 1). Die nicht getrockneten Überlängen werden gesammelt und als Brennstoff an größere Heizkraftwerke verkauft (Nebenprodukt 1). Die verbleibenden Hackschnitzel werden in einem Wälzbettrockner (Allgaier, Modell WB-T) getrocknet (Prozessschritt 2). Im Inneren des Trockners befindet sich ein Rührwerk zum Transport der Hackschnitzel, das diese gleichzeitig vermischt und so für eine gleichmäßigere Verteilung im Trockner und eine bessere Trocknung sorgt. Die Zuluft (ca. 70 °C) wird mittels Gebläse von unten in den Trockner geleitet. Die gesättigte Luft wird von oben abgesaugt. Die Staubfraktion in der Abluft wird durch einen Zyklon abgeschieden und nach dem Trockner gemeinsam mit den Hackschnitzeln in den Siebprozess geführt.



Allgaier Wälzbettrockner WB-T mit Zyklon (oben) und Backers Schwingsieb (unten)

Der Zielwassergehalt der Trocknung liegt bei max. 15 m-%. Der Trocknungsfortschritt wird über die Lufttemperatur und die Messung des Wassergehalts geprüft. Dafür befinden sich ein Feuchtesensor am Materialauslass des Trockners und je ein Tem-

peratursensor im Zuluft- und Abluftkanal. Über ein Förderband werden die Hackschnitzel zu einem Schwingsieb (S&F GmbH, Modell ASS 100, Prozessschritt 3) geleitet. Im Sieb werden die Hackschnitzel in drei Fraktionen gesiebt. Die feinste Fraktion (Partikelgröße $\leq 1,5$ mm) stellt Nebenprodukt 2 dar und wird, da sie große saugfähige und geruchsbindende Eigenschaften hat, i. d. R. als Einstreu für die Nutztierhaltung verkauft. Der Anteil feiner, aber nicht staubförmiger Partikel (Partikelgröße 1,5 bis ≤ 6 mm, Nebenprodukt 3) wurde ursprünglich briquetiert, wird mittlerweile aber ebenfalls ungepresst als Einstreu an Viehbetriebe vermarktet. Die hochwertigen Hackschnitzel (Hauptprodukt) werden nach dem Sieb über ein Förderband in eine separate Halle (Zwischensammelstelle) befördert und mit einem Radlader in Lagerhallen transportiert und dort bis zum Verkauf untergebracht oder direkt per Lkw zum Kunden gefahren. Es entstehen während des gesamten Aufbereitungsprozess somit vier vermarktungsfähige Produkte (Hackschnitzel sowie Nebenprodukte 1 bis 3).

Zur innerbetrieblichen Qualitätssicherung werden regelmäßige Wassergehaltsproben der Hackschnitzel bei Anlieferung und der produzierten Hackschnitzel am Betriebshof mithilfe eines Darr-ofens analysiert. Proben für die Analyse weiterer Qualitätsparameter (Aschegehalt, Heizwert, Partikelgrößenverteilung) werden im regelmäßigen Turnus in externen Laboren untersucht.

Brennstoffqualität: Die Brennstoffqualität des Ausgangsmaterials lag im typischen Bereich für Waldrestholz hackschnitzel aus Nadelholz (siehe Tab. 7.4) [7-7]. Lediglich der Wassergehalt

von 41,7 m-% deutet darauf hin, dass die Hackschnitzel nicht mehr komplett waldfresh waren, sondern bereits eine gewisse Trocknung eingesetzt hatte. Eine Einordnung nach DIN EN ISO 17225-4 war vor der Aufbereitung aufgrund hoher Feinanteile nicht möglich.

Die Aufbereitung mittels Wälzbettrockner führte zu einer Reduzierung des Wassergehaltes auf 12,6 m-%. Eine bessere Homogenisierung des Wassergehaltes durch den Aufbereitungsprozess konnte im Vergleich zum Ausgangsmaterial nicht beobachtet werden, da die maximale Schwankung im Wassergehalt schon im Ausgangsmaterial gleichmäßig verteilt war ($M_{\max-\min}$). Gleichzeitig reduzierten sich beim Trocknen schon in geringem Maß der Aschegehalt, der Feinanteil und der Anteil an verbrennungskritischen chemischen Elementen. Dies ist auf den Ausstrom an feinen Staubpartikeln bei der Absaugung der gesättigten Trocknerluft zurückzuführen. Die anschließende Siebung mittels Schwingsieb führte zu einer deutlichen Reduzierung des Aschegehalts (1,4 m-%), des Feinanteils (2,5 m-%) sowie der verbrennungskritischen Elemente. Durch die Reduzierung des Aschegehalts $< 1,5$ m-%, des Wassergehalts < 25 m-% und durch konsequente Einhaltung der Partikelgrößen P31S war für die aufbereiteten Hackschnitzel eine deutliche Verbesserung der Brennstoffqualität zu beobachten. Die aufbereiteten Hackschnitzel konnten der Spezifikation A2 nach DIN EN ISO 17225-4 zugeordnet werden. Limitierend für eine Einordnung als A1 war der Aschegehalt mit 1,4 m-%.

Tab. 7.4: Brennstoffqualität in Fallstudie 1
(wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/Eigen-schaftsklasse	Frisches Ausgangsmaterial	getrocknet	trocken gesiebt
Brennstoff-Nr.	1-A	1-T	1-E
M (m-%)	41,7	12,6	12,8
$M_{\max-\min}$ (m-%)	2,9	2,8	2,9
A (m-%, wf)	3,0	2,1	1,4
H_u (MJ/kg, wf)	19,21	18,99	19,20
H_u (MJ/kg, ar)	10,18	16,29	16,43
BD (kg/m ³ , ar)	314	263	252
F (m-%)	15,3	10,7	2,5
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P31	P16	P16 P31S
N (m-%, wf)	0,32	0,25	0,23
S (m-%, wf)	0,02	0,01	0,01
Cl (mg/kg, wf)	66	54	58
K (mg/kg, wf)	1.320	1.090	970
Si (mg/kg, wf)	5.250	1.630	780
Σ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	1.440	1.170	1.030
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	–	–	A2



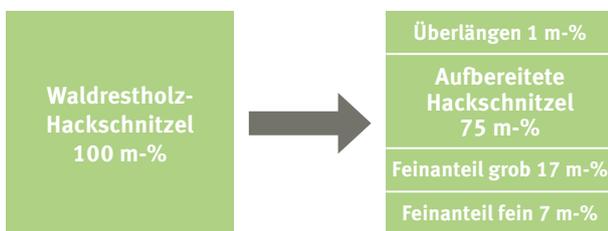
Waldrestholz hackschnitzel vor (oben) und nach (unten) der Aufbereitung in Fallstudie 1. Größe des Bildausschnittes ca. DIN A5

Produktionskosten: Im untersuchten Betrieb sind die Sieb- und Trocknungsschritte direkt aneinander gekoppelt und über Förderbänder und -schnecken automatisiert miteinander verbunden. Die Durchsatzleistung gilt daher für alle beteiligten Maschinen. Sie lag bei 0,64 t_{atro}/h und wurde maßgeblich von der Produktivität beim Trocknen bestimmt, die eingesetzten Siebmaschinen hätten einen höheren Durchsatz erlaubt. Der Wälzbettrockner ist die Maschine mit den höchsten Investitionskosten im Betriebskonzept. Das Trocknen stellte entsprechend mit 31,14 €/t_{atro} den größten Anteil an den Produktionskosten dar (siehe Tab. 7.5).

Tab. 7.5: Produktionskosten in Fallstudie 1

Prozessschritte	€/t _{atro}
1 Siebung Überlängen (Sternsieb)	1,41
2 Trocknung (Wälzbettrockner)	31,14
3 Siebung Feinanteil (Schwingsieb)	0,57
Sonstige Kosten	20,80
Produktionskosten	53,92
bezogen auf Endprodukt	47,04 €/t (M = 12,8 m-%)

Das Aussieben der Überlängen mittels Sternsieb kostete 1,41 €/t_{atro}. Das Aussieben des Feinanteils mit dem Schwingsieb war etwas günstiger und belief sich auf 0,57 €/t_{atro}. Da die Fördereinrichtungen im gekoppelten Prozess nicht vollständig einem Prozessschritt zugeordnet werden können, wurden die anfallenden Kosten in Höhe von 8,13 €/t_{atro} zu den sonstigen Kosten gerechnet. Hierunter fielen außerdem Lohnkosten und Kosten für den Betriebshof in Höhe von 12,67 €/t_{atro}. Der angegebene Betreuungsaufwand kann (gemessen an der hohen Auslastung) als relativ gering bezeichnet werden. Dies hängt direkt mit dem hohen Automatisierungsgrad zusammen. Insgesamt wurden in der Fallstudie Produktionskosten in Höhe von 53,92 €/t_{atro} ermittelt. Bezogen auf das Endprodukt mit einem Wassergehalt von 12,8 m-% entspricht dies 47,04 €/t (M = 12,8). Die Aufbereitung funktionierte dabei sehr effektiv. Neben dem Absatz der hochwertigen Hackschnitzel ist die Vermarktung der Nebenprodukte ein wichtiger Aspekt für den Betriebserfolg: Der Anteil der als Tierstreu nutzbaren Feinfraktionen machte knapp ein Viertel der gesamten Produktion (24,1 m-%) aus.



Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte aus Fallstudie 1 (bezogen auf die Trockenmasse)

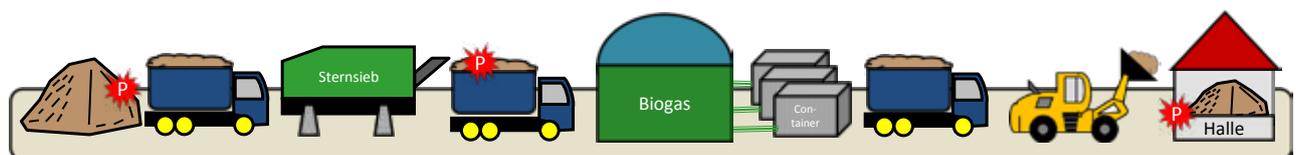
7.2.2 Fallstudie 2: Entkoppelte Aufbereitung mittels Containertrocknung und Sternsieb

Verfahrensbeschreibung: Fallstudie 2 wurde in einem Betrieb in Schwaben/Bayern durchgeführt, der sich mit der Aufbereitung von Biomasse beschäftigt. Hauptgeschäftsfeld ist die Kompostierung, aber auch die Aufbereitung von Hackschnitzeln gehört zum Tagesgeschäft. Zudem hat der Betrieb weitere Vermarktungsschienen für die dabei entstehenden Nebenprodukte. So wird ein Teil der Hackschnitzel als Fallschutz für Spielplätze verwendet. Jährlich werden in diesem Betrieb rund 200.000 m³ Biomasse aufbereitet. Die Abnehmer sind hauptsächlich gewerbliche Anlagen (70 %) mit Anlagenleistungen > 1.000 kW. Allerdings gibt es auch ca. 10 % private und 20 % kommunale Abnehmer mit Anlagen zwischen 300–1.000 kW. Kunden mit Anlagen < 100 kW werden nur vereinzelt und mit dem hochwertigsten Hackschnitzelsortiment beliefert. Vor allem Hackschnitzel aus Sägereestholz werden hierfür aufbereitet, aber auch Hackschnitzel aus Waldrestholz und Landschaftspflegematerial. Für die Aufbereitung und Lagerung stehen rund 3.000 m² Hallenfläche und rund 3.000 m² Lagerplatz auf dem Gelände der Firma zur Verfügung. Der Aufbereitungsprozess besteht aus zwei entkoppelten Prozessschritten (siehe Tab. 7.6). Die Hackschnitzel werden auf dem Betriebshof in drei Fraktionen gesiebt (Prozessschritt 1) und danach in Containern an einer Biogasanlage mit Abwärme als externe Dienstleistung getrocknet (Prozessschritt 2).

Tab. 7.6: Steckbrief zu Fallstudie 2

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Variante 2a	
Prozessschritt 1: Siebung	Sternsieb Komptech Multistar
Prozessschritt 2: Trocknung	Externe Lohn-trocknung in Containern
Variante 2b	
Prozessschritt 1: Trocknung	Externe Lohn-trocknung in Containern
Prozessschritt 2: Siebung	Sternsieb Komptech Multistar
Wärmequelle	Biogasanlage
Kopplungsgrad	Alle Prozessschritte entkoppelt
Ausgangs- und Endprodukte	
Rohmaterial	Frische Waldrestholz-hackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete und gesiebte Hackschnitzel
Nebenprodukt 1	Überlängen (> 45 mm)
Nebenprodukt 2	Feinanteil (< 20 mm)

Das Unternehmen kauft Sägereestholz bei Sägewerken und transportiert es mit eigenen Lkw zum Betriebshof. Waldrestholz oder Landschaftspflegeholz wird frei Waldstraße bzw. am Ort



Aufbereitungsprozess und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 2: (Variante 2a: Siebung frischer Hackschnitzel, danach Trocknung)



Aufbereitungsprozess und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 2 (Variante 2b: Trocknung, danach Siebung)

des Anfalls gekauft, mit dem betriebseigenen Hacker gehackt und von den betriebseigenen Lkw zum Betriebshof transportiert. Dort werden die Hackschnitzel mit einer stationären Sternsiebmaschine (Komptech; Modell Multistar) in drei Fraktionen gesiebt (Prozessschritt 1). Bei der Siebung entstehen folgende Produkte: Überlängen >45 mm (Nebenprodukt 1), Feinanteil < 20 mm (Nebenprodukt 2) und die gesiebten Hackschnitzel (Hauptprodukt). Nach dem Sieben werden die Hackschnitzel in selbst umgebaute Trocknungscontainer gefüllt und zur externen Trocknung an eine Biogasanlage transportiert. Die Container sind Standard-Lkw-Container, in die ein Lochblech-Zwischenboden eingeschweißt wurde. Zudem wurden zwei standardisierte Öffnungen in die Rückwand geschnitten, um die Container an ein Gebläse anschließen zu können. Die Container bleiben je nach Wassergehalt der Hackschnitzel 3–5 Tage angeschlossen, um einen Zielwassergehalt von ca. 15 m-% zu erreichen.

Als Variante wurde die Fallstudie zusätzlich mit umgekehrter Reihenfolge der Prozessschritte durchgeführt. Prozessschritt 1 war dabei die Trocknung und Prozessschritt 2 die Siebung.

Die getrockneten und gesiebten Hackschnitzel werden in eine Lagerhalle gebracht und dort bis zum Verkauf gelagert. Die Überlängen werden gesammelt und an große Heizwerke verkauft. Der Feinanteil ist durch seine Saugfähigkeit und Geruchsbindung ein interessantes Produkt als Einstreu für Pferdeboxen und wird daher lose oder in BigBags an Pferdehöfe im Umkreis von bis zu 200 km verkauft und geliefert. Somit entstehen während des gesamten Aufbereitungsprozesses drei vermarktungsfähige Produkte (Hauptprodukt und Nebenprodukte 1–2). Zur Bestimmung des Wassergehalts befindet sich auf dem Betriebs-hof ein Darrofen. In regelmäßigen Abständen wird der Wassergehalt des Hauptproduktes bestimmt. Andere Analysen werden vom Betrieb selbst nicht durchgeführt.

Brennstoffqualität: Das Ausgangsmaterial fiel vor allem durch einen im Vergleich zu typischem Waldrestholz (Nadelholz) erhöhten Aschegehalt von 7,4 m-% und einen etwas niedrigen, wasserfreien Heizwert (18,5 MJ/kg) auf (siehe Tab. 7-7) [7-2]. Auch der Siliziumgehalt war leicht erhöht. Ansonsten konnte das Ausgangsmaterial als typische Waldrestholzhackschnitzel eingeordnet werden. Eine Klassifizierung nach DIN EN ISO 17225-4 war nicht möglich.



Containertrocknung (Satztrockner) mit Biogasabwärme (oben) und Siebung mittels Sternsieb (unten)



Waldrestholzhackschnitzel vor (oben) und nach (unten) der Aufbereitung aus Fallstudie 2 (Variante 2a). Größe des Bildausschnittes ca. DIN A5

Der hohe Aschegehalt des Ausgangsmaterials könnte neben hohen Anteilen an Nadeln und Rinde auf einen Eintrag von Mineralboden im Brennstoff zurückzuführen sein, wobei auch einzelne Steine im Brennstoff entdeckt wurden. Die erhöhten Siliziumgehalte deuten in dieselbe Richtung.

Die Aufbereitung der Hackschnitzel mittels Siebung (Prozessschritt 1) und anschließender Trocknung (Prozessschritt 2) wurde mit der Aufbereitung durch Trocknung (Prozessschritt 1) und anschließender Siebung (Prozessschritt 2) verglichen. Durch beide Kombinationen von Siebung und Trocknung konnte die Brennstoffqualität deutlich verbessert werden. Auffällig ist die durch die Siebung starke Reduzierung des Aschegehalts und des Feinanteils sowie der verbrennungskritischen Inhaltsstoffe. Dieser Effekt war deutlicher bei der Siebung bereits getrockneter Hackschnitzel als bei der Siebung frischer Hackschnitzel, da im zweiten Fall feuchte Partikel noch aneinander haften und sich erst bei der anschließenden Trocknung voneinander lösen konnten. Die Siebung mittels Sternsieb reduzierte zudem den Anteil an Überlängen, wodurch die trocken gesiebten Hackschnitzel schlussendlich als P45S klassifiziert werden konnten. Dies war bei der Siebung frischer Hackschnitzel nicht der Fall, was sich aber auf die Einstellung des Sternsiebes (zu viele Überlängen durch zu langsam drehende Sternscheiben) und weniger auf den Unterschied frisch/getrocknet zurückführen lässt.

Tab. 7.7: Brennstoffqualität in Fallstudie 2 (wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/ Eigenschafts- klasse	Frisches Ausgangs- material	frisch gesiebt	gesiebt getrock- net	ungesiebt getrock- net	trocken gesiebt
Brennstoff-Nr.	2-A	2-S	2-E1	2-T	2-E2
M (m-%)	51,0	52,1	3,8	5,5	13,2
M _{max-min} (m-%)	10,0	1,8	0,6	4,2	8,0
A (m-%, wf)	7,4	3,7	2,5	2,2	1,9
H _u (MJ/kg, wf)	18,53	19,02	19,30	19,00	19,05
H _u (MJ/kg, ar)	7,84	7,84	18,48	17,82	16,25
BD (kg/m ³ , ar)	353	356	215	220	223
F (m-%)	17,7	10,80	9,1	11,62	2,6
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P45 -	P45 -	P45 -	P45 -	P31 P45S
N (m-%, wf)	0,47	0,35	0,33	0,29	0,20
S (m-%, wf)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Cl (mg/kg, wf)	146	126	94	79	59
K (mg/kg, wf)	1.790	1.570	1.450	1.400	1.170
Si (mg/kg, wf)	18.750	8.520	5.050	3.720	2.250
Σ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	2.090	1.750	1.560	1.510	1.240
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	-	-	-	-	B1

Die Trocknung bereits gesiebter Hackschnitzel führte zu geringfügig niedrigeren Wassergehalten (3,8 m-%) als die Trocknung ungesiebter Hackschnitzel (5,5 m-%). Grund hierfür könnte eine bessere Belüftung im Container durch ein höheres Porenvolumen bei gesiebten Brennstoffen, aber auch unterschiedliche Füllhöhen, bzw. Trocknungsdauern sein. Interessanterweise nahm der Wassergehalt bei der Siebung bereits getrockneter Hackschnitzel wieder zu (13,2 m-%). Diese Zunahme lässt sich nur schwer erklären. Ursache könnte eine ungleiche Verteilung des Wassergehalts durch die Trocknung im Satzrockner sein. Auch könnte der Feinanteil aufgrund seiner geringeren Partikelgröße im Vergleich zu der Hauptfraktion deutlich schneller trocknen. Somit würde sich der Wassergehalt der verbleibenden Charge durch die Absiebung des Feinanteils wieder erhöhen. Eine Analyse des Wassergehalts von Feinanteil und Überlängen ergab jedoch mittlere Werte von 11,7 m-% und 11,8 m-%, weshalb diese These verworfen werden musste.

Insgesamt konnten die Hackschnitzel nach der Aufbereitung mittels Trocknung und anschließender Siebung in die Spezifikation B1 nach DIN EN ISO 17225-4 eingestuft werden. Limitierend für eine qualitativ höherwertige Spezifikation, z. B. als A2 war der Aschegehalt mit 1,9 m-%.

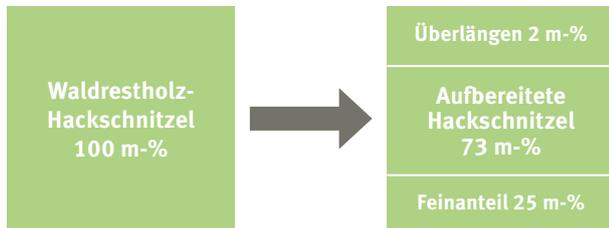
Produktionskosten: Die einzelnen Prozessschritte in diesem Betrieb sind voneinander entkoppelt, d. h. sie laufen zeitlich und auch räumlich weitestgehend unabhängig voneinander ab. Die für das Sternsieb ermittelte Durchsatzrate bei der Prozessvariante 2a: „Siebung danach Trocknung“ belief sich auf 19,8 t_{atro}/h. Damit betragen die Kosten für die Siebung 1,12 €/t_{atro} (siehe Tab. 7.8). Bei der untersuchten Variante 2b „Trocknung danach Siebung“ lag die Durchsatzrate bei 21,0 t_{atro}/h und somit die Kosten für die Siebung bei 1,06 €/t_{atro}. Für die Trocknung bei einem externen Biogasanlagenbetreiber fallen nach Aussage des Hackschnitzelproduzenten pauschal 23,08 €/t_{atro} (inkl. Transport vom/zum Betriebshof) an. Zu den Trocknungskosten zählen auch die Kosten für die Container, die mit 3,78 €/t_{atro} veranschlagt wurden.

Tab. 7.8: Produktionskosten in Fallstudie 2

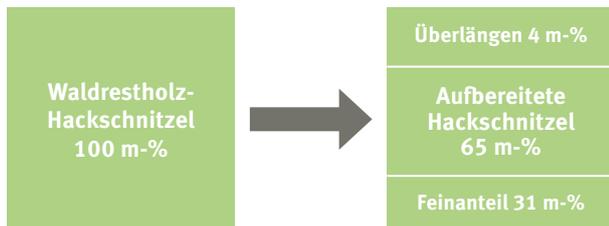
Prozessschritte Variante 2a	€/t _{atro}	Prozessschritte Variante 2b	€/t _{atro}
1 Siebung (Sternsieb)	1,12	1 Trocknung (Container)	26,86
2 Trocknung (Container)	26,86	2 Siebung (Sternsieb)	1,06
Sonstige Kosten	4,32		4,15
Produktions- kosten	32,31	Produktions- kosten	32,07
bezogen auf Endprodukt	31,08 €/t (M = 3,8 m-%)	bezogen auf Endprodukt	27,88 €/t (M = 13,1 m-%)

Die sonstigen Kosten setzten sich aus Maschinenkosten (Radlader und Lkw) und dem Betriebshof zusammen. Da der Betrieb sehr breit aufgestellt ist, verteilen sich die Fixkosten auf mehrere, auch größere Geschäftsfelder. Insgesamt ergaben sich für die Aufbereitung der Hackschnitzel Produktionskosten

von 32,31 €/t_{atro} in Variante 2a. Das entspricht bei einem Wassergehalt des Endprodukts von 3,8 m-%, 31,08 €/t. Bei der Variante 2b waren es Produktionskosten von 32,07 €/t_{atro}, bzw. 27,88 €/t (bei M = 13,1 m-%).



Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte während der Aufbereitung in Fallstudie 2a (bezogen auf die Trockenmasse)



Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte während der Aufbereitung in Fallstudie 2b (bezogen auf die Trockenmasse)

Durch die Siebung entstehen, wie unter der Verfahrensbeschreibung bereits erläutert, mehrere vermarktungsfähige Produkte. Das Feinmaterial wird an Pferdehöfe als Einstreu verkauft. Ähnlich wie bei Fallstudie 1 lag der Anteil des Feinmaterials bei knapp 26 m-%.

7.2.3 Fallstudie 3: Entkoppelte Aufbereitung mittels Trommelsieb und Mietentrocknung

Verfahrensbeschreibung: Die dritte Fallstudie wurde bei einem land- und forstwirtschaftlichen Betrieb in der Oberpfalz/Bayern durchgeführt. Das Produktionsgelände besteht aus einer Lagerhalle mit rund 500 m² und einem Lagerplatz mit rund 900 m². Die Jahresproduktion aufbereiteter Hackschnitzel aus Sägerestholz und Waldrestholz oder anderen Gehölzen liegt bei rund 9.000 Srm. Das Waldrestholz stammt aus Wäldern im Umkreis bis zu 100 km. Die Hauptabnehmer sind Privatkunden mit Kleinanlagen bis 100 kW (80%). Daher ist die sorgfältige Aufbereitung des Brennstoffs besonders wichtig. Es werden hauptsächlich zwei Hackschnitzelsortimente angeboten: Eines besteht komplett aus Energierundholz, das andere ist eine Mischung aus Waldrestholz (30%), Sägerestholz (20%), Holz von Kurzumtriebsplantagen (10%) und Landschaftspflegeholz (40%). Es wird aber auch auf spezielle Kundenwünsche eingegangen.

Die Aufbereitung besteht entweder aus zwei entkoppelten Schritten (Trocknen und Sieben) oder nur der Siebung (siehe Tab. 7.9). Bei der vollständigen Aufbereitung werden die Hackschnitzel nach dem Hacken zum Betriebshof transportiert und unter Vlies im Haufwerk natürlich für 4–6 Monate getrocknet (Prozessschritt 1). Danach werden sie mit einem Trommelsieb (Terra Select, Modell T3) gesiebt (Prozessschritt 2). Ziel der Siebung ist es, den Feinanteil zu separieren (Nebenprodukt). Hierfür wird das Material über den integrierten Bunker in das Trommelsieb befördert. Der Feinanteil fällt durch das Sieb auf ein Förderband und wird seitlich ausgeworfen. Die Hackschnitzel (Hauptprodukt) fallen am Ende der Trommel ebenfalls auf ein Förderband und werden mit einem Radlader in die Halle geschoben und dort bis zum Weitertransport an den Endverbraucher gelagert. Ist keine Trocknung vorgesehen, werden die Hackschnitzel entsprechend frisch gesiebt.

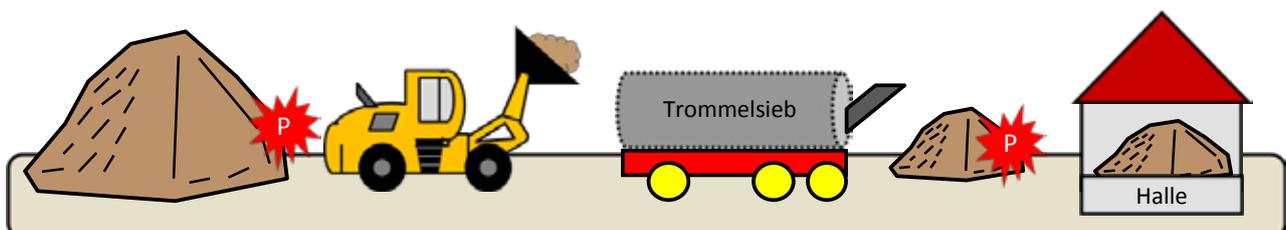


Siebung mittels Trommelsieb in Fallstudie 3

Tab. 7.9: Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Prozessschritt 1: Trocknung	Mietentrocknung im Haufwerk
Prozessschritt 2: Siebung	Trommelsieb Terra Select T3
Kopplungsgrad	Alle Prozessschritte entkoppelt
Ausgangs- und Endprodukte	
Ausgangsmaterial	Frische Waldrestholz hackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete und gesiebte Hackschnitzel
Nebenprodukt	Feinanteil (< 15 mm)

Vor Ort werden keine analytischen Qualitätsuntersuchungen gemacht. Die Abschätzung des Trocknungsfortschritts in den Lagermieten erfolgt vor allem auf Grund von Erfahrungen des Betriebsleiters.



Prozessschritte und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 3

Brennstoffqualität: In Fallstudie 3 wurde die Aufbereitung von zwei Ausgangsmaterialien begleitet (siehe Tab. 7.10). Zum Einsatz kamen frisch gehackte Waldrestholz hackschnitzel aus Nadelholz mit einem Wassergehalt von 41,2 m-% und Hackschnitzel, die in einer Lagermiete vorgetrocknet wurden (38,1 m-%). Die relativ ähnlichen Wassergehalte deuten darauf hin, dass das frische Material schon eine gewisse Zeit ungehackt im Polter gelagert wurde und somit schon vortrocknen konnte. Im Gegensatz dazu zeigt die hohe Wassergehaltsstreuung im Material aus der Lagermiete ($M_{\min-\max} = 27,1$ m-%), dass es bei der Lagerung zu einer starken Schichtbildung und somit zu einer Inhomogenisierung des Brennstoffes gekommen ist.

Tab. 7.10: Brennstoffqualität in Fallstudie 3
(wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/ Eigenschafts- klasse	Frisches Ausgangs- material	frisch gesiebt	HS aus Lagermiete	trocken gesiebt
Brennstoff-Nr.	3-A1	3-E1	3-A2	3-E2
M (m-%)	41,2	42,9	38,1	38,4
$M_{\max-\min}$ (m-%)	12,2	4,4	27,1	12,9
A (m-%, wf)	1,3	1,0	2,5	1,1
Hu (MJ/kg, wf)	18,93	18,86	18,61	18,81
Hu (MJ/kg, ar)	10,13	9,73	10,58	10,66
BD (kg/m ³ , ar)	283	270	285	257
F (m-%)	17,2	3,4	13,9	2,8
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P31 –	P16 P31S	P31 –	P31 P45S
N (m-%, wf)	0,24	0,20	0,34	0,25
S (m-%, wf)	0,01	0,01	0,02	0,01
Cl (mg/kg, wf)	56	58	56	56
K (mg/kg, wf)	1.330	1.020	1.550	1.340
Si (mg/kg, wf)	691	221	5.610	1.170
Σ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	1.390	1.070	1.650	1.390
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	–	B1	–	B1

Die Siebung mittels Trommelsieb führte bei beiden Brennstoffen zu einer Durchmischung und somit zu deutlich homogeneren Wassergehaltswerten. Gleichzeitig reduzierten sich der Aschegehalt und der Feinanteil sowie die verbrennungskritischen Inhaltsstoffe teils deutlich. Die Anteile an Überlängen waren in den nicht aufbereiteten Brennstoffen relativ gering, was auf eine sachgerechte und sorgfältige Bedienung des Hackers schließen lässt (siehe Kapitel 6). Somit konnten die Brennstoffe nach Absiebung des Feinanteils als P31S, bzw. P45S klassifiziert werden. Beide Sortimente konnten jedoch aufgrund der hohen Wassergehalte nach der Aufbereitung nur in die Spezifikation B1 eingeordnet werden.

Produktionskosten: Leider war es in dieser Fallstudie nicht möglich, Produktionskosten zu berechnen. Die Ergebnisse für eine Siebung mit einem anderen mobilen Trommelsieb werden in Fallstudie 6 (Kapitel 7.2.6) dargestellt.

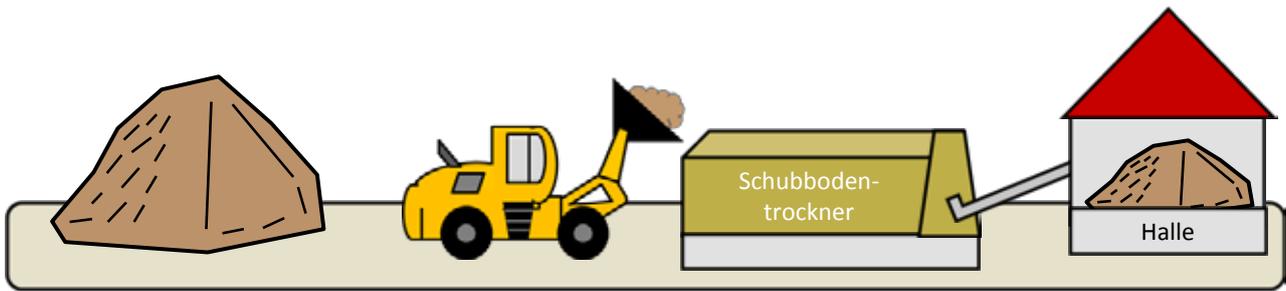


Frische Waldrestholz hackschnitzel vor (oben) und getrocknete Waldrestholz hackschnitzel nach (unten) der Aufbereitung aus Fallstudie 3. Ausgangsmaterial und Endprodukt entstammen nicht derselben Charge. Größe des Bildausschnittes ca. DIN A5

7.2.4 Fallstudie 4: Aufbereitung mittels Schubbodentrockner (Eigenbau)

Verfahrensbeschreibung: Die vierte Fallstudie wurde in einem landwirtschaftlichen Nebenerwerbsbetrieb in der Oberpfalz/Bayern durchgeführt. Die Produktionsstätte umfasst eine Halle mit rund 800 m² und einen Lagerplatz mit rund 500 m². Die Hackschnitzel werden durch Trocknung mit einem selbst konstruierten Schubbodentrockner aufbereitet (siehe Tab. 7.11). Pro Jahr werden 450 Srm Hackschnitzel für den Verkauf auf einen Zielwassergehalt von 15 m-% getrocknet. Zusätzlich werden 800 Srm in Dienstleistung aufbereitet. Im Sommerhalbjahr werden mit der Anlage auch Futtermittel wie Gras und Mais getrocknet. In direkter Nachbarschaft befindet sich eine Biogasanlage, deren Abwärme für die Trocknung genutzt wird. Abnehmer für die getrockneten Hackschnitzel sind zu 80 % Privatkunden mit Anlagenleistungen < 100 kW und zu 20 % gewerbliche Abnehmer mit Anlagenleistungen von 100–300 kW. Neben Sägereistholz hackschnitzeln werden Hackschnitzel aus Waldholz getrocknet (20 % Nadelwaldrestholz, 80 % Energierundholz).

Die Hackschnitzel werden frisch gehackt aus einem Umkreis von bis zu 20 km erworben. Der Trockner wird mit der Abwärme der Biogasanlage betrieben. Der Bunker des Trockners wird mit



Prozessschritte und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 4

dem Radlader befüllt und über einen Kratzboden werden die Hackschnitzel in den Trockner eingebracht. Der Vorratsbunker fasst rund 15 m³. Der Trockner hat eine Trocknungsfläche von 12 m². Die Schütthöhe der Hackschnitzel auf dem Trocknungsboden beträgt rund 30 cm. Das Hackschnitzelvolumen im Trockner beträgt somit rund 3,5 Sm. Sobald der Trocknungsboden befüllt ist, wird die Zufuhr manuell gestoppt und die Hackschnitzel werden je nach Wassergehalt mehrere Stunden getrocknet (Prozessschritt 1). Drei im Trockner angebrachte Sonden messen regelmäßig die Luftfeuchtigkeit. Ist der Zielwassergehalt erreicht, muss der Trocknungsvorgang manuell beendet werden. Der Schubboden beginnt sich zu bewegen und die trockenen Hackschnitzel werden ausgetragen. Dabei fällt ein sehr geringer Anteil an Feinmaterial durch die Luftlöcher auf den Boden des Trockners (Durchmesser der Luftlöcher: 2 mm), die Hackschnitzel fallen auf ein Förderband und werden in eine Halle transportiert. Dort lagern sie bis zum Verkauf an den Endkunden. Nach einigen Trocknungsvorgängen wird der Boden des Trockners ausgekehrt und der Feinanteil der Biogasanlage zugeführt. Somit wird bei diesem Aufbereitungsprozess nur ein vermarktungsfähiges Produkt hergestellt.

Es werden keine zusätzlichen Qualitätsbestimmungen vor Ort durchgeführt, der Wassergehalt wird ausschließlich über die Sonden im Trockner bestimmt.

Tab. 7.11: Steckbrief zu Fallstudie 4

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Prozessschritt 1: Trocknung	Schubbodentrockner (Eigenbau)
Wärmequelle	Biogasanlage
Ausgangs- und Endprodukte	
Ausgangsmaterial	Frische Waldrestholz hackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete Hackschnitzel
Nebenprodukt	Feinanteil (< 2 mm)

Brennstoffqualität: Das Ausgangsmaterial aus Fallstudie 4 hatte eine für Waldrestholz aus Nadelholz typische Brennstoffqualität (siehe Tab. 7.12) [7-7]. Lediglich der Wassergehalt von 42 m-% und dessen starke Schwankung deuten darauf hin, dass das Material teilweise schon angetrocknet war.



Schubbodentrockner (Eigenbau) (oben) und Befüllung des Trockners mittels Radlader (unten)



Waldrestholz hackschnitzel vor (oben) und nach (unten) der Aufbereitung aus Fallstudie 4. Größe des Bildausschnittes ca. DIN A5.

Durch die Trocknung im Schubbodentrockner wurde der Wassergehalt auf 7,1 m-% reduziert. Auch wurde die Schwankungsbreite des Wassergehalts deutlich verringert. Interessanterweise kam es bei der Trocknung auch zu einer geringen Änderung im Aschegehalt, im Feinanteil und in den verbrennungskritischen Inhaltsstoffen. Bei der hier dargestellten Trocknung werden die Hackschnitzel über ein Lochblech geschoben (Lochdurchmesser 2 mm). Hierbei werden zu einem geringen Anteil Nadeln und andere feine Partikel ausgesiebt. Dieser Effekt reicht allerdings nicht aus, damit eine Partikelgrößenverteilung nach DIN EN ISO 17225-4 und somit eine Spezifikation als A1 bis B2 eingehalten werden kann.

Tab. 7.12: Brennstoffqualität in Fallstudie 4 (wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/ Eigenschaftsklasse	Frisches Ausgangsmaterial	getrocknet
Brennstoff-Nr.	4-A	4-E
M (m-%)	42,0	7,1
M _{max-min} (m-%)	9,7	2,7
A (m-%, wf)	1,7	1,4
Hu (MJ/kg, wf)	18,84	18,72
Hu (MJ/kg, ar)	9,90	17,23
BD (kg/m ³ , ar)	290	202
F (m-%)	19,3	18,3
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P31	P45
N (m-%, wf)	0,34	0,30
S (m-%, wf)	0,01	0,01
Cl (mg/kg, wf)	66	56
K (mg/kg, wf)	1.430	1.170
Si (mg/kg, wf)	1.630	1.020
Σ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	1.510	1.240
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	-	-

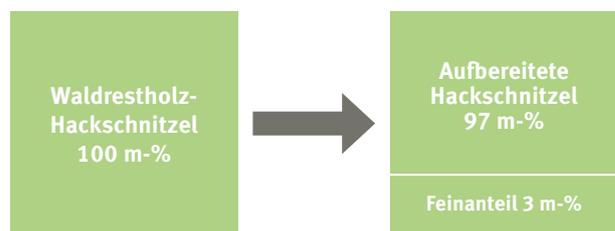
Produktionskosten: Am Tag der Fallstudie wurde ein Trocknungsgang begleitet und dabei eine Durchsatzrate von 0,14 t_{atro}/h ermittelt. Dieser Durchsatz war im Vergleich zu den anderen Fallstudien relativ niedrig. Dementsprechend fielen auch die Kosten des Trockenvorgangs mit 109,48 €/t_{atro} vergleichsweise hoch aus. Die sonstigen Kosten setzen sich aus Kosten für Maschinen und den Betriebshof zusammen und lagen bei 25,02 €/t_{atro} (siehe Tab. 7.13). Insgesamt lagen die Produktionskosten somit bei 134,51 €/t_{atro}.

Bezogen auf einen Wassergehalt von 7,1 m-%, entspricht dies 125,02 €/t. Da der Zielwassergehalt von 15 m-% deutlich unterschritten wurde, wäre eine kürzere Laufzeit je Trocknungsvorgang und damit eine höhere Durchsatzrate denkbar, was auch die Kosten deutlich reduzieren würde.

Tab. 7.13: Produktionskosten in Fallstudie 4

Prozessschritte	€/t _{atro}
1 Trocknung (Schubboden)	109,48
Sonstige Kosten	25,02
Produktionskosten	134,51
bezogen auf Endprodukt	125,02 €/t (M = 7,1 m-%)

Da die Hackschnitzel nur getrocknet und nicht gesiebt werden, entstehen keine Nebenprodukte in relevanter Menge. Der durch die Luftlöcher des Kratzbodens gefallene Feinanteil hatte einen Anteil von 3,3 m-% und wird in den Gärprozess der betriebseigenen Biogasanlage geführt.



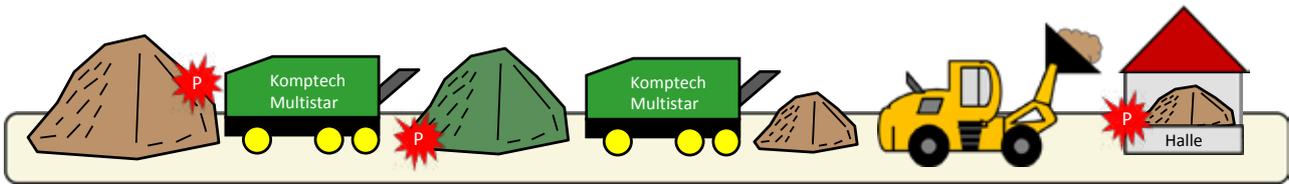
Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte während der Aufbereitung in Fallstudie 4 (bezogen auf die Trockenmasse)

7.2.5 Fallstudie 5: Entkoppelte Aufbereitung mittels Sternsieb und Mietentrocknung

Verfahrensbeschreibung: Die fünfte Fallstudie wurde an einem Biomassehof in Detmold/Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Auf einer rund 3,3 ha großen Fläche mit mehreren Lagerhallen werden Waldrestholz hackschnitzel aus Laubholz und verschiedene Pellets aus Holz und Stroh hergestellt und Altholz aufbereitet. Neben Kompost und Rindenmulch findet man auch Strohpellets als Tierstreu im Sortiment. Rund 40 % der Abnehmer der Brennstoffe sind Privatkunden, weitere 20 % Kommunen. Die restlichen 40 % sind gewerbliche Kunden. Die Leistung der Anlagen der Kunden liegt zu 50 % bei < 100 kW, zu 20 % zwischen 100–300 kW und zu 30 % > 1.000 kW.

Es werden zwei Sortimente für Anlagen < 100 kW aufbereitet. Das eine Sortiment besteht zu 100 % aus Laubsägerestholz, welches gesiebt und getrocknet wird. Insgesamt mehr als die Hälfte der Kunden fragen dieses Sortiment nach. Das Ausgangsmaterial für das zweite Sortiment besteht zum größten Teil aus Waldrestholz, aus Laubholz sowie Landschaftspflegeholz und Straßenbegleitgrün. Die Aufbereitung dieses Sortiments wurde in der Fallstudie begleitet.

Der Aufbereitungsprozess besteht aus mehreren entkoppelten Schritten (siehe Tab. 7.14). Das Ausgangsmaterial wird gehackt aus einem Umkreis von 20–50 km zum Biomassehof geliefert. Vor Ort wird das Eingangsgewicht bestimmt und eine Miete aufgeschüttet. Diese bleibt ca. zwei Wochen offen liegen (sog. „Antrocknen“, Prozessschritt 1). Nach dieser Zeit werden mit einem Sternsieb (Komptech, Modell Multistar M) Feinanteil und Überlängen ausgesiebt (Prozessschritt 2). Diese werden in Anhängern aufgefangen. Während der gesamten Siebung sorgt ein Radladerfahrer dafür, dass das Sieb kontinuierlich befüllt



Prozessschritte und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 5

Tab. 7.14: Steckbrief zu Fallstudie 5

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Prozessschritt 1: Trocknung	Mietentrocknung (offen max. 2–3 Wochen)
Prozessschritt 2: Siebung 1	Sternsieb Komptech Multistar
Prozessschritt 3: Trocknung	Mietentrocknung unter Vlies
Prozessschritt 4: Siebung 2	Sternsieb Komptech Multistar
Prozessschritt 5: Trocknung	Nachtrocknung in Lagerhalle
Kopplungsgrad	Alle Prozessschritte entkoppelt
Ausgangs- und Endprodukte	
Ausgangsmaterial	Frische Waldrestholz hackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete und gesiebte Hackschnitzel
Nebenprodukt 1	Überlängen (> 45 mm)
Nebenprodukt 3	Feinanteil (< 20 mm)

wird. Nach der Siebung werden die Hackschnitzel wiederum mit dem Radlader in eine Miete aufgeschoben, mit einem Vlies abgedeckt und für 4–6 Monate gelagert (Prozessschritt 3). Während dieser Zeit kommt es zu einer natürlichen Trocknung. Diese wird mithilfe von kapazitiv messenden Einstechlanzen immer wieder überprüft. Wenn der Wassergehalt im Mieteninneren bei rund 30 m-% liegt, werden die Hackschnitzel entweder an Kunden mit mittelgroßen Anlagen verkauft oder für die Nutzung in Anlagen mit < 100 kW ein zweites Mal mit dem Sternsieb gesiebt (Prozessschritt 4). Während die Miete dafür aufgedeckt wird, werden die Vliese von zwei Personen zusammengelegt und mit dem Radlader in eine Lager- und Werkzeughalle transportiert. Dort werden die Vliese zum Trocknen unter dem Dach aufgespannt. Sie werden mehrere Jahre zum Abdecken wiederverwendet. Auch beim zweiten Siebvorgang werden Feinanteil (Nebenprodukt 2) und Überlängen (Nebenprodukt 1) ausgesiebt. Der Feinanteil wird als Einstreu an Pferdehöfe verkauft und die Überlängen an große Heizkraftwerke zur Verbrennung abgegeben.

Nach der zweiten Siebung werden die Hackschnitzel (Hauptprodukt) mit dem Radlader in eine Lagerhalle verbracht und verbleiben dort bis das Material an den Endkunden verkauft wird. Damit erhält man bei dieser Art der Aufbereitung drei vermarktungsfähige Sortimente.

Um die Transportwege auf dem Biomassehof so gering wie möglich zu halten wird das mobile Sieb passend in der Nähe der aktuell zu bearbeitenden Miete aufgebaut. Insgesamt sind an dem Aufbereitungsprozess zwischen 1 und 3 Personen beteiligt, wobei eine Person permanent den Radlader bedient. In



Halbaufgedeckte Hackschnitzelmiete mit Schichtbildung (oben) und Sternsieb (unten)

regelmäßigen Abständen werden direkt am Betriebshof Proben der aufbereiteten Hackschnitzel gewonnen und Qualitätsparameter bestimmt. Neben dem Wassergehalt kann auch die Partikelgrößenverteilung bestimmt werden. Hierfür stehen ein Darröfen und eine Siebmaschine zur Verfügung. Weitere Parameter wie Aschegehalt und Heizwert werden zum Teil von externen Laboren, zum Teil in Kooperation mit regional ansässigen Hochschulen in regelmäßigen Abständen bestimmt.

Brennstoffqualität: In Fallstudie 5 wurde Waldrestholz aus Laubholz in abwechselnden Schritten gesiebt und gelagert. Die Lagerdauer beträgt bis zu 5 Monate. Für die Fallstudie konnte somit keine Einzelcharge über die gesamte Prozesskette begleitet werden, wodurch eine direkte Vergleichbarkeit der Brennstoffe schwierig ist.

Das Ausgangsmaterial zeigt für Waldrestholz typische Werte (siehe Tab. 7.15) [7-7]. Der Feinanteil war im Vergleich zu den anderen Fallstudien, bei denen Waldrestholz hackschnitzel aus Nadelholz verwendet wurden, nur etwa halb so groß. Dies kann wahrscheinlich auf den fehlenden Nadelanteil zurückgeführt werden. Eine Klassifizierung nach DIN EN ISO 17225-4 ist aber

auch in diesem Fall nicht möglich (hoher Aschegehalt, hoher Anteil an Überlängen). Durch die Siebung mittels Sternsieb reduzieren sich sowohl bei frischem, d. h. maximal zwei Wochen angetrocknetem, als auch bei vorgelagerten Hackschnitzeln der Aschegehalt, der Feinanteil und die verbrennungskritischen Inhaltsstoffe. Der Effekt war deutlicher bei dem länger vorge-trocknetem Material als bei nur angetrockneten, noch relativ frischen Hackschnitzeln. Durch die zweite Siebung wurde zudem die Partikelklasse P31S, bzw. P45S erreicht. Der Wassergehalt wurde durch die Trocknung reduziert, wobei der erste längere (4–6 Monate) Trocknungsschritt noch Werte analog des hier verwendeten „frischen“ Materials aufwies. Grund hierfür kann ein hoher Wassergehalt in der äußeren Mietenschicht sein, wohingegen das Material im Mieteninneren bereits relativ trocken gewesen sein könnte (siehe Kapitel 6). Die große Schwankungsbreite der Wassergehalte in den ungesiebten Materialien deutet ebenso auf eine heterogene Trocknung innerhalb der Mieten hin. Da die Hackschnitzel aber aus unterschiedlichen Chargen kommen, ist kein direkter Vergleich möglich. Somit ist der Ausgangswassergehalt der hier untersuchten über 4–6 Monate getrockneten Hackschnitzel nicht bekannt, was die Bewertung des Trocknungserfolges erschwert.

Tab. 7.15: Brennstoffqualität in Prozesskette 5
(wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/ Eigenschafts- klasse	Frisches Ausgangs- material	frisch gestiebt	1 x Siebung 1 x Lager- miete	2 x Siebung 1 x Lager- miete	2 x Siebung 2 x Lager- miete
Brennstoff-Nr.	5-A1	5-E1	5-A2	5-E2	5-E3
M (m-%)	42,5	39,1	41,7	32,4	25,3
M _{max-min} (m-%)	17,3	1,5	18,8	4,1	6,8
A (m-%, wf)	3,7	3,0	2,6	1,7	2,5
Hu (MJ/kg, wf)	17,66	17,77	18,25	18,17	17,88
Hu (MJ/kg, ar)	9,12	9,87	9,62	11,50	12,75
BD (kg/m ³ , ar)	298	294	297	261	220
F (m-%)	9,6	4,3	5,8	2,0	2,9
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P45 –	P45 –	P45 –	P31 P31S	P31 P45S
N (m-%, wf)	0,34	0,33	0,32	0,23	0,38
S (m-%, wf)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Cl (mg/kg, wf)	63	57	67	56	72
K (mg/kg, wf)	2.380	2.090	1.980	1.860	2.490
Si (mg/kg, wf)	4.560	2.260	3.620	2.080	2.560
Σ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	2.560	2.210	2.110	1.950	2.660
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	–	–	–	B1	B1



Frische Waldrestholz hackschnitzel (Laubholz) vor (oben) und nach (unten) der Aufbereitung aus Fallstudie 5. Ausgangsmaterial und Endprodukt entstammen nicht derselben Charge. Größe des Bildausschnittes ca. DIN A5.

Durch die Siebung reduziert sich sowohl der Wassergehalt als auch dessen Schwankungsbreite. Dies deutet darauf hin, dass das aufgrund von Schichtbildung in der Miete sehr heterogene Ausgangsmaterial durch den Siebprozess homogenisiert wurde. Die beobachtete Reduzierung des absoluten Wassergehalts könnte theoretisch durch unterschiedliche Wassergehalte in den ausgesiebten Fraktionen erklärt werden, jedoch liegen diese mit 33,5 m-% (Feinanteil) und 31,3 m-% (Überlängen) nahe am Wassergehalt der Hackschnitzel nach der zweiten Siebung (32,4 m-%). Besonders die zweite Lagerphase reduzierte noch einmal den Wassergehalt, verstärkt möglicherweise durch die regengeschützte Lagerung in der Halle und eine möglicherweise gute Belüftung der Haufen durch das höhere Porenvolumen. Insgesamt konnten die Hackschnitzel nach der Aufbereitung in die Spezifikation B1 nach DIN EN ISO 17225-4 eingeordnet werden.

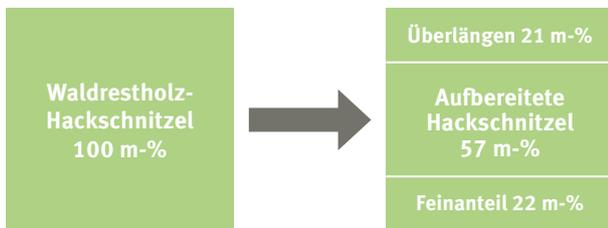
Produktionskosten: Bei Fallstudie 5 wurde die Siebung im frischen und im getrockneten Zustand als zwei einzelne Prozessschritte betrachtet.

Die erste Siebung (Prozessschritt 2) mit frischem Ausgangsmaterial hatte eine Durchsatzrate von 13,82 t_{atro}/h. Die Kosten beliefen sich auf 3,47 €/t_{atro} (siehe Tab. 7.16). Bei der zweiten Siebung (Prozessschritt 4) wurden Hackschnitzel gesiebt, die

bereits mehrere Monate unter Vlies getrocknet (Prozessschritt 3) waren. Für diese Siebung ergab sich ein geringerer Durchsatz von 8,38 t_{atro}/h. Dadurch waren die Kosten der zweiten Siebung höher und lagen bei 5,73 €/t_{atro}. Der Grund für den großen Unterschied bei den Durchsatzraten konnte nicht abschließend geklärt werden.

Tab. 7.16: Produktionskosten in Fallstudie 5

Prozessschritte	€/t _{atro}
2 Siebung 1 (Trommelsieb)	3,47
3 Trocknung (Miete unter Vlies)	2,49
4 Siebung 2 (Trommelsieb)	5,73
Sonstige Kosten (inkl. Prozessschr. 1 u. 5)	34,19
Produktionskosten	45,88
bezogen auf Endprodukt	31,03 €/t (M = 32,4 m-%)



Durchschnittliche Verteilung der beiden Siebungen aus Fallstudie 5 (bezogen auf die Trockenmasse)

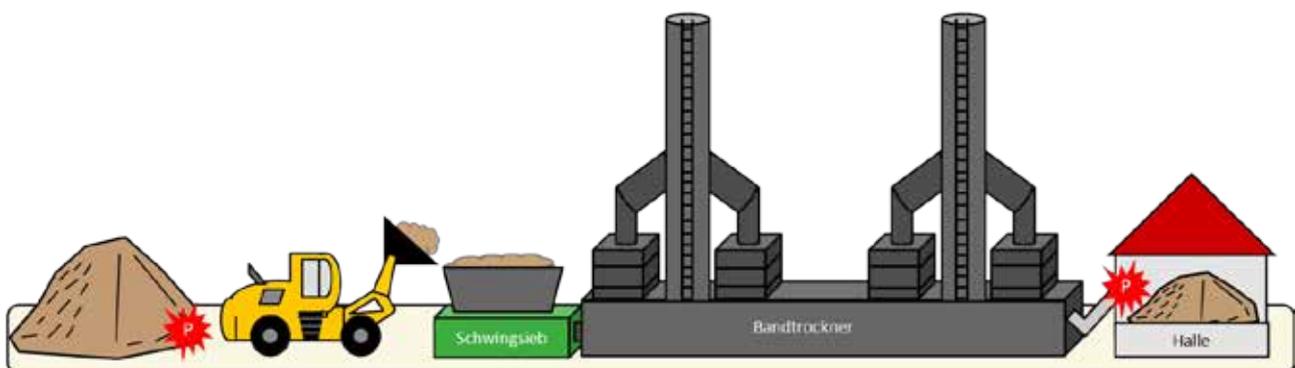
Die Kosten für die mehrmonatige Lagerung und Trocknung der Hackschnitzel (Prozessschritt 3) betragen 2,49 €/t_{atro}. In die sonstigen Kosten flossen neben den Kosten für Maschinen und den Betriebshof auch die Lagerungskosten für Prozessschritt 1 und 5 mit ein. Daraus ergaben sich sonstige Kosten von 34,19 €/t_{atro}. Insgesamt lagen die Produktionskosten in dieser Fallstudie bei 45,88 €/t_{atro}. Bezogen auf das Endprodukt mit einem Wassergehalt von 32,4 m-% entspricht dies 31,03 €/t. Die aufbereiteten Hackschnitzel hatten nach beiden Siebungen und der Lagerung einen Anteil von etwas mehr als 57 m-% des Ausgangsmaterials. Somit lag der Anteil der Nebenprodukte bei ca. 43 m-%, wovon jeweils rund die Hälfte auf Überlängen und Feinanteil entfielen. Der Absatz der Nebenprodukte spielt daher eine besonders gewichtige Rolle.

7.2.6 Fallstudie 6: Aufbereitung mittels Bandrockner und Schwingsieb (gekoppelt) und mittels Trommelsieb (entkoppelt)

Verfahrensbeschreibung: Fallstudie 6 wurde an einem großen Betrieb in Schwaben/Bayern durchgeführt. Die Firma verfügt über einen Bandrockner und trocknet vorrangig Futtermittel. Die Wärme dafür kommt aus dem betriebseigenen Biomasseheizkraftwerk. Dieses wird mit Holz aus der Region betrieben. Zusätzlich zur Stromeinspeisung werden Industriekunden über eine Fernwärmeleitung ganzjährig, vor allem aber im Winter mit Prozesswärme versorgt. Um die Anlage das ganze Jahr auslasten zu können wird die Wärme vor allem im Sommer zur Trocknung von verschiedenen Stoffen genutzt. Neben der Trocknung von Futtermitteln werden Hackschnitzel, allen voran Sägerestholz hackschnitzel, getrocknet. Daneben werden sowohl Holzpellets als auch Briketts produziert. Zudem produziert die Firma Hackschnitzel als Abdeckmaterial und Fallschutz für Spielplätze. Für die Aufbereitung der Hackschnitzel stehen mehrere Lagerhallen (> 3.600 m²) und ein großer Lagerplatz mit ca. 6.000 m² zur Verfügung.

Tab. 7.17: Steckbrief zu Fallstudie 6a

Eingesetzte Maschinen/Prozesseinstellungen	
Prozessschritt 1: Siebung	Schwingsieb Zeno P90
Prozessschritt 2: Trocknung 1	Bandrockner Stela
Wärmequelle	Biomasseheizkraftwerk
Kopplungsgrad	Alle Prozessschritte miteinander gekoppelt
Ausgangs- und Endprodukte	
Ausgangsmaterial	Frische Waldrestholz hackschnitzel/ frische Sägerestholz hackschnitzel
Hauptprodukt	Getrocknete und gesiebte Hackschnitzel
Nebenprodukt 1	Überlängen (> 45 mm)
Nebenprodukt 2	Feinanteil (< 15 mm)



Prozessschritte und Probenahmepunkte („P“) der Fallstudie 6a

Der Aufbereitungsprozess in Variante 6a besteht aus zwei aneinander gekoppelten Schritten (siehe Tab. 7.17). Die Hackschnitzel werden gehackt am Betriebshof angeliefert und gewogen. Danach werden sie mit einem Radlader in einen Bunker gefüllt. Von dort werden die Hackschnitzel zuerst mit einem Schwingsieb (Zeno, Modell P 90, Prozessschritt 1) in drei Fraktionen gesiebt. Die Überlängen (Nebenprodukt 1) und der Feinanteil (Nebenprodukt 2) werden gesammelt, wobei die Überlängen im betriebseigenen Heizkraftwerk verfeuert werden und der Feinanteil für die Produktion von Briketts verwendet wird. Die Hackschnitzel (Hauptprodukt) werden über ein Förderband weiter in den Bandtrockner (Stela, Prozessschritt 2) befördert. Dort liegen die Hackschnitzel auf einem luftdurchlässigen Band, welches von unten mit Luft durchströmt wird. Je nach aktuellem Wassergehalt der Hackschnitzel, bestimmt durch ein Infrarot-Messgerät (Mesa, Modell MM 710) im Inneren des Trockners, bewegt sich das Band schneller oder langsamer und bestimmt so die Trocknungszeit. Haben die Hackschnitzel den Zielwassergehalt von ca. 15 m-% erreicht, werden sie aus dem Trockner über ein Förderband in ein Zwischenlager gefördert und fallen dort entweder direkt in Container oder Schubboden-Lkw oder werden mit dem Radlader in eine Lagerhalle transportiert. Je nach Nachfrage werden sie dort bis zur Auslieferung an die Kunden gelagert. Verschiedene Qualitätsparameter können direkt vor Ort bestimmt werden. Das Unternehmen verfügt außerdem über ein Trommelsieb (Doppstadt, Modell 620), welches aber nur selten für die Aufbereitung von Waldrestholz hackschnitzel verwendet wird. Hierdurch bot sich in Fallstudie 6 die Möglichkeit eines direkten Vergleichs der Qualitätsveränderung des Ausgangsmaterials bei Siebung mit zwei unterschiedlichen Siebanlagen. Die Siebung mittels Trommelsieb ohne Trocknung wurde als Variante 6b untersucht.

Brennstoffqualität: Als Ausgangsmaterial für Fallstudie 6 wurde typisches Waldrestholz aus Nadelholz verwendet (siehe Tab. 7.18). Wassergehalt und Feinanteil lagen im zu erwartenden Bereich [7-7]. Der Aschegehalt war leicht erhöht und lässt neben hohen Anteilen an Nadeln und Rinde einen Eintrag von Mineralboden vermuten [7-2]. Eine Klassifizierung des Ausgangsmaterials nach DIN EN ISO 17225-4 war nicht möglich (hoher Aschegehalt, unpassende Partikelgröße).

Die Siebung mit dem Schwingsieb reduzierte sowohl den Aschegehalt, den Feinanteil, den Anteil an Überlängen als auch die Konzentrationen an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen teils deutlich. Die Hackschnitzel konnten anschließend als B1 nach DIN EN ISO 17225-4 eingeordnet werden. Durch die Trocknung mittels Bandtrockner (gekoppelt an das Schwingsieb) reduzierte sich der Wassergehalt auf 15,2 m-%. Auch die Schwankungsbreite im Wassergehalt reduzierte sich deutlich. Die gesiebten und getrockneten Hackschnitzel konnten als Spezifikation B1 nach DIN EN ISO 17225-4 eingeordnet werden. Limitierend war in diesem Fall der Aschegehalt von 1,7 m-%. Eine erneute Siebung im trockenen Zustand oder die Verwendung eines Ausgangsmaterials mit niedrigerem Aschegehalt (z. B. Energierundholz) könnte hier eine Verbesserung bewirken.

Die optionale Siebung frischer Hackschnitzel mit dem mobilen Trommelsieb (Variante 6b) zeigte eine ähnlich gute Siebung im Vergleich zum Schwingsieb, da auch mit diesem der Feinanteil und der Aschegehalt reduziert wurden. Allerdings werden

mit dem hier verwendeten Trommelsieb Überlängen nicht abgetrennt, weshalb die Hackschnitzel nicht in eine Partikelklasse nach DIN EN ISO 17225-4 eingeordnet werden konnten. Eine zusätzliche Abscheidung von Überlängen erfordert den Wechsel des Siebes oder die Verwendung von Trommelsieben, die mehr als eine Fraktion abscheiden können.

Tab. 7.18: Brennstoffqualität in Fallstudie 6 (wf = wasserfrei, ar = im Anlieferungszustand (engl. „as received“))

Parameter/ Eigenschafts- klasse	Frisches Ausgangs- material	frisch gesiebt (Schwingsieb)	gesiebt getrocknet	frisch gesiebt (Trommelsieb)	trocken gesiebt (Trommelsieb)
Brennstoff-Nr.	6-A	6-S	6-E1	6-E2	6-E3
M (m-%)	48,1	48,4	15,2	45,0	8,5
M _{max-min} (m-%)	15,3	13,4	6,7	6,9	8,9
A (m-%, wf)	5,3	1,6	1,7	1,5	1,5
Hu (MJ/kg, wf)	18,49	18,96	19,11	18,87	18,84
Hu (MJ/kg, ar)	8,43	8,61	15,84	9,29	17,03
BD (kg/m ³ , ar)	334	–	189	292	166
F (m-%)	18,3	1,55	1,0	0,9	0,49
P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-1/4	P45 –	P31 P45S	P31 P45S	P45 –	P31 P45S
N (m-%, wf)	0,36	0,15	0,19	0,21	–
S (m-%, wf)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Cl (mg/kg, wf)	84	62	87	74	83
K (mg/kg, wf)	2.040	1.300	1.490	1.330	–
Si (mg/kg, wf)	7.380	1.880	1.410	1.020	–
∑ (K, Na, Pb, Zn) (mg/kg, wf)	2.190	1.380	1.570	1.400	–
Spezifikation nach DIN EN ISO 17225-4	–	B1	B1	–	A2

Eine erneute Siebung der bereits mittels Schwingsieb und Bandtrockner aufbereiteten Hackschnitzel als zusätzliche Variante zeigte nur wenig Effekt, da die Hackschnitzel bereits sehr hochwertig waren. Die weitere Reduzierung des Feinanteils und des Aschegehalts ermöglichte jedoch die Klassifizierung in die Spezifikation A2 nach DIN EN ISO 17225-4. Ebenso könnte die Reihenfolge der Prozessschritte geändert werden, sodass zunächst mittels Bandtrockner getrocknet und erst anschließend mittels Schwingsieb gesiebt wird. Zu beachten ist dabei jedoch, dass auf diese Weise eine deutlich größere Masse an Brennstoff erst getrocknet werden muss, was zu einer höheren Laufzeit und zu einer geringeren Durchsatzleistung des Bandtrockners (bezogen auf das Hauptprodukt) führen würde.

Produktionskosten: Bei der Aufbereitung in Variante 6a handelt es sich um einen gekoppelten Prozess. Die ermittelte Durchsatzrate von 3,75 t_{atro}/h gilt daher sowohl für das Sieb als auch für den Trockner. Der Bandtrockner hatte die höchsten Investitionskosten aller beteiligten Maschinen. Der Trocknungsvorgang



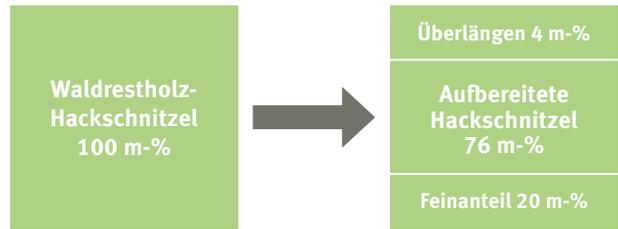
FrISChe WaldrestholzHackschnitzel vor (oben) und nach (unten) der Aufbereitung aus Fallstudie 6a mittels Schwingsieb und Bandtrockner. Holzrahmen in DIN A 5.

verursachte Kosten von 34,06 €/t_{atro} (siehe Tab. 7.19). Das Aus-sieben der Überlängen und des Feinanteils mittels Schwingsieb belief sich auf 3,00 €/t_{atro}. Die sonstigen Kosten für Maschinen und den Betriebshof lagen bei 15,22 €/t_{atro}. Es fielen insgesamt Produktionskosten in Höhe von 52,28 €/t_{atro} an. Bezogen auf den Wassergehalt des Endprodukts, der bei 15,2 m-% lag, entspricht dies Produktionskosten von 44,36 €/t.

Tab. 7.19: Produktionskosten in Fallstudie 6a

Prozessschritte	€/t _{atro}
1 Siebung (Schwingsieb)	3,00
2 Trocknung (Bandtrockner)	34,06
Sonstige Kosten	15,22
Produktionskosten	52,28
bezogen auf Endprodukt	44,36 €/t (M = 15,2 m-%)

Der Betreuungsaufwand der Anlage kann als relativ gering bezeichnet werden. Die hohe Auslastung der Anlage über das Jahr hinweg und die Aufteilung der Fixkosten auf mehrere Geschäftsbereiche wirken sich positiv auf die Produktionskosten aus.



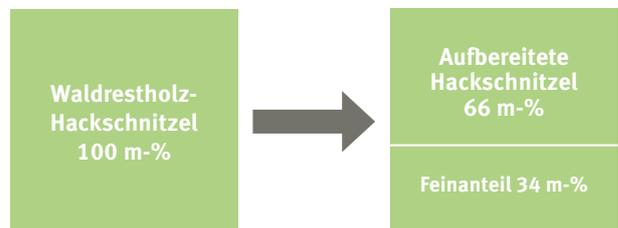
Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte aus Fallstudie 6a (bezogen auf die Trockenmasse)

Der Anteil des Feinmaterials lag bei rund 20 m-%. Dieses Nebenprodukt wird von der Firma brikettiert und ebenfalls als Brennstoff vermarktet.

Tab. 7.20: Produktionskosten in Fallstudie 6b

Prozessschritte	€/t _{atro}
1 Siebung (Trommelsieb)	3,63
Sonstige Kosten	15,22
Produktionskosten	18,57
bezogen auf Endprodukt	10,22 €/t (M = 45,0 m-%)

Die zusätzlich untersuchte Variante 6b mit Siebung im frischen Zustand mit einem Trommelsieb ergab einen Durchsatz von 7,15 t_{atro}/h. Die kalkulierten Kosten beliefen sich auf 3,63 €/t_{atro}. Die sonstigen, betriebsbezogenen Kosten wurden analog zur vorangehenden Variante mit 15,22 €/t_{atro} angesetzt. Somit ergaben sich Produktionskosten von 18,57 €/t_{atro}, was, bezogen auf den Wassergehalt des Endprodukts von 45,0 m-%, insgesamt 10,22 €/t entspricht. Durch die Siebung entstand ein Anteil von 66 % Hackschnitzel und 34 % Feinanteil. Auch hier konnte der Anteil des ausgesiebten Feinanteils für die Brikettierung genutzt werden. Allerdings muss beachtet werden, dass das Hauptprodukt ohne Trocknung nach wie vor einen hohen Wassergehalt aufwies und zur Verwendung in kleinen Anlagen eine zusätzliche Trocknung notwendig wäre.



Verteilung der Haupt- und Nebenprodukte aus Fallstudie 6b (bezogen auf die Trockenmasse)

7.2.7 Zusammenfassung Brennstoffqualität

Die Wassergehalte aller Ausgangsmaterialien lagen bei 41,2 bis 51,0 m-% und befanden sich damit im typischen Bereich für waldfrISChe HolzHackschnitzel [7-7]. Auch der Aschegehalt lag im Erwartungsbereich für Waldrestholz, wobei im Fall von Fallstudie 2 (A = 7,4 m-%, wf) und Fallstudie 5 (A = 5,3 m-%, wf) die Werte ne-

ben hohen Anteilen an Nadeln und Rinde zusätzlich auf einen Eintrag mit Mineralboden schließen lassen [7-2]. Denselben Schluss lässt der hohe Siliziumanteil des Ausgangsmaterials von Fallstudie 2 mit $> 10.000 \text{ mg/kg}$ zu. Aufgrund hoher Feinanteile und der maximalen Partikellänge konnte keines der Ausgangsmaterialien den Partikelklassen der DIN EN ISO 17225-4 zugeordnet werden. Auch eine Zuordnung zu den Spezifikationen A1 bis B2 war für die Ausgangsmaterialien nicht möglich. Auf Teil 1 der Norm bezogen konnten die unbehandelten Hackschnitzel jedoch als P31, bzw. als P45 klassifiziert werden. Sowohl der Heizwert als auch die inhaltsstoffliche Zusammensetzung, z. B. die Summe der aerosolbildenden Elemente, waren typisch für Waldrestholz [7-2].

Alle verwendeten technischen Trocknungsarten (Fallstudie 1, 2, 4 und 6) reduzieren den Wassergehalt der frischen Hackschnitzel zuverlässig auf Werte von $< 15 \text{ m-%}$. Je nach Verweildauer im Trockner kann der Brennstoff dabei auch Werte unterhalb des lufttrockenen Zustandes annehmen, z. B. 3,8 und 7,1 m-% in Fallstudie 2 bzw. 4. Daneben kann der Wassergehalt durch die Trocknung, aber auch durch die Mischung des Materials bei der Siebung der Brennstoffe homogener werden. Hierdurch reduzieren sich die Schwankungen im Wassergehalt im Vergleich zu den teils sehr heterogenen Ausgangsmaterialien deutlich.

Die Trocknung der Brennstoffe mittels natürlicher Prozesse in Lagermieten führte dagegen in beiden beobachteten Fällen zu geringeren Trocknungseffekten (Fallstudie 3 und 5), wobei sich durch Schichtbildung in den Lagermieten auch die Heterogenität im Wassergehalt erhöhte. Dennoch konnten Wassergehalte $< 35 \text{ m-%}$ erreicht werden. Hierbei ist v. a. eine gute Homogenisierung des Materials zu empfehlen. Eine Garantie, auf

welchen Wassergehalt sich natürlich trocknen lässt, ergibt sich aus den Fallstudien nicht. Eine Kontrolle des Wassergehalts bei Auslieferung ist somit zu empfehlen. Weiterhin gelten die allgemeinen Empfehlungen zur Mietentrocknung aus Kapitel 6.

Die Siebung hatte vornehmlich einen positiven Effekt auf den Aschegehalt, die Partikelgrößenverteilung und die Konzentration an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen. Der Aschegehalt lag dabei bei gesiebten Hackschnitzeln um 20 % (Fallstudie 5) bis zu 75 % (Fallstudie 2) niedriger als beim Ausgangsmaterial und konnte in allen Fällen die Spezifikation A3.0 ($\leq 3,0 \text{ m-%}$), bzw. in einigen Fällen sogar die Spezifikationen A1.0 ($\leq 1,0 \text{ m-%}$) oder A1.5 ($\leq 1,5 \text{ m-%}$) nach DIN EN ISO 17225-4 einhalten. Ebenfalls waren die verbrennungskritischen Inhaltsstoffe teils deutlich reduziert. Während für die Ausgangsmaterialien eine Klassifizierung als P-Klasse nach DIN EN ISO 17225-4 (P16S, P31S und P45S) aufgrund hoher Feinanteile und Überlängen nicht möglich war, konnten nach der Siebung die meisten Produkte den Klassen P31S oder P45S zugeordnet werden. Dabei wurde in allen Fällen der Feinanteil zuverlässig reduziert, wohingegen in Einzelfällen eine Klassifizierung aufgrund überlanger Partikel immer noch nicht möglich war. Dies kann sowohl an der gewählten Siebtechnik liegen, wenn z. B. Überlängen nicht separat durch das Sieb aussortiert werden, aber auch an der Maschineneinstellung der jeweiligen Siebmaschine.

Die Frage, ob vor oder nach der Trocknung gesiebt werden sollte, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Die Siebung von trockenen Hackschnitzeln führte häufig zu einer deutlicheren Reduzierung des Feinanteils und des Aschegehalts. Allerdings kann die Siebung von frischen Hackschnitzeln deren Trocknung



unterstützen, wenn v. a. bei technischen Trocknungsverfahren eine geringere Brennstoffmenge dem Trockner zugefügt wird und die Belüftung durch das größere Porenvolumen erleichtert wird. In wie weit die vorangegangene Siebung auch auf die natürliche Trocknung in Lagermieten einen positiven oder einen negativen Einfluss hat (z. B. aufgrund einer verminderten Wärmeentwicklung durch Reduzierung des Feinanteils contra einer besseren Belüftung durch ein höheres Porenvolumen), ist aus den aktuellen Erkenntnissen noch nicht ableitbar. Schlussendlich stellt sich auch die Frage, welchen Wassergehalt die ausgesiebten Materialien für die vorgesehene weitere Verwendung haben sollten, sei es zur Energieerzeugung, zur Kompostierung oder als Einstreu. Zu beachten ist bei der sekundären Brennstoffaufbereitung durch Siebung und Trocknung, dass nicht durch Unachtsamkeit beim Bewegen und Lagern der Brennstoffe ein Eintrag von Mineralboden stattfindet und es so statt zu einer Verbesserung der Brennstoffqualität zu einer Verschlechterung kommt. Neben einer guten Schulung der Arbeitskräfte sind dabei die Verwendung befestigter Arbeitsflächen und das Sauberhalten derselben erforderlich. Eine alle Brennstoffparameter umfassende Spezifikation der Hackschnitzel nach DIN EN ISO 17225-4 war für unbehandeltes Waldrestholz insgesamt nicht möglich (hoher Feinanteil, häufig sehr hoher Aschegehalt, etc.). Je nach Aufbereitung durch Siebung und Trocknung konnten die Hackschnitzel trotz des sehr heterogenen Ausgangsmaterials den Spezifikationen A2 und B1 zugeordnet werden. Im Fall von nicht möglicher Klassifizierung (z. B. Fallstudie 4, 5) war dies lediglich bedingt durch eine von der Norm abweichenden Partikelklasse (keine Klassifizierung als P16S, P31S oder P45S) wohingegen alle übrigen Qualitätsparameter nach der Aufbereitung zumindest die Spezifikation B1 eingehalten haben.

Besonders bei Waldrestholz bietet sich die Aufbereitung an, um Brennstoffqualitäten zu produzieren, welche einen störungsarmen Anlagenbetrieb gewährleisten können, bzw. welche überhaupt erst verbrannt werden können (Reduktion des hohen Wassergehalts). In wie weit die Aufbereitung das Emissionsverhalten von Kleinfeuerungsanlagen positiv beeinflusst, wird separat in Kapitel 8 dargestellt.

7.2.8 Zusammenfassung Produktionskosten

In fünf von sechs Fallstudien wurden die Aufbereitungskosten von Hackschnitzeln mit verschiedenen Techniken und in unterschiedlichen Größen und Betriebsstrukturen ermittelt. Dafür wurden Durchsatzraten und Betriebskosten der eingesetzten Maschinen bestimmt. Dies geschah im Rahmen von relativ kurzen Arbeitseinsätzen. Die Ergebnisse können daher nur einen ersten Eindruck von den zu erwartenden Größenordnungen geben und sind nicht geeignet, die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Techniken oder Betriebskonzepten abschließend zu beurteilen.

Die Trocknung von Hackschnitzeln stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Ein niedriger Wassergehalt kann jedoch eine Voraussetzung für den Marktzugang zu Betreibern von kleinen Feuerungsanlagen sein. Zudem sind trockene Hackschnitzel deutlich lagerstabiler als frische, sodass sie in größeren Mengen am Betriebshof vorgehalten und umgeschlagen werden können. Der Vorteil des gesteigerten Heizwerts im Anlieferungszustand beim Endkunden wird bei der Vermarktung nach Energiemenge direkt umgesetzt. Bei Abrechnung nach Volumen

oder Masse muss die Investition in den geringeren Wassergehalt über eine Preisstaffelung eingepreist werden.

Die kostengünstigste Trocknung war die natürliche Trocknung in Freilandmieten (Fallstudie 5). Hierzu sind allerdings Lagerflächen in erheblichem Umfang notwendig. Die Wassergehalte bei Auslagerung liegen deutlich höher als die bei technischer Trocknung gemessenen Werte. Bei der technischen Trocknung spielt der Stromverbrauch (hauptsächlich für die notwendigen Gebläse) neben den Wärmekosten die entscheidende Rolle. Großdimensionierte, hochtechnisierte Trocknungsanlagen zeigten einen geringen Betreuungsaufwand bei einer hohen möglichen Jahreslaufzeit. Hier kann sich auch eine Kombination mit anderen Trocknungsgütern, z. B. Futtermittel wie in Fallstudie 6, anbieten, falls die notwendige Auslastung allein mit der Trocknung von Hackschnitzeln nicht möglich ist.

Die Trocknung sollte daher möglichst optimiert ablaufen. In den Fallstudien hat sich gezeigt, dass insbesondere von Bedeutung ist, das Erreichen des Zielwassergehalts verlässlich zu kontrollieren. Eine deutliche Unterschreitung des gewünschten Wassergehalts verringert den Durchsatz und führt daher zu unnötig erhöhten Trocknungskosten, die am Markt nicht automatisch realisiert werden können.

Das Sieben von Hackschnitzeln ist mit etablierten Techniken zu überschaubaren Kosten möglich. Eine Integration in weitreichendere Betriebskonzepte, in denen neben Hackschnitzeln noch weitere Güter gesiebt werden, erscheint auch hier sinnvoll um die Auslastung der Maschinen sicherzustellen. Ein großes und leistungsstarkes Sieb (z. B. Multistar M des Herstellers Komptech in Fallstudie 2) allein mit der Produktion von hochwertigen Hackschnitzeln auszulasten ist, ähnlich wie bei den Trocknern, bei regionalen Vermarktungsstrukturen mit begrenzten Lieferdistanzen nicht immer möglich.

Gerade auf weitläufigen Betriebsgeländen (z. B. in Fallstudie 5 mit Mietentrocknung) waren mobile Siebmaschinen vorteilhaft, da Transportwege reduziert werden konnten. Stationäre Anlagen eignen sich besonders, wenn sie gekoppelt an weitere Prozessschritte laufen sollen oder wenn sie direkt aus Transportbehältern befüllt werden können. Die sonstigen Kosten, die in jedem Betrieb anfallen, können bei einem breiter angelegten Betriebskonzept auf mehr Produkte in höherer Menge umgelegt werden. Durch eine Kopplung von Prozessschritten wird weitestgehend eine Automatisierung der Abläufe ermöglicht, was den Arbeitsaufwand reduzieren kann. Hier werden jedoch unterschiedlich schnell laufende Prozesse kombiniert, sodass dies nicht in jedem Fall sinnvoll ist. Die zusätzliche Integration der Produktion von Qualitätshackschnitzeln in bestehende Betriebskonzepte scheint besonders interessant. Die Ausbeute an diesem Hauptprodukt lag in den Fallstudien mit Siebung zwischen 57 und 89 m-% des Ausgangsmaterials (bezogen auf die Trockenmasse). Entsprechend wichtig ist es, auch für die Nebenprodukte eine sinnvolle Verwendung zu finden. Die an den Fallstudien beteiligten Betriebe gehen hier unterschiedliche Wege. Der Feinanteil findet z. B. als Einstreu in Tierhaltungsbetrieben Verwendung oder wird zu Presslingen verarbeitet. Mögliche innerbetriebliche Verwendungen sind die Zuführung in die Biogaserzeugung oder die Kompostierung. Überlängen können als Brennstoff für Kunden mit größeren Anlagen vermarktet werden oder in den Hackprozess rückgeführt werden.



KAPITEL 8

Emissionsverhalten von aufbereiteten
Waldrestholzhackschnitzeln



8 EMISSIONSVERHALTEN VON AUFBEREITETEN WALDREST-HOLZHACKSCHNITZELN

Der störungsfreie und emissionsarme Betrieb von Hackschnitzelheizungen < 100 kW erfordert neben einer guten Feuerungstechnik und einem aufgeklärten Betreiber eine definierte, hochwertige Brennstoffqualität. Die Brennstoffqualität hat einen wesentlichen Einfluss auf das Abbrand- und Emissionsverhalten in einer Feuerung. Heterogene Rohmaterialien, wie z. B. Hackschnitzel aus frischem Waldrestholz sind aufgrund der vergleichsweise hohen Wasser- und Aschegehalte sowie aufgrund eines relativ hohen Feinanteils und eines hohen Anteils an verbrennungskritischen Elementen (z. B. Stickstoff, Kalium) für den direkten Einsatz in kleinen Feuerungsanlagen nur bedingt geeignet. Entsprechend ergibt sich durch die sekundäre Brennstoffaufbereitung, welche die Qualität des Einsatzmaterials, z. B. mittels Siebung und technischer Trocknung, die Möglichkeit zur Emissionsminderung beizutragen. Im folgenden Abschnitt soll anhand von Verbrennungsversuchen in zwei modernen Hackschnitzelfeuerungsanlagen das Potenzial der Verbesserung der Hackschnitzelqualität aufgezeigt werden, um die Anforderungen der 1. BImSchV an eine emissionsarme Verbrennung einzuhalten. Hierzu kamen die Ausgangsmaterialien sowie die aufbereiteten Hackschnitzelsortimente aus den sechs Fallstudien, welche in Kapitel 7 vorgestellt wurden, zum Einsatz.

8.1 Durchführung der Verbrennungsversuche

Zunächst wurde mit Kessel 1 der Einfluss auf das Abbrand- und Emissionsverhalten von Holz hackschnitzeln aus Sägere sthholz untersucht und für den Voll last- bzw. Teil lastbetrieb optimiert. Im Anschluss wurden die aufbereiteten und nicht aufbereiteten Waldrestholz hackschnitzel in der optimierten Feuerungsanlage verbrannt. Zusätzlich wurde zum Vergleich eine zweite Anlage (Kessel 2) eingesetzt. In sofern bilden diese Ergebnisse einen optimierten Voll lastbetrieb ab. Die Ergebnisse aus den Emissionsmessungen geben Auskunft über die Qualität der Verbrennung und über die Herausforderung bei der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte im Rahmen der 1. BImSchV. Die eingesetzten Kesselanlagen sowie die Ergebnisse der Abbrandversuche und Emissionsmessungen werden in diesem Kapitel dargestellt.

Eingesetzte Feuerungsanlagen

Kessel 1 verfügt über eine Nennwärmeleistung von 50 kW und ist für Hackschnitzel, Pellets und Späne geeignet. Der Brennstoff wird seitlich auf einen Kipprost eingeschoben, der in regelmäßigen Abständen von der anfallenden Asche abgereinigt wird. Der Brennstoff wird automatisch mittels Heißluftgebläse gezündet. Die Brennstoffzufuhr sowie die Primär- und Sekundärluft werden unabhängig voneinander geregelt (siehe Tab. 8.1).

Tab. 8.1: Spezifikation Kessel 1

Kessel 1	
Feuerungsprinzip	Kipprost mit seitlichem Einschub
Nennwärmeleistung	50 kW
Zündung	Automatisch mit Zündgebläse
Brennstoffeinschub	Automatisch durch Förderschnecke
Feuerungsanlagenregelung	Leistungs- und Verbrennungsregelung
Hackschnitzelqualität laut Hersteller	Wassergehalt < 31 m-% (Herstellerangabe: Feuchtegehalt < 45 m-%), Partikelgröße P31S

Kessel 2 verfügt über einen beweglichen Treppenrost und eine gestufte Primär- und Sekundärluftzufuhr (siehe Tab. 8.2). Die Primärluft wird der Brennkammer über den Rost zugeführt. Die Sekundärluft wird dem Verbrennungsgas in der Ausbrandzone tangential zugeführt, um eine gute Durchmischung und einen optimalen Gasausbrand in der Sekundärzone zu erreichen. Der Brennstoff wird mittels Heißluftgebläse automatisch auf dem beweglichen Treppenrost gezündet, der während der Verbrennung eine automatische Rostreinigung, Bewegung im Glutbett und Ascheabtransport gewährleistet. Die Anlage verfügt über eine elektronische Verbrennungsregelung mittels Lambdasonde. Die heißen Verbrennungsgase werden mit Hilfe eines Saugzuges über einen selbstreinigenden Rohrbündelwärmeübertrager in den Schornstein abgeleitet.

Tab. 8.2: Spezifikation Kessel 2

Kessel 2	
Feuerungsprinzip	Beweglicher Treppenrost
Nennwärmeleistung	30 kW
Zündung	Automatisch mit Zündgebläse
Brennstoffeinschub	Automatisch durch Förderschnecke
Feuerungsanlagenregelung	Leistungs- und Verbrennungsregelung
Hackschnitzelqualität laut Hersteller	Wassergehalt < 30 m-%, Partikelgröße P16B oder P45A (sehr gute Qualität) nach EN14961-4

Abbrandversuche und Emissionsmessungen

Für die Verbrennungsversuche wurden beide Feuerungen in ein Heizwärmenetz eingebunden, um einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb zu ermöglichen. Da die verwendeten Feuerungsanlagen laut Herstellerangaben nur mit Hackschnitzeln unterhalb eines maximalen Wassergehalts von ca. 30 m-% emissionsarm und störungsfrei betrieben werden können, wurden die Hackschnitzelproben aus den frischen Ausgangsmaterialien, welche i. d. R. deutlich höhere Wassergehalte aufwiesen, mittels Niedrigtemperatur-Satztrocknerboxen auf Werte von ca. 30 m-% reduziert. Daher entsprechen die Wassergehalte des frischen Rohmaterials in Kapitel 7 nicht den Wassergehalten bei den Feuerungsversuchen. In der Regel wurden die Verbrennungsversuche bei Volllast unter möglichst stationären Bedingungen durchgeführt. Abgasseitig wurden die Kessel an eine geeignete Messstrecke angeschlossen, um alle relevanten Emissionsmessgrößen und Anlagenparameter zu erfassen. Dazu gehörte die Analyse der Abgase hinsichtlich Kohlenstoffmonoxid (CO),

den Stickstoffoxiden (NO_x) sowie dem Gesamtstaub nach VDI 2066. Die gemessenen Emissionswerte wurden ohne Abzug einer Messunsicherheit entsprechend der 1. BImSchV auf das Abgasvolumen im Normzustand (273 K, 1.013 hPa) nach Abzug des Feuchtegehaltes und einen Sauerstoffgehalt von 13 vol-% bezogen.

8.2 Feuerungsseitige Optimierungspotenziale

Im Rahmen von aufwendigen Vorversuchen an Kessel 1 wurden die Einstellungen variiert, um einen möglichst emissionsarmen Betrieb in Voll- sowie in Teillast zu realisieren. Hierzu wurde Sägestholz mit zwei verschiedenen Wassergehaltsstufen und einem ähnlichen Aschegehalt eingesetzt. Wie die Abbildung 8.1 zeigt, konnten beispielsweise die CO-Emissionen von 150 mg/m³ auf 40 mg/m³ für Brennstoff 1 reduziert werden. Mit der ungünstigsten Kesseleinstellung (A) wurden im Vergleich dazu ca. 250 mg/m³ an CO freigesetzt. Für Brennstoff 2 kam es nur zu einer geringfügigen Verbesserung der Emissionswerte im Vergleich zur Standardeinstellung des Kessels im Auslieferungszustand.

Der Einfluss auf die Gesamtstaubemissionen war für Kessel 1 nach der Kesseloptimierung weniger stark ausgeprägt (siehe Abb. 8.2). Dennoch kann diese Optimierung auch in Hinblick auf die wiederkehrenden Kaminkehrermessungen von entscheidender Bedeutung sein, wenn der vorgegebene Grenzwert von 0,02 g/m³ für Gesamtstaub eingehalten werden soll.

Diese Ergebnisse bestätigen, dass ein Hackschnitzelkessel immer an den jeweiligen Brennstoff anzupassen ist, um einen emissionsarmen und störungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

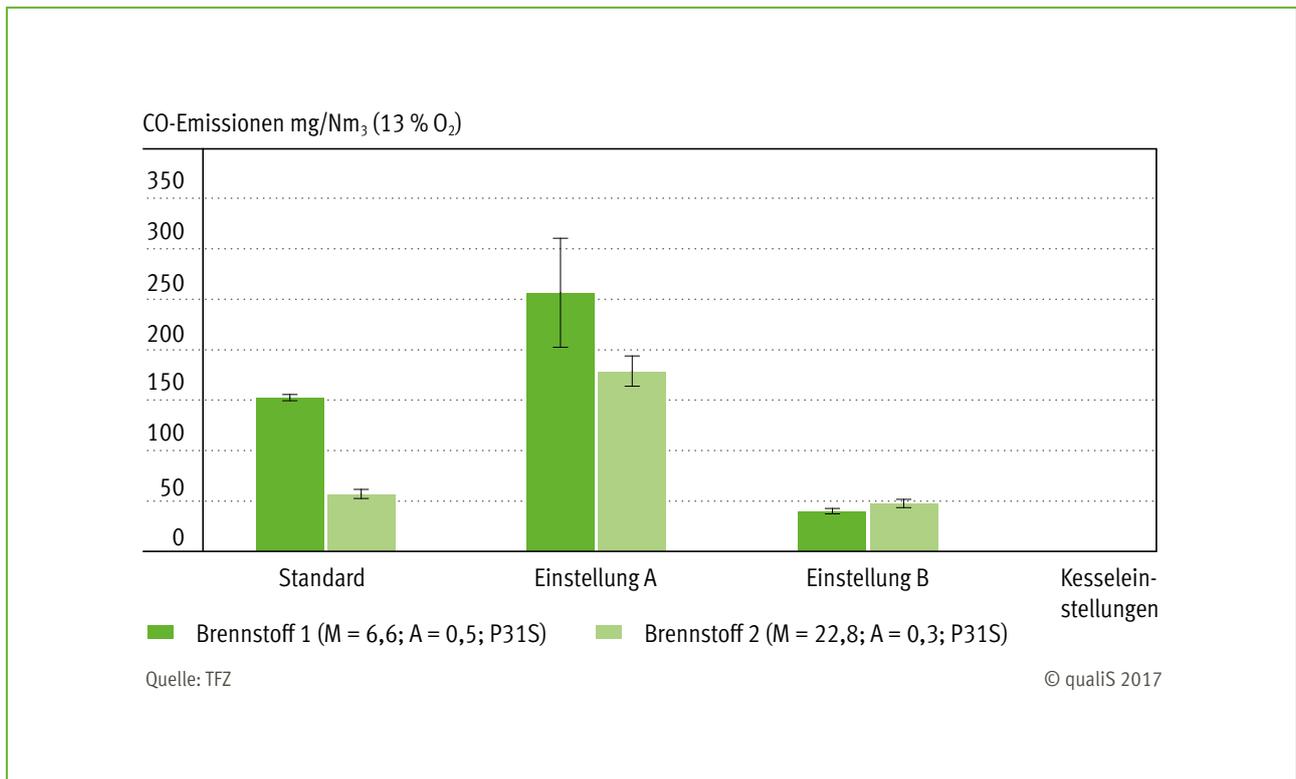


Abb. 8.1: Mittlere CO-Emissionen bei der Verbrennung von zwei Brennstoffen mit verschiedenen Einstellungen an Kessel 1 (± Standardabweichung)

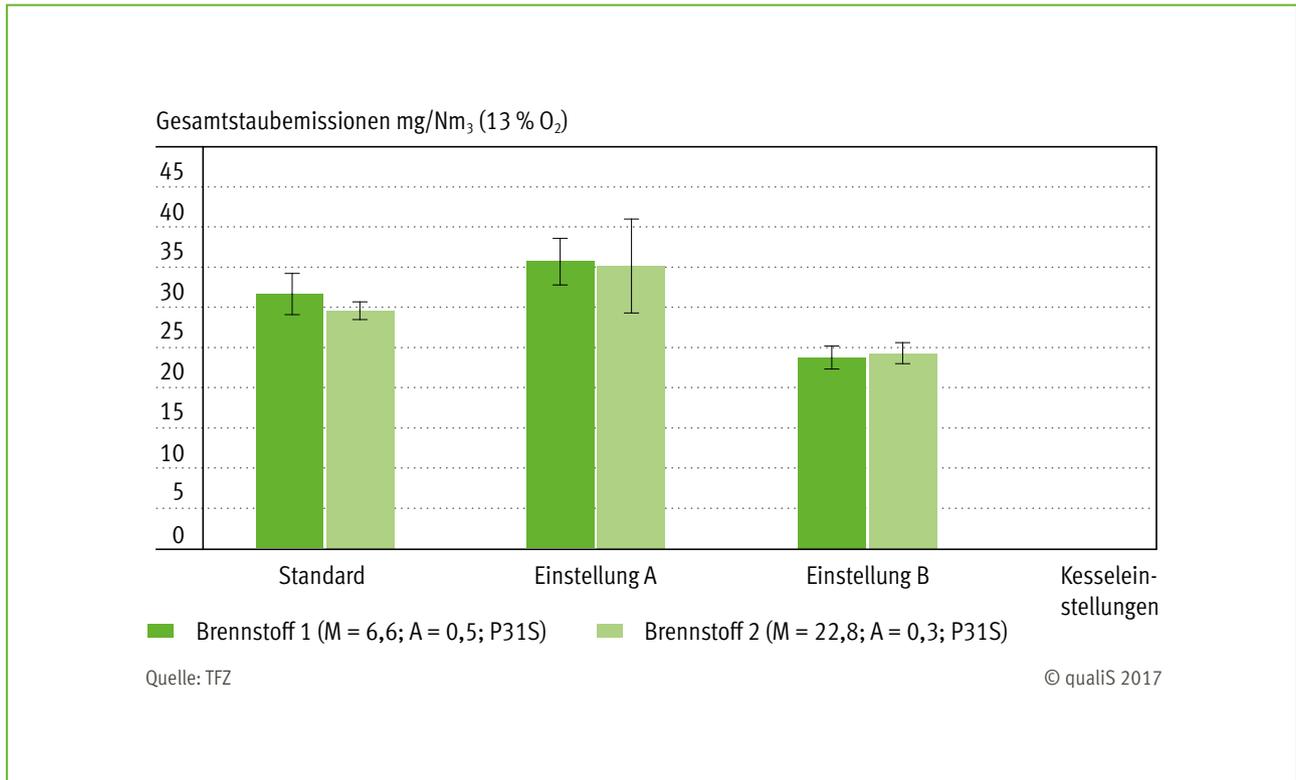


Abb. 8.2: Mittlere Gesamtstaubemissionen bei der Verbrennung von zwei Brennstoffen mit verschiedenen Einstellungen an Kessel 1 (\pm Standardabweichung)

8.3 Brennstoffseitige Optimierungspotenziale

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, inwieweit sekundäre Aufbereitungsschritte von Waldrestholzhackschnitzeln beim optimierten Feuerungsanlagenbetrieb dazu beitragen können, die Emissionsgrenzwerte der 2. Stufe der 1. BImSchV einzuhalten. Insgesamt konnte im besten Fall eine Produktqualität A2 bzw. B1 nach ISO 17225-4 erreicht werden, siehe Kapitel 7. Die Feuerungsversuche wurden unter Vollastbedingungen durchgeführt, wobei die optimierten Kesseleinstellungen verwendet und i. d. R. nicht verändert wurden.

CO-Emissionen

Erhöhte Werte von Kohlenstoffmonoxid im Abgas von Feuerungsanlagen zeigen die Unvollständigkeit des Ausbrands der Verbrennungsgase an und kennzeichnen einen suboptimalen Verbrennungsprozess. Zur Vermeidung von erhöhten CO-Emissionen lassen sich folgende allgemeine Betriebsbedingungen ableiten:

- ausreichend hohe Verbrennungstemperaturen (> 800 °C),
- ausreichende Verweilzeit der Verbrennungsgase,
- genügend Luftsauerstoff durch Primär- und Sekundärluftzufuhr,
- gute Durchmischung des Verbrennungsgases mit Luftsauerstoff.

Aufgrund der vorangegangenen Kesseloptimierungen kann davon ausgegangen werden, dass die o. g. Betriebsbedingungen weitestgehend eingehalten wurden, was der stabile Versuchs-

betrieb bestätigte. Ebenso konnten keine Verschlackungen im Feuerraum beobachtet werden. In vielen Fällen konnten die CO-Emissionen im Vergleich zum Ausgangsmaterial auf ein niedrigeres Niveau reduziert werden, jedoch nicht bei allen Fallstudien. Es ist anzumerken, dass das Ausgangsmaterial für die Feuerungsversuche stets auf unter 30 m-% Wassergehalt getrocknet wurde. Nachfolgend werden zunächst die Ergebnisse für den Kessel 1 aufgezeigt (siehe Abb. 8.3). Für die Fallstudie 1 zeigte sich aufgrund der Trocknung und anschließenden Siebung eine deutliche Reduzierung der CO-Emissionen von durchschnittlich 109 auf 68 mg/m³. Bei Fallstudie 2 wurde das erste Endprodukt (2-E1) zunächst gesiebt und anschließend getrocknet, was eine Verringerung um 40 % von 71 auf 42 mg/m³ bewirkte, wobei der Wassergehalt für die Feuerungsversuche für 2-A bei 34 und 2-E1 bei 4,3 m-% lag. Im Vergleich dazu wurden leicht höhere CO-Emissionen für das zweite Endprodukt 2-E2 nachgewiesen, welches durch Trocknung und anschließender Siebung hergestellt wurde. In Fallstudie 3 kamen zwei verschiedene Ausgangsmaterialien zum Einsatz, die zu unterschiedlichen CO-Emissionsniveaus führten. Während die frischen Hackschnitzel lediglich gesiebt wurden, verringerten sich die CO-Emissionen dennoch von 150 auf 84 mg/m³. Das zweite Ausgangsmaterial wurde vor dem Versuch in einer Lagermiete getrocknet und anschließend gesiebt, was in diesem Fall aber zu keiner Reduktion der Emissionen führte. Dies könnte an den immer noch recht hohen Wassergehalten von 39 bzw. 33 m-% liegen, die keinen stabilen Versuchsbetrieb bei Kessel 1 zuließen. Die Trocknung der Hackschnitzel mittels Schubbodentrockner aus der vierten Fallstudie bewirkte keine Verringerung der CO-Emissionen, da sowohl der Aschegehalt als

auch der Feinanteil des Ausgangsmaterials und Endproduktes auf einem vergleichbaren Niveau lagen. Die Wassergehalte für die Verbrennungsversuche lagen bei 28 bzw. 8 m-%. Für die Aufbereitungsketten in Fallstudie 5 konnten beim Einsatz in Kessel 1 keine Verringerungen der CO-Emissionen erzielt werden. Im Gegensatz dazu konnten in der letzten Fallstudie nochmals eine Verbesserung des Emissionsverhaltens aufgrund der Siebung und damit die Reduktion des Aschegehaltes und des Feinanteils erreicht werden.

Bei Kessel 2 konnte eine Verringerung der CO-Emissionen in einem Fall sogar um bis zu 97 % erreicht werden (siehe Abb. 8.4). Beim Einsatz von aufbereiteten Holz hackschnitzeln in Kessel 2 wurden mittlere CO-Emissionen von maximal 1.270 mg/m³ bzw. 446 mg/m³ (Fallstudie 3 bzw. 6) ermittelt. Bei den anderen Verbrennungsversuchen wurden CO-Emissionen von maximal 315 mg/m³ gemessen. Im Unterschied dazu liegen die mittleren CO Emissionen in Kessel 1 mit maximal 270 mg/m³ deutlich unter denen des Kessels 2 und stets unter dem Emissionsgrenzwert der 2. Stufe der 1. BImSchV von 0,40 g/m³.

Die erhöhten CO-Emissionen in Kessel 2 sind vor allem darauf zurückzuführen, das ein Wassergehalt von unter 30 m-% trotz Satzrockner nicht immer gewährleistet werden konnte (siehe Kapitel 8.1.) und die erhöhten Werte den vom Hersteller vorgegebenen maximalen Wassergehaltswert von 30 m-% zum Teil deutlich überschritten. Eine Einhaltung des maximalen Brennstoffwassergehaltes kann daher eine wichtige Voraussetzung sein, um einen Anlagenbetrieb mit niedrigen CO-Emissionen zu gewährleisten (siehe Abb. 8.5). Dieser ausgeprägte Einfluss des Wassergehaltes konnte bei Kessel 1 nicht beob-

achtet werden, obwohl dieser laut Herstellerangabe auch nur für Brennstoffwassergehalte von bis zu 31 m-% geeignet ist. Dieser scheint jedoch etwas robuster gegenüber einem erhöhten Wassergehalt im Brennstoff zu sein. Wichtig ist dabei auch eine optimierte Korngrößenverteilung im Brennstoff, die zu einem störungsarmen Feuerungsanlagenbetrieb beiträgt.

NO_x-Emissionen

Bei Biomassefeuerungen ist der Stickstoffgehalt des Brennstoffes der wichtigste Parameter für die Stickoxidbildung. Unabhängig vom Verbrennungsprinzip konnte der Zusammenhang zwischen steigendem Brennstoffstickstoffgehalt und einer Zunahme der NO_x-Emissionen bei einer vollständigen Verbrennung bereits mehrfach nachgewiesen werden [8-1].

Die Aufbereitung der Waldrestholz hackschnitzel hatte einen direkten Einfluss auf das NO_x-Emissionsverhalten bei der Verbrennung der Brennstoffe in den verwendeten Feuerungen. Beim Betrieb von Kessel 1 wurden durch den Einsatz vom Ausgangsmaterial der Fallstudie 4 mittlere NO_x-Emissionen von maximal 459 mg/m³ nachgewiesen (siehe Abb. 8.6). Im Unterschied dazu liegen die mittleren NO_x-Emissionen in Kessel 2 bei maximal 297 mg/m³ für das Ausgangsmaterial in Fallstudie 5 (nicht dargestellt). Oftmals lagen die NO_x-Emissionen für Kessel 1 höher als für Kessel 2. Aufgrund der mechanischen Aufbereitung und der Absiebung des Feinanteils kam es in den meisten Fällen zu einer Reduzierung der mittleren NO_x-Emissionen um bis zu 30,5 % (Kessel 1) bzw. 28,7 % (Kessel 2), wobei die in Fallstudie 6 (Kessel 2) bzw. Fallstudie 2 (Kessel 1) vorgenommenen sekundären Brennstoffaufbereitungsmaßnahmen den größten

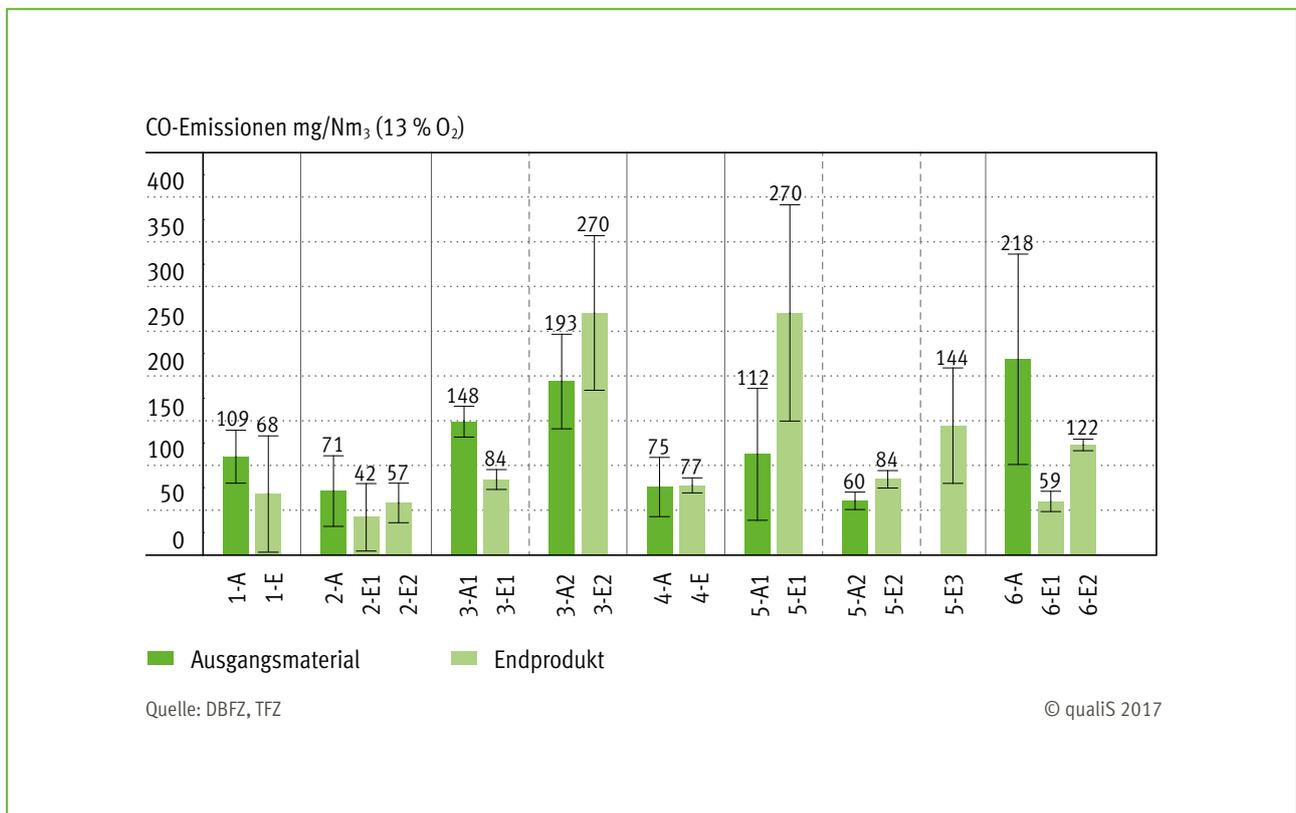


Abb. 8.3: Mittlere CO-Emissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholz hackschnitzel aus sechs Fallstudien in Kessel 1 (± Standardabweichung)

Effekt zeigten. Da in der 1. BImSchV keine Grenzwerte für NO_x-Emissionen beim Betrieb von Feuerungsanlagen festgelegt sind, wird der derzeit gültige NO_x-Grenzwert der TA Luft von 0,02 g/m³ (bezogen auf 13 vol-% O₂) für den Einsatz von naturbelassenem Holz in genehmigungsbedürftigen Anlagen mit einer Feuerungsleistung ab 1 MW für eine Einschätzung herangezogen. Es zeigte sich, dass eine Einhaltung dieses NO_x-Emissionsgrenzwertes durch eine sekundäre Brennstoffaufbereitung im Einzelfall erzielt werden kann (z. B. für Kessel 2 beim Einsatz vom Endprodukt 6-E1, nicht dargestellt). Die Brennstoffaufbereitung ist vor allem dann sinnvoll, wenn technische Maßnahmen zur sekundären NO_x-Minderung nicht wirtschaftlich sind. Die Verringerung der NO_x-Emissionen ist dabei direkt auf eine Reduzierung des Stickstoffgehalts im Brennstoff z. B. durch das Absieben des Nadelanteils zurückzuführen (siehe Kapitel 7).

Gesamtstaubemissionen

Bei der Verbrennung von Holz hackschnitzeln kommt es zur Bildung und Freisetzung von Staubpartikeln. Diese partikelförmigen Emissionen können prinzipiell über mehrere Wege aus Produkten bei der vollständigen bzw. unvollständigen Verbrennung entstehen [8-2]. Die Bildung der Partikelemissionen bei einer vollständigen Verbrennung steht in direktem Zusammenhang mit der Brennstoffzusammensetzung. Die Hauptbestandteile der bei der vollständigen Verbrennung gebildeten partikelförmigen Emissionen sind Ascheverbindungen (sogenannte Aerosole), die durch Verdampfung (z. B. hauptsächlich von Kalium und Natrium) und Kondensation oder Neubildung in der Feuerung entstehen sowie schwerflüchtige, mineralische

Aschebestandteile, die durch die Verbrennungsluft aus dem Feuerraum mitgerissen werden.

Die aus der Literatur bekannte Korrelation der Gesamtstaubemissionen mit inhaltstofflichen Parametern (d. h. Kalium, Natrium, Chlor, Schwefel, Blei und Zink) [8-3], [8-4] konnte bei den durchgeführten Verbrennungsversuchen nicht bestätigt werden. Ansonsten hätte es bei den Verbrennungsversuchen mit aufbereiteten Waldrestholz hackschnitzeln im Vergleich zum korrespondierenden Ausgangsmaterial stets zu einer Reduktion der Gesamtstaubemissionen kommen müssen, da die Summe an Aerosolbildnern mit jeder Aufbereitungsstufe abnahm (siehe jeweilige Tabelle zu den Brennstoffqualitäten der einzelnen Fallstudien in Kapitel 7). Eine Einhaltung des Emissionsgrenzwertes für Gesamtstaub der 1. BImSchV von 0,02 g/m³ konnte nur in der Fallstudie 6 für das aufbereitete Endprodukt (6-E1) mit 16 mg/m³ in Kessel 2 erreicht werden. Für alle anderen Ausgangsmaterialien oder aufbereiteten Brennstoffchargen wurden mittlere Gesamtstaubemissionen von mindestens 37 mg/m³ für Kessel 1 bzw. 31 mg/m³ für Kessel 2 (jeweils das Ausgangsmaterial der Fallstudie 1) gemessen (siehe Abb. 8.7 und 8.8).

Beim Einsatz aufbereiteter Waldrestholz hackschnitzeln der Fallstudien 2 und 6 zeigt sich im Vergleich zu den Ausgangsmaterialien eine Reduzierung der Gesamtstaubemissionen in beiden Feuerungsanlagen. Im Unterschied dazu konnte keine Reduzierung der Gesamtstaubemissionen durch eine sekundäre Aufbereitung in den Fallstudien 1 und 5 für beide Feuerungsanlagen nachgewiesen werden. Gegenläufige Trends wurden beim Einsatz der aufbereiteten Brennstoffe aus den Fallstudien 3 und 4 in beiden Feuerungsanlagen beobachtet. Um eine

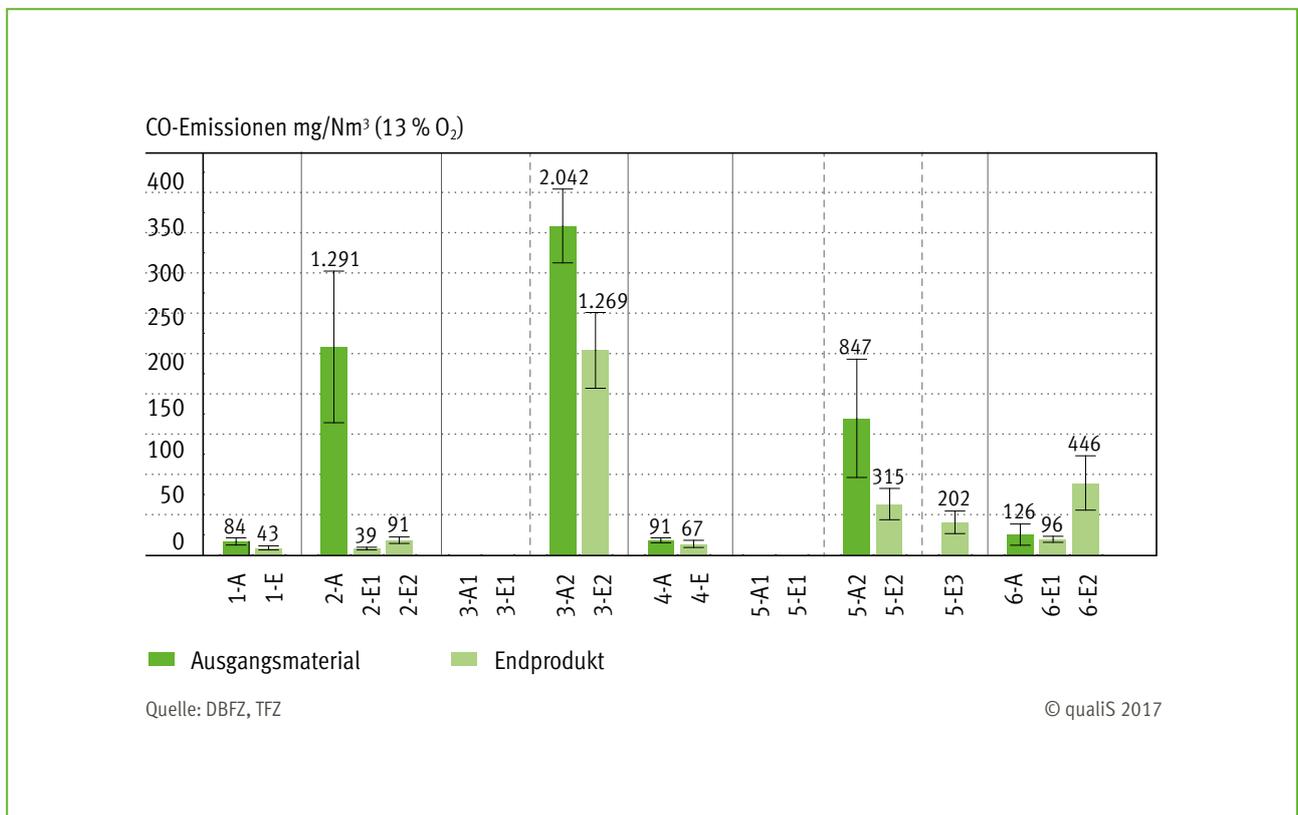


Abb. 8.4: Mittlere CO-Emissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholz hackschnitzeln aus sechs Fallstudien in Kessel 2 (± Standardabweichung)

sichere Einhaltung des Gesamtstaubemissionsgrenzwertes in Feuerungsanlagen kleinerer Leistung zu gewährleisten muss daher untersucht werden, ob ggf. durch eine weitere Optimierung der sekundären Brennstoffaufbereitung von Waldrestholz zur Erreichung einer A1 Produktqualität nach ISO 17225-2 ein zusätzliches Emissionsminderungspotenzial geschaffen wer-

den könnte. Ob dies jedoch ausreicht oder zusätzlich ein Staubabscheider installiert werden muss, ist individuell zu klären und zu entscheiden. Die durch die sekundäre Brennstoffaufbereitung realisierbare Verringerung der Staubbelastung im Abgas hätte jedoch einen positiven Einfluss auf den Betrieb eines Staubabscheiders.

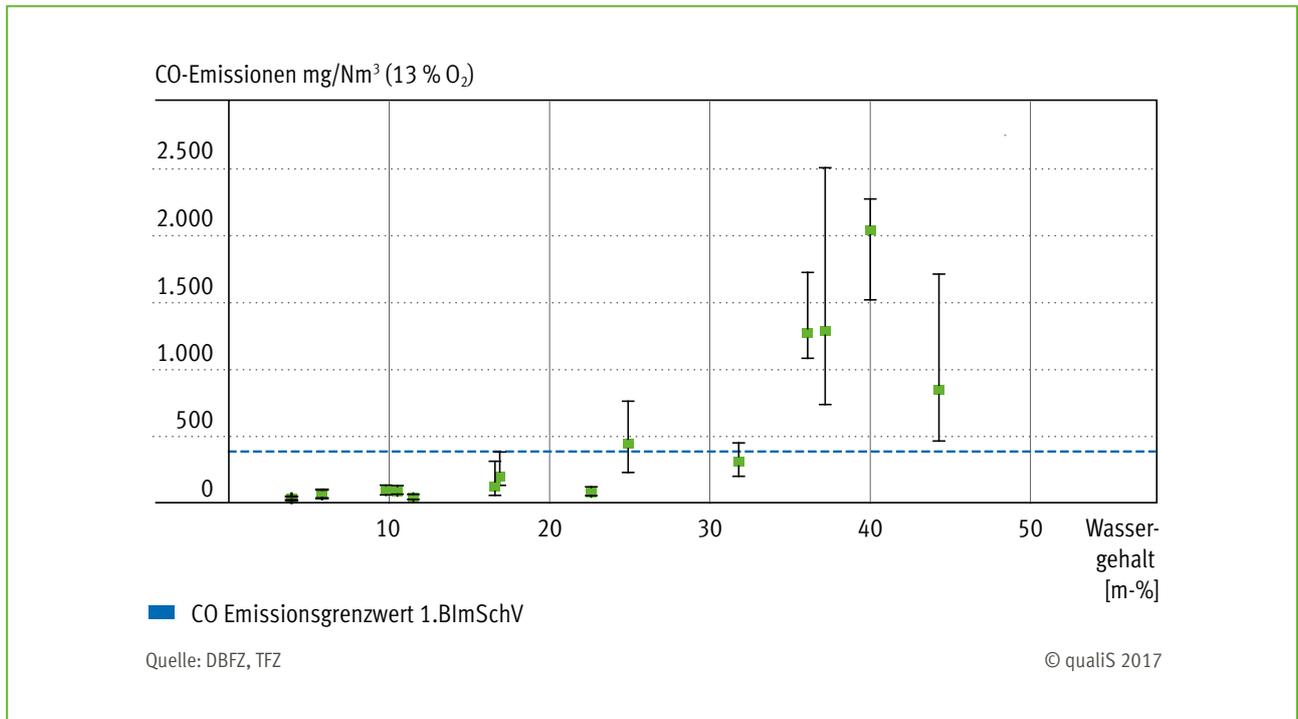


Abb. 8.5: Mittlere CO-Emissionen in Abhängigkeit vom mittleren Wassergehalt bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholzhacksnitzel aus sechs Fallstudien in Kessel 2 (± Min/Max Werte)

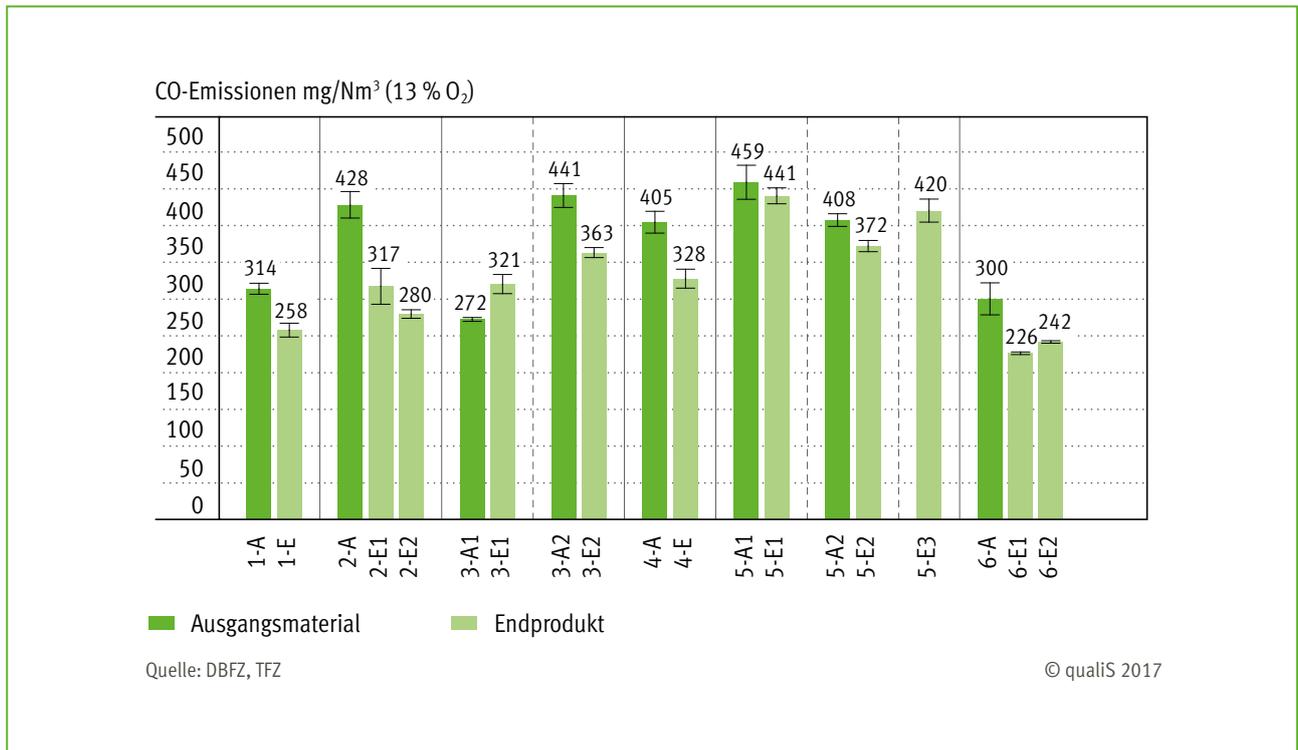


Abb. 8.6: Mittlere NO_x-Emissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholzhacksnitzel aus sechs Fallstudien in Kessel 1 (± Standardabweichung)

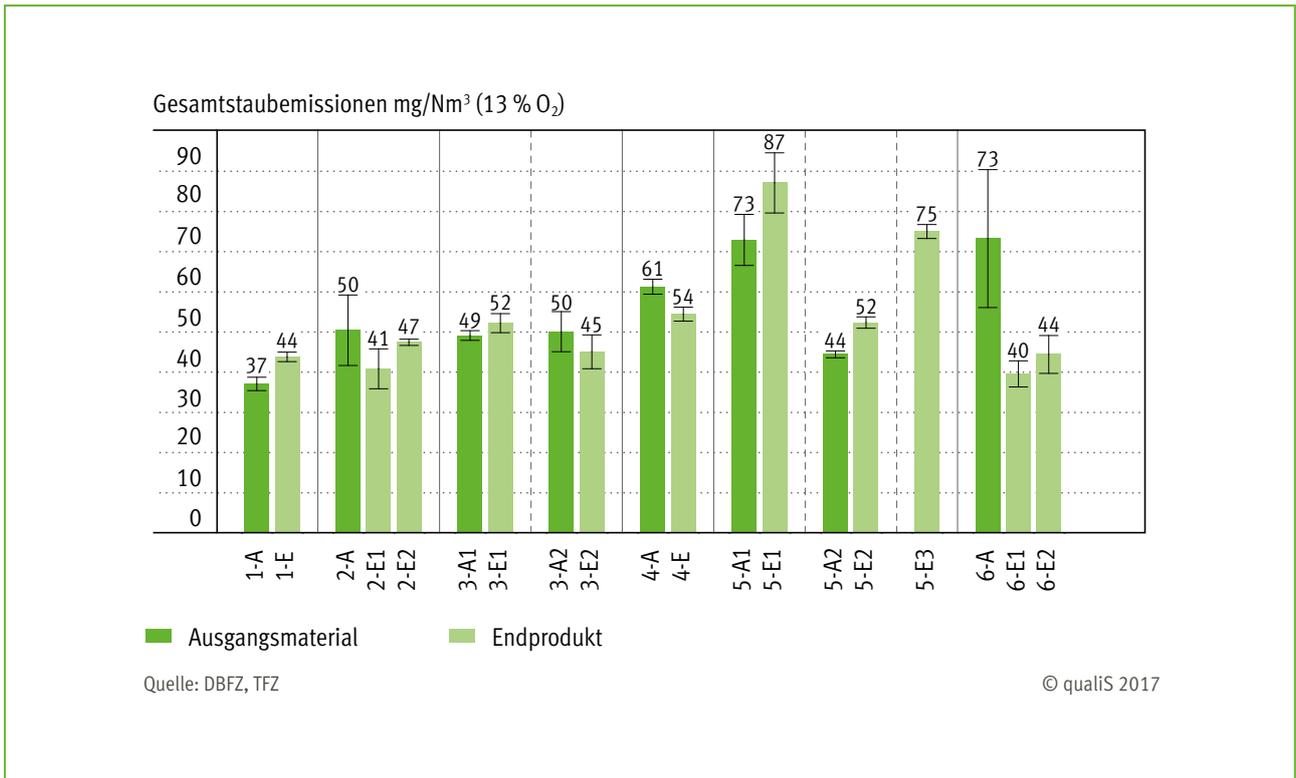


Abb. 8.7: Mittlere Gesamtstaubemissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholzhackschnitzel aus sechs Fallstudien in Kessel 1 (± Standardabweichung)

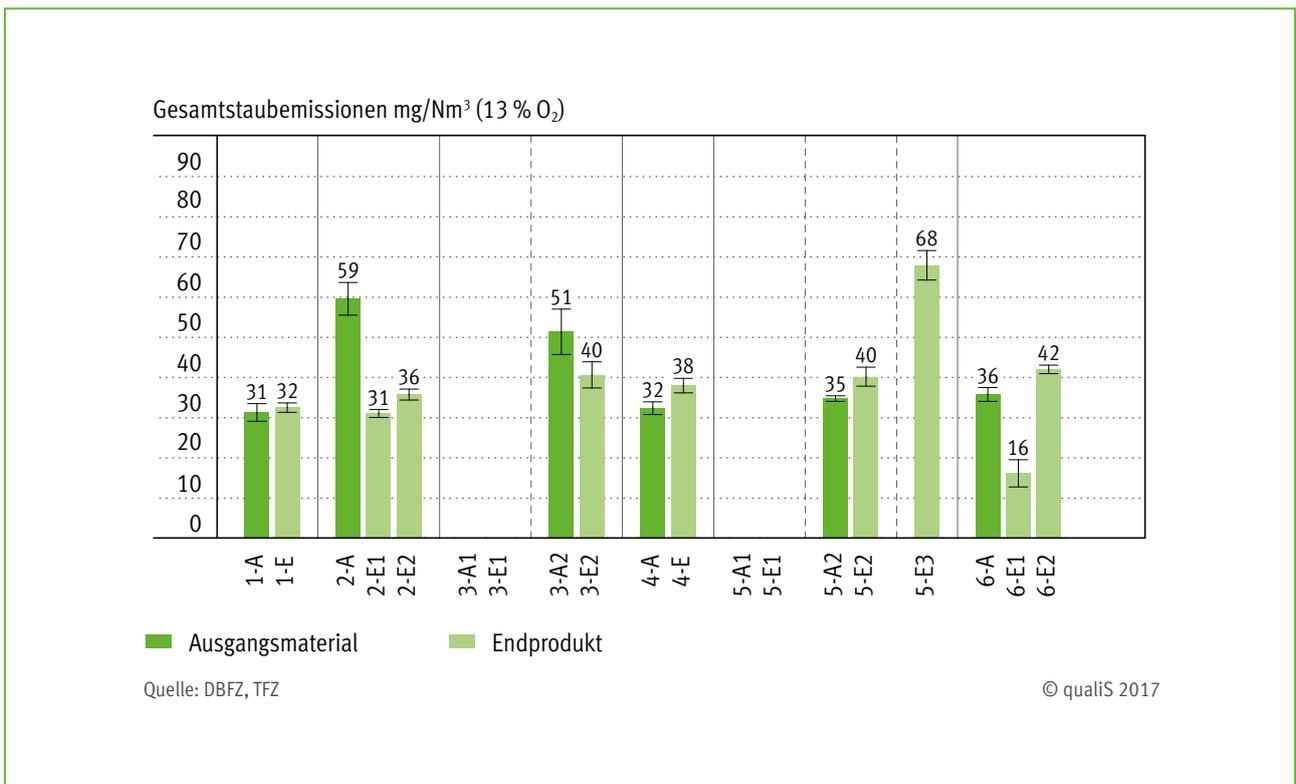


Abb. 8.8: Mittlere Gesamtstaubemissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Waldrestholzhackschnitzel aus sechs Fallstudien in Kessel 2 (± Standardabweichung)

8.4 Zusammenfassung und Empfehlungen für Nutzer von Feuerungen mit Qualitäts-hackschnitzeln aus Waldrestholz

Als Brennstoffe wurden nicht aufbereitete und aufbereitete Waldrestholzhackschnitzeln in einer 50 kW Kipprost- und einer 30 kW Treppenrostfeuerung (Kessel 1 bzw. 2) verbrannt und hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens analysiert. Anhand der Verbrennungsversuche konnte folgendes gezeigt werden:

I. Einfluss der Einstellung der Feuerungsanlage

- Eine optimale Einstellung der Feuerungsanlage kann zu einer deutlichen Reduktion der Emissionswerte führen. Daher ist idealerweise eine Optimierung auf die vorliegende Brennstoffqualität durchzuführen.

II. Die Brennstoffaufbereitung sichert einen störungsarmen Anlagenbetrieb und wirkt sich meist positiv auf einen vollständigen Ausbrand und die daraus resultierenden CO-Emissionen der Feuerungen aus.

- Eine Einhaltung des CO-Emissionsgrenzwertes der 1. BImSchV von 400 mg/m³ konnte bis auf wenige Ausnahmen durch die sekundäre Brennstoffaufbereitung sichergestellt werden.
- Eine Einhaltung des maximalen vom Hersteller angegebenen Brennstoffwassergehaltes ist eine wichtige Voraussetzung, um einen Anlagenbetrieb mit niedrigen CO-Emissionen zu gewährleisten.

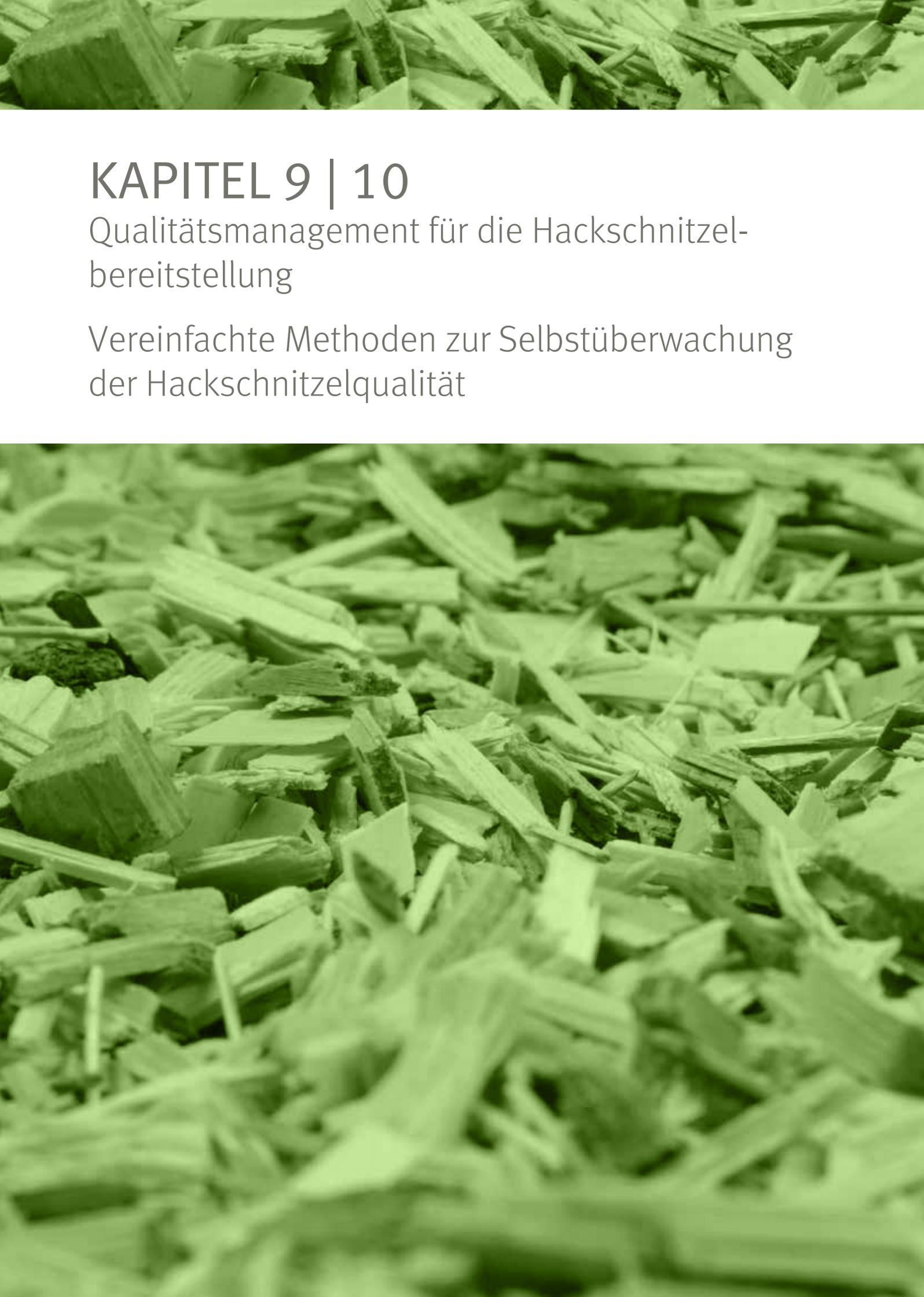
III. Es zeigte sich, dass durch eine sekundäre Brennstoffaufbereitung eine Verringerung der NO_x-Emissionen in Abhängigkeit vom eingesetzten Kessel erzielt werden kann.

- Die sekundäre Brennstoffaufbereitung ist vor allem dann sinnvoll, wenn technische Maßnahmen zur sekundären NO_x-Minderung wirtschaftlich nicht umsetzbar sind.
- Die Verringerung der NO_x-Emissionen ist direkt auf eine Reduzierung des Stickstoffgehalts, z. B. durch Reduzierung der Nadeln im Brennstoff zurückzuführen.

IV. Der Einfluss der Brennstoffaufbereitung auf die Höhe der Staubemissionen konnte nicht abschließend geklärt werden.

- Eine Einhaltung strenger Emissionsgrenzwerte für Staub (z. B. 0,02 g/m³ nach Stufe 2 der 1. BImSchV) ist bei der Verwendung von Waldrestholz nach einer sekundären Aufbereitung durch Siebung und Trocknung möglich, kann jedoch mit den verwendeten Feuerungen nicht immer gewährleistet werden.
- Dabei kann die sekundäre Brennstoffaufbereitung weitere Staubemissionsminderungsmaßnahmen (z. B. durch Staubabscheider besonders für Feuerungen im kleinen Leistungsbereich) unterstützen, wenn die Staubbeladung im Abgas reduziert wird.

Somit muss die Anwendung einer sekundären Brennstoffaufbereitung von Waldrestholzhackschnitzeln entsprechend der verfügbaren Holzsortimente und in Abhängigkeit von der verfügbaren Feuerungstechnik individuell entschieden werden.

The background of the entire page is a close-up, high-angle photograph of a large pile of light-colored wood chips. The chips are irregular in shape and size, with some showing the natural grain of the wood. The lighting is even, highlighting the texture and edges of the chips. The overall color palette is a range of light to medium greens, which is used as a background for the text.

KAPITEL 9 | 10

Qualitätsmanagement für die Hackschnitzel-
bereitstellung

Vereinfachte Methoden zur Selbstüberwachung
der Hackschnitzelqualität

9 QUALITÄTSMANAGEMENT FÜR DIE HACKSCHNITZELBEREITSTELLUNG

Für die Holzhackschnitzelherstellung und -bereitstellung ist die Einführung eines Qualitätsmanagements eine sinnvolle Maßnahme, um Brennstoffe gleichbleibender und nachvollziehbarer Qualität zu gewährleisten. Die DIN EN 15234-4 zur Qualitätssicherung von Hackschnitzeln bietet dabei eine gute Orientierungshilfe, mit deren Hilfe die verschiedenen Aspekte identifiziert und umgesetzt werden können. Die Norm wurde auch als Grundlage für die in diesem Kapitel dargestellten Übersichten zu Mess- und Kontrollpunkten und Maßnahmen entlang der Bereitstellungskette verwendet.

Außer der Norm zur Qualitätssicherung von Holzhackschnitzeln dienen folgende Normen als Grundlage für das Qualitätsmanagement des gesamten Produktionsprozesses:

- DIN EN ISO 17225-1: Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 17225-4: Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln
- DIN EN 15234-4: Feste Biobrennstoffe – Qualitätssicherung von Brennstoffen – Teil 4: Holzhackschnitzel für nichtindustrielle Verwendung
- DIN EN 14778: Feste Biobrennstoffe – Probenahme (wird ersetzt durch: DIN EN ISO 18135: Biogene Festbrennstoffe – Probenahme)
- DIN EN 14780: Feste Biobrennstoffe – Probenherstellung
- DIN EN ISO 17827-1: Biogene Festbrennstoffe – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung für unkomprimierte Brennstoffe – Teil 1: Horizontales Rüttelsiebverfahren mit Sieben mit einer Lochgröße von 3,15 mm und darüber
- DIN EN ISO 18134-2: Biogene Festbrennstoffe – Bestimmung des Wassergehaltes – Ofentrocknung – Teil 2: Gesamtgehalt an Wasser – Vereinfachtes Verfahren

Da die Möglichkeiten für den einzelnen Hersteller kleiner Brennstoffchargen oder den sogenannten Selbstversorger beschränkt sind, aber auch in diesen Fällen hohe Ansprüche an eine gleichbleibende und gut charakterisierte Qualität des Brennstoffes zu stellen sind, wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben, welche vereinfachten Möglichkeiten der Produzent oder Selbstversorger zur Qualitätssicherung anwenden kann. Der Aufwand dieser Methoden ist verhältnismäßig gering, das Verfahren ver-

läuft in Anlehnung an die oben genannten Normen, und eine ausreichende Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Standardmethoden konnte nachgewiesen werden.

Das hier beschriebene Qualitätsmanagement zielt auf zwei Hackschnitzelproduktionslinien ab. Zum einen liegt der Fokus auf einer Bereitstellungskette mit Aufbereitung. Diese ist meistens dann vorzufinden, wenn der logistische Aufwand der Aufbereitung in einem angemessenen Verhältnis zu der zu verarbeitenden Menge an Hackschnitzeln steht. Das trifft vor allem auf Großhändler und Wiederverkäufer von Hackschnitzeln, wie beispielsweise Biomassehöfe, zu. Zum anderen wird die Bereitstellungskette ohne weitere Schritte zur Brennstoffaufbereitung betrachtet. Diese ist dann vorzufinden, wenn der Aufwand einer Siebung und einer aktiven Trocknung aus Platz-, Zeit- und Aufwandsgründen nicht realisierbar ist. Ein typisches Beispiel dafür sind Selbstversorger. Die Qualitätssicherung für die Hackschnitzelbereitstellung ohne Aufbereitung und für Selbstversorger unterscheidet sich nur durch relativ wenige Prozessschritte von der Bereitstellungskette mit Aufbereitung.

Die Hackschnitzelbereitstellung kann allgemein in drei Hauptprozesse nach DIN EN 15234-4 unterteilt werden (siehe Abb. 9.1). Der erste ist die Bereitstellung von Rohstoffen, an den sich die Herstellung der Hackschnitzel anschließt. Der letzte Prozessschritt ist die Auslieferung der Hackschnitzel, die bei Selbstversorgern meist direkt nach dem Hacken erfolgt. Beim Endkunden/Selbstversorger erfolgt im Anschluss, falls keine Abwärmenutzung einer Biogasanlage möglich ist, häufig lediglich eine natürliche Trocknung durch Lagerung bis zum Verbrauch. Aufbereitungsschritte wie Siebung, aktive Trocknung oder eine Zwischenlagerung finden meist nur bei Hackschnitzelbereitstellern mit Aufbereitung statt.



Abb. 9.1: Aufteilung der Lieferkette von Holzhackschnitzeln nach DIN EN 15234-4

9.1 Schritte der Qualitätssicherung

Für die Frage, welche Parameter geeignet sind, die Qualität von Hackschnitzeln zu beschreiben, wurde die in der DIN EN ISO 17225-4 gegebene Parameterliste untersucht. Da in diesem Handbuch schwerpunktmäßig die Herstellung und Verwendung qualitativ relativ hochwertige Hackschnitzel im Vordergrund stehen, sind vor allem folgende Parameter maßgeblich:

- Wassergehalt,
- Partikelgrößenverteilung,
- Aschegehalt.

Verschiedene weitere Parameter, wie z. B. das Ascheschmelzverhalten oder der Natrium- und Kalium-Gehalt spielen vor allem für die Charakterisierung schlechterer Qualitäten eine Rolle. Die genannten Parameter werden in der Regel gemäß DIN EN ISO 17225-4 in entsprechend ausgestatteten Labors untersucht. Die Häufigkeit der Untersuchungen richtet sich nach Art und Menge der verwendeten Hackschnitzel. Die genannten Parameter sind auch ausschlaggebend, um die Brennstoffqualitäts-Vorgaben der 1. BImSchV einhalten zu können. Da ein direkter Zusammenhang zwischen den zu ermittelnden Parametern und der Brenn- und Emissionseigenschaften der Hackschnitzel besteht, kann anhand dieser drei Parameter direkt die Qualität des Brennstoffes beschrieben werden:

Wassergehalt

Je trockener die Hackschnitzel sind, umso besser erfolgt der Abbrand und umso heißer sind die Verbrennungstemperaturen im Feuerraum. Dies hat zur Folge, dass relativ geringe Emissionen von Kohlenstoffmonoxid (CO) zu erwarten sind. Außerdem ist der Heizwert direkt vom Wassergehalt abhängig, d. h. bei sinkendem Wassergehalt steigt die Energieausbeute. Allerdings sollte der anlagenbedingte Mindestwassergehalt für den optimalen Betrieb nicht unterschritten werden. Die aufgeführten Parameter sind bereits vor und während der Hackschnitzelproduktion und ebenfalls bei einer anschließenden Aufbereitung beeinflussbar. Bei der Qualitätskontrolle in den einzelnen Prozessschritten kann neben der Standardanalytik auch auf die in diesem Handbuch beschriebenen und an die geltenden Normen angelehnten vereinfachten Bestimmungsverfahren zurückgegriffen werden. Im Folgenden werden einzelne Schritte der Qualitätssicherung dargestellt. Dazu wurde die komplette Prozesskette angelehnt an die Norm DIN EN 15234-4 in die Abschnitte Rohstoffbereitstellung, Hackschnitzelerzeugung sowie Lagerung beim Endkunden aufgeteilt (siehe Abb. 9.1 und Kapitel 6).

Partikelgröße

Mit einem steigenden Feingutanteil können erhöhte Staubemissionen auftreten. Dies ist zum einen mit dem erhöhten Anteil an mineralischem Material im Feinanteil zu erklären und zum anderen mit der Möglichkeit, dass im Kessel kleine Partikel durch die Verbrennung mitgerissen werden können. Außerdem ist es möglich, dass Partikel mit dem Abgasstrom vorzeitig aus der Verbrennungszone ausgetragen werden und damit nicht vollständig verbrennen. Wie stark der Einfluss des Feingutanteil auf die Staubemissionen ist, hängt auch von der Konstruktion des Kessels und der Verbrennungsführung ab.

Aschegehalt

Da reines Stammholz einen Aschegehalt von deutlich unter 1 m-% aufweist, sind hohe Anteile Nadeln und/oder Rindenstücke, oder auch mineralische Verunreinigungen wie Sand maßgeblich für den Aschegehalt verantwortlich. Diese Anteile finden sich zu großen Teilen in der Feingutfraktion, sodass diese Fraktion den Gesamt-Aschegehalt der Hackschnitzel maßgeblich beeinflusst.

Die jeweiligen kritischen Kontrollpunkte und qualitätsbeeinflussenden Maßnahmen und Prüfmethode sind in den zugehörigen Tabellen erläutert. Für die Bereitstellung von Hackschnitzel mit Aufbereitung sind die meisten Prozessschritte identisch mit denen ohne Aufbereitung. Die zusätzlichen Prozessschritte, die sich aus der Aufbereitung ergeben sind mit einer gelb-orangen Einfärbung im Schema gekennzeichnet. Das hier abgebildete Schema bietet einen möglichst vollständigen Überblick über alle relevanten Prozesskettenglieder, wobei der Ablauf in einzelnen Schritten individuell von diesem Schema abweichen kann. Die angegebenen Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung sind dann sinngemäß auf die vorliegende Prozesskette zu übertragen.

Das erste Schema (siehe Abb. 9.2) zeigt einzelne Schritte der Bereitstellung von Holz für die spätere Weiterverarbeitung zu Hackschnitzeln. Neben der Beschreibung des Bereitstellungsprozesses werden kritische Kontrollpunkte aufgeführt, die Einfluss auf die Hackschnitzelqualität haben. In der zugehörigen Tabelle 9.1 wird vereinfacht gezeigt, welcher genannte Schritt der Bereitstellung auf welche der genannten Brennstoffeigenschaften Einfluss nimmt.



Abb. 9.2: Prozessbeschreibung zur Bereitstellung von Rohstoffen (angelehnt an DIN EN 15234-4)

Bereits durch die Herkunft und den Ursprung sind gewisse Eigenschaften des Materials vorgegeben. So unterscheidet sich beispielsweise das Stammholz einer hiebreifen Fichte aus dem Wald von dem Erntematerial einer 4-jährigen Kurzumtriebsplantage u. a. in den Brennstoffeigenschaften Aschegehalt und Wassergehalt des erntefrischen Materials. Auch die eingesetzte Erntemethode beeinflusst bereits die Qualität des späteren Produktes. So besteht bei der Ernte durch neuere Holzvollernter die Möglichkeit, den Rindenanteil des Einzelstammes mithilfe eines Fäll- und Entrindungskopfes zu minimieren. Dies trägt zur Reduzierung des Ascheanteils im späteren Produkt bei. Nach der Ernte und Bearbeitung des Holzes schließen, je nach Kompartiment

des geernteten Gehölzes, die Prozessschritte Holzrückung an. Sofern das geerntete Stammholz im Wald gerückt wird, kann es hierbei zu Verunreinigungen durch Anhaftungen von Bodensubstrat kommen und damit zur Erhöhung des Aschegehaltes. Beim Einschlag besteht auch die Möglichkeit, das Astmaterial gebündelt abzulegen, um es vor Ort zu trocknen und anschließend energetisch nutzen zu können. Durch die Abtrocknung kommt es zu einem Verlust an Nadeln und Reisig und damit zu einem gewissen Substanzverlust, der aber auch mit einer Verringerung des Aschegehaltes einhergeht. Auf der anderen Seite besteht hier die Gefahr der Verschmutzung des Materials. Generell ist beim späteren Verladen von Stammholz, Astmaterial oder anderen Baumkompartimenten darauf zu achten, dass die Verunreinigung möglichst minimal gehalten wird. Verschmutztes Material sollte ggf. im Wald verbleiben. Die Dauer der Lagerung sollte auf den für die angestrebte Trocknung notwendigen Zeitraum begrenzt werden, um unnötige Substanzverluste durch Zersetzungsprozesse zu vermeiden. Während des Transports des Ausgangsmaterials ist der Einfluss auf die Brennstoffqualität als gering einzustufen. Falls anschließend eine Lagerung erfolgt, bestehen weitere Möglichkeiten auf die Hackschnitzelqualität einzuwirken in Abhängigkeit von Art und Dauer der Lagerung (siehe Tab. 9.1).

Das zweite Schema (siehe Abb. 9.3) stellt den Ablauf der Hackschnitzelherstellung in einzelnen Prozessabschnitten dar.



Abb. 9.3: Prozessbeschreibung zur Herstellung von Hackschnitzeln (angelehnt an DIN EN 15234-4)

Tab. 9.1: Kontrollpunkte und Einfluss auf die Hackschnitzelqualität (Teil 1)

Prozesskettenglied	Kritische Kontrollpunkte	Einfluss auf die Hackschnitzelqualität
1 Biomasse	Holzart	<ul style="list-style-type: none"> • Strauchartige Biomasse, die feiner gegliedert ist als Stammholz und einen höheren Anteil an Rinde und Blätter/Nadel hat, besitzt dadurch einen erhöhten Aschegehalt. • Im Vergleich zu Nadelhölzern führt die Verwendung von Laubholz möglicherweise zu erhöhten Staubemissionen.
	Kompartiment der Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> • Die feingegliederte Biomasse von Baumkronen weist höhere Anteile an Rinde und Blätter/Nadel auf und dadurch einen erhöhten Aschegehalt. • Die Verwendung von weitgehend astfreiem und rindenarmen Stammholz reduziert den Aschegehalt.
2 Ernte	Untergrund	<ul style="list-style-type: none"> • Ein nasser Untergrund in Verbindung mit einem bindigen Boden kann zu mineralischen Anhaftungen am Holz führen (Verunreinigungen). • Ein gefrorener, bindiger Boden verringert die Anhaftungen.
	Witterung	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchte Witterung kann die Bindungsfähigkeit des Bodens erhöhen, was zu Anhaftungen am Holz und somit zu einem erhöhten mineralischen Anteil im späteren Hackgut führen kann. • Bei Niederschlag geerntetes Holz vor dem Hacken möglichst abtrocknen lassen.
	Erntetechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Bei der motormanuellen Ernte kann durch weitgehendes Entasten die Hackschnitzelqualität verbessert werden (Verringerung von überlangen Stücken durch Quereinzug im Hacker). • Durch den Einsatz eines Harvesters mit integrierter Entastungsfunktion kann die Rinde des Vollholzes durch ein scharf eingestelltes Werkzeug (Astungsmesser) teilweise direkt vor Ort entfernt und so der mineralische Anteil der Biomasse verringert werden.
3 Lagerung (Holz)	Untergrund	<ul style="list-style-type: none"> • Ein möglichst fester Untergrund verringert die Gefahr von mineralischen Anhaftungen. • Falls kein befestigter Untergrund zur Verfügung steht, kann alternativ Holz zum Aufbocken des Polters verwendet werden, welches nicht weiterverwendet wird und am Lagerort verbleibt. Bei Waldrestholz wird hierfür die unterste Lage im Wald gelassen. • Bei der Lagerung auf Schotter kann eine feste Unterlage ebenfalls vor Anhaftungen am Holz schützen.
	Dauer	<ul style="list-style-type: none"> • Mit der Dauer der Lagerung sinkt mit ausreichender Temperatur und Durchlüftung der Wassergehalt durch natürliche Trocknung. • Durch Niederschlag können Verunreinigungen abgewaschen werden. • Die Lagerungsdauer sollte jedoch nicht länger als eine Vegetationsperiode sein, da sonst die biologische Zersetzung zu hohen Verlusten und Qualitätseinbußen führen kann. • Hinsichtlich des Waldschutzes ist darauf zu achten, dass die Lagerung nur so lange dauert, dass eine Besiedelung bzw. der Wiederausflug von forstlichen Schadinsekten nicht begünstigt wird.

Dieser Teil der Hackschnitzelherstellung schließt an die Bereitstellung der Rohstoffe an und beinhaltet mehrere Abschnitte, die in jedem Produktionsprozess Anwendung finden.

Sofern nötig, beginnt die Hackschnitzelherstellung mit einer Vorbehandlung des eingesetzten Rohstoffes. Dies könnte beispielsweise eine Entrindung sein, was zur Minimierung des Aschegehaltes führt. Anschließend erfolgt der tatsächliche Produktionsprozess der Hackschnitzel – das Hacken (siehe auch Kapitel 6). Den größten Einfluss auf die produzierten Hackschnitzel hat die eingesetzte Maschinenteknik, also der Hacker. Bereits die Bauart des Hackers hat großen Einfluss auf die Qualität der Hackschnitzel. So erzeugen Schnecken-, Scheibenrad- und Trommelhacker allein aufgrund ihrer technischen Ausführung unterschiedliche Hackschnitzel. Dies trifft vor allem auf die Partikelgrößen und die Homogenität der Hackschnitzel zu. Zusätzlich ist der Zustand der eingesetzten Maschinenteknik ausschlaggebend für die Qualität der Hackschnitzel. Dies hängt jedoch wiederum unmittelbar mit dem eingesetzten Rohstoff zusammen. Sofern die Messer des eingesetzten Hackers entsprechend scharf sind und regelmäßig gewartet und nachgeschärft werden, lassen sich grundsätzlich relativ homogene Hackschnitzel produzieren. Ist jedoch das eingesetzte Ausgangsmaterial verunreinigt, werden die Messer des Hackers schneller stumpf und die Hackschnitzelqualität nimmt ab. Der Verschleiß der Messer hängt dabei auch von der eingestellten Schnittlänge ab. Je feiner gehackt wird, desto schneller verschleifen die Messer.

In der Praxis werden am häufigsten Trommelhacker verwendet. Dies gaben die Teilnehmer einer entsprechenden Studie in Bayern an [9-1]. Daneben werden auch Scheibenrad- und Schneckenhacker eingesetzt. [9-2].

Im Anschluss an die tatsächliche Herstellung von Hackschnitzeln kann ein weiterer Schritt zur Nachbehandlung anschließen (siehe auch Kapitel 7). Falls es als notwendig erachtet wird, können eine Siebung zur Abtrennung unerwünschter Partikelgrößenklassen und/oder eine Trocknung erfolgen. Eine Homogenisierung der Partikelgrößenverteilung hat zur Folge, dass durch das Fehlen relativ großer Hackschnitzel in einer Schüttung ebenfalls verhältnismäßig große Poren fehlen. Hierdurch ist die

Luftzirkulation eingeschränkt, welche zur Trocknung der Hackschnitzel zwingend erforderlich ist. Durch eine geringere Luftzirkulation erhöht sich außerdem die Gefahr einer verstärkten Selbsterwärmung. Diese Selbsterwärmung ist auf der einen Seite wesentlich für die Trocknung verantwortlich, führt aber auf der anderen Seite durch die zugrundeliegenden Zersetzungsprozesse zu einem Substanzverlust. Das Abtrennen des Feinanteils, vor allem des Grünanteils wie Nadeln und Blätter verringert die Gefahr einer übermäßigen Selbsterwärmung. Zudem ist hiernach eine bessere Luftzirkulation in der Schüttung/Halde gegeben und folglich eine schnellere Trocknung möglich. Je nach gegebenen Randbedingungen ist eine Siebung und damit Abtrennung des zersetzbaren Feinanteils vor der Trocknung eine Möglichkeit die oben beschriebenen Risiken auszuschließen.

Wenn eine Trocknung erfolgen soll, ist abzuwägen, welche Art der Trocknung wirtschaftlich und unter praktischen Aspekten am sinnvollsten umsetzbar ist. Für die Reduktion des Wassergehaltes in Hackschnitzel bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

- Technische Trocknung mit Wärmezufuhr,
- Natürliche Trocknung.

Eine technische Trocknung hat den Vorteil, dass sie relativ schnell abgeschlossen sein kann, sodass im Optimalfall ein lagerstabiler Hackschnitzel nach verhältnismäßig kurzer Zeit erzeugt wird. Allerdings bedarf es hier entsprechender Ausstattung, beispielsweise eines Trommelrockners o.ä. und eines wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Wärmekonzeptes.

Die natürliche Trocknung stellt eine relativ günstige Alternative zur technischen Trocknung dar, die allerdings viel Platz benötigt. Diese Art der Lagerung ist im Vergleich zur technischen Trocknung mit höheren Risiken verbunden. Bei der Zwischenlagerung vor und nach dem Aufbereiten können folgenden Risiken auftreten (vergleiche auch Kapitel 6):

- Substanzverlust durch biologische Prozesse (Verlustrisiko),
- Selbstentzündungs- und Brandrisiko (Gefährdungsrisiko),
- Pilzwachstum und Pilzsporenbildung (Gesundheitsrisiko),
- Geruchsbelästigung (Umweltrisiko),
- Wiederbefeuchtung bzw. Umverteilung des Wassergehaltes (Qualitätsrisiko).

Tab. 9.2: Kontrollpunkte und Einfluss auf die Hackschnitzelqualität (Teil 2)

Prozess-kettenglied	Kritische Kontrollpunkte	Einfluss auf die Hackschnitzelqualität
4 Vorbehandlung	Rinde	<ul style="list-style-type: none"> • Die Rinde kann durch den Einsatz einer Entrindungsmaschine, eines Fäll- und Entrindungskopfes am Harvester oder manuell entfernt werden.
	Sortierung	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolgt durch den Hackerfahrer. Wenn hierbei stark verschmutztes Holz aussortiert wird, sinkt der mineralische Anteil und so der Aschegehalt.
5 Hacken	Hackerbauart	<ul style="list-style-type: none"> • Für kleinere Stammdurchmesser können Schneckenhacker durch ihre Bauform oft bessere Hackschnitzelqualitäten liefern als Trommel- oder Scheibenradhacker (bezüglich Überlängen), da diese dazu neigen Reststücke mit in das Hackgut zu ziehen. • Der Einzugswalzendurchmesser ist für die Hackschnitzelqualität ebenfalls entscheidend: Walzen mit kleinerem Durchmesser können für einen gradlinigeren Einzug des Materials sorgen und liefern dadurch bessere Hackschnitzelqualitäten. • Der Austrag der Hackschnitzel mittels Förderband oder auch mit einem Gebläse mit vermindertem Druck kann eine Nachzerkleinerung verringern und damit auch den Feinanteil. • Zudem sollte die richtige Einzugs geschwindigkeit im Verhältnis zur Drehzahl des Schneidaggregats eingestellt werden, um die gewünschten Partikelgrößen zu erhalten.

Tab. 9.2: Kontrollpunkte und Einfluss auf die Hackschnitzelqualität (Teil 2) FORTSETZUNG

Prozess-kettenglied	Kritische Kontrollpunkte	Einfluss auf die Hackschnitzelqualität
5 Hacken	Hackerwartung	<ul style="list-style-type: none"> Nur durch regelmäßiges Schärfen bzw. Auswechseln der Hackermesser kann eine hohe Schnittqualität und damit qualitativ hochwertige Hackschnitzel gewährleistet werden. Mineralische Verunreinigungen des zu hackenden Holzes können die Standzeiten der Messer deutlich verkürzen.
	Hackerpersonal	<ul style="list-style-type: none"> Das Hackerpersonal ist so zu schulen, dass möglichst nur reines Holz ohne Anhaftungen für die Hackschnitzelproduktion genutzt wird. Beim Befüllen des Hackers ist auf einen konstanten und geraden Einzug des Hackgutes bis zum jeweiligen Ende des Holzstückes zu achten. Überfüllen des Hackers kann zu einem Rückstau der Hackschnitzel und damit zu einer Nachzerkleinerung durch wiederholtes Hacken führen. Die Intervalle für die Hackerwartung sollten eingehalten und je nach Bedingungen beim Hacken evtl. gekürzt werden.
	Witterung	<ul style="list-style-type: none"> Wird bei Niederschlag gehackt, kann der Wassergehalt der Hackschnitzel ansteigen. Wird anhaftendes Wasser (auch in Form von Eis oder Schnee) beim Hacken mitverarbeitet und im Hackgut verteilt, steigt dadurch der Wassergehalt der Hackschnitzel.
6 Transport	Transportfahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> Beim Transport von Hackschnitzel ist darauf zu achten, dass das Transportbehältnis sauber und frei von Störstoffen ist. Das kann zum einen die Erhöhung des mineralischen Anteils im Hackgut verhindern und sorgt zum anderen für weniger Störungen im Heizbetrieb. Ein sauberes Transportbehältnis (Anhänger oder Container) ist am ehesten gewährleistet, wenn es ausschließlich für den Hackschnitzeltransport eingesetzt wird. Falls das nicht möglich ist, muss nach einem Wechsel das Transportbehältnis gründlich kontrolliert und evtl. gereinigt werden.
	Verladung (im Wald)	<ul style="list-style-type: none"> Die Verladung sollte nach Möglichkeit direkt durch den Hacker erfolgen. (Abbunkern in das Transportbehältnis) Ist eine Zwischenlagerung der Hackschnitzel im Wald notwendig, siehe Punkt 8. Beim Verladen mit einem Radlader nach einer Zwischenlagerung im Wald ist darauf zu achten, dass nur unverschmutzte Hackschnitzel und keine Bodenpartikel und Steine in das Hackgut gelangen.
	Verladung (beim Aufbereiter)	<ul style="list-style-type: none"> Nach einer Zwischenlagerung werden die Hackschnitzel durch die Umlagerung beim Verladen und Abladen homogenisiert, z. B. können dadurch unterschiedliche Wassergehalte zwischen Haldeninnerem und äußeren Schichten ausgeglichen werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Hackschnitzel nicht undurchmischt verladen werden (z. B. nur die oberste Schicht einer Halde). Beim Verladen mit einem Radlader nach einer Zwischenlagerung ist darauf zu achten, dass nur unverschmutzte Hackschnitzel und keine Bodenpartikel und Steine in das Hackgut gelangen.
	Witterung	<ul style="list-style-type: none"> Beim Transport der Hackschnitzel ist das Transportbehältnis (Anhänger oder Container) bei schlechter Witterung abzudecken, sodass die Hackschnitzel nicht nass werden und die Hackschnitzelqualität verschlechtert wird.
7 Aufbereitung	Siebung	<ul style="list-style-type: none"> Ein Ziel der Siebung ist die Verringerung des Feinanteils und des damit verbundenen mineralischen Anteils und der Nadeln. Dabei ist die Maschenweite so zu wählen, dass der Feinanteil und die mineralischen Anteile abgeseibt werden, aber möglichst wenig aus der Hauptfraktion entfernt wird. Ein weiteres Ziel ist das Absieben der Überlängen, die eine Hauptursache für Störungen in der Brennstoffzufuhr von Heizungsanlagen darstellen. Das Fließverhalten verbessert sich ebenfalls durch die Konfektionierung. Ob die gewünschten Qualitätsanforderungen nach dem Sieben erreicht wurden oder ob überhaupt eine Siebung notwendig ist, kann mit der in diesem Handbuch vorgestellten vereinfachten Methode ermittelt werden.
	Trocknung	<ul style="list-style-type: none"> Da der Wassergehalt maßgebend für die Verbrennungseigenschaften und damit für das Emissionspotenzial der Hackschnitzel ist, sollte dieser möglichst im optimalen Bereich für die jeweilige Feuerungsanlage liegen. Durch (vorwiegend technische) Trocknung kann im Allgemeinen die Hackschnitzelqualität verbessert werden. Die Qualitätskontrolle kann nach dem vereinfachten Verfahren zur Wassergehaltsbestimmung nach diesem Handbuch erfolgen und sollte vor und nach dem Trocknungsvorgang durchgeführt werden.
8 Zwischenlagerung	Untergrund	<ul style="list-style-type: none"> Ein fester, sauberer Untergrund verringert die Gefahr von Verunreinigungen durch Störstoffe wie Steine o. ä., verbessert so die Hackschnitzelqualität und beugt Betriebsstörungen im Heizbetrie vor.
	Witterungsschutz	<ul style="list-style-type: none"> Eine Abdeckung der Halde oder die Lagerung in einer Halle verhindert die Befeuchtung durch Niederschlag, ermöglicht so häufig einen schnelleren Trocknungsvorgang. Da diese Lagerung meist nach einer Trocknung stattfindet, ist ein witterungsgeschützter Lagerplatz sehr zu empfehlen. Zudem kann es bei niedrigen Außentemperaturen zur Bildung einer Kondensationsschicht kommen.
	Dauer	<ul style="list-style-type: none"> Bei längerer Lagerungsdauer begünstigt erhöhte Feuchtigkeit Abbauprozesse (Verrottung) von unerwünschtem Grünanteil (Laub und Nadeln). Diese Anteile sollten im Anschluss abgeseibt werden, ggf. nach einem erneuten Trocknungsschritt, da das Absieben von trockenem Feinmaterial deutlich besser funktioniert als von feuchtem Material. Da sich die Qualität während der Lagerung hinsichtlich des Wassergehaltes ändern kann, sollte dieser von Zeit zu Zeit kontrolliert werden. Dafür kann auch die in diesem Handbuch vorgestellte vereinfachte Methode verwendet werden.

Tab. 9.3: Kontrollpunkte und Einfluss auf die Hackschnitzelqualität (Teil 3)

Prozesskettenglied	Kritische Kontrollpunkte	Einfluss auf die Hackschnitzelqualität
9 Lagerung beim Endverbraucher	Witterungsschutz	<ul style="list-style-type: none"> Um eine gleichbleibende Hackschnitzelqualität während der Heizperiode zu garantieren, sollte ein Witterungsschutz an dieser Stelle obligatorisch sein.
	Dauer	<ul style="list-style-type: none"> Die Lagerdauer der Hackschnitzel sollte ein Jahr nicht überschreiten.
	Lagerort	<ul style="list-style-type: none"> Die Lagerstätte sollte möglichst so ausgeführt sein, dass eine Verunreinigung während der Lagerung und bei der Befüllung der Heizanlagen ausgeschlossen werden kann.

Ausführliche Details zur Lagerung von Hackschnitzeln liefern Hartmann [9-3] und Bosch et al. [9-4]. Die entsprechenden kritischen Kontrollpunkte und der Einfluss auf die Hackschnitzelqualität für die Herstellung von Hackschnitzeln sind in Tabelle 9.2 dargestellt (Nur in Bereitstellungsketten **mit** Aufarbeitung anfallende Prozessschritte sind in Abbildungen und Tabellen in gelborange dargestellt).

Das dritte Schema (siehe Abb. 9.4) stellt mit der Auslieferung (falls zutreffend) und der Hackschnitzellagerung beim Endkunden den letzten Schritt der Hackschnitzelbereitstellung dar.

Da ein erneuter Transport der Hackschnitzel nur nach einer Aufbereitung und damit Zwischenlagerung notwendig wird, sind die kritischen Kontrollpunkte dieses Prozesskettengliedes identisch mit denen bei der Herstellung der Holzhackschnitzel.

Bei der Lagerung der Hackschnitzel beim Endkunden treten ebenfalls dieselben Risiken auf wie bei der Zwischenlagerung (s. o). Die wichtigsten Punkte, die beim Transport beachtet werden sollten, sind die Sauberkeit des Transportbehältnisses und die Verladung von homogenisierten Hackschnitzeln. Der witterungsgeschützte Transport ist bei zu erwartenden Niederschlag ebenfalls qualitätsbeeinflussend. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass die Lagerung nicht über ein Jahr dauert und Verunreinigungen und Feuchtigkeit vermieden werden. Weitere Anhaltspunkte zur richtigen Lagerung von Holzhackschnitzeln liefern Bosch et al. [9-3]. Die kritischen Kontrollpunkte und der Einfluss auf die Hackschnitzelqualität sind in den entsprechenden Tabellen zu finden (siehe Tab. 9.2 und 9.3).



Abb. 9.4: Prozessbeschreibung zur Auslieferung von Hackschnitzeln (angelehnt an DIN EN 15234-4)

9.2 Kontrollpunkte und Qualitätssicherungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Qualitätssicherung an den entsprechenden Kontrollpunkten erfolgen unabhängig vom Bereitstellungsverfahren. Analog zu den Prozesskettenbeschreibungen mit kritischen Kontrollpunkten sind bei den Qualitätssicherungsmaßnahmen die Teile, die nur für die Aufbereitung relevant sind im Schema relevant, im Schema gelborange hinterlegt. Die restlichen Maßnahmen an einzelnen Prozessschritten gelten sowohl für Prozessketten mit als auch ohne Aufbereitungsschritte wie Sieben und Trocknen mit Fremdenergiezufuhr.

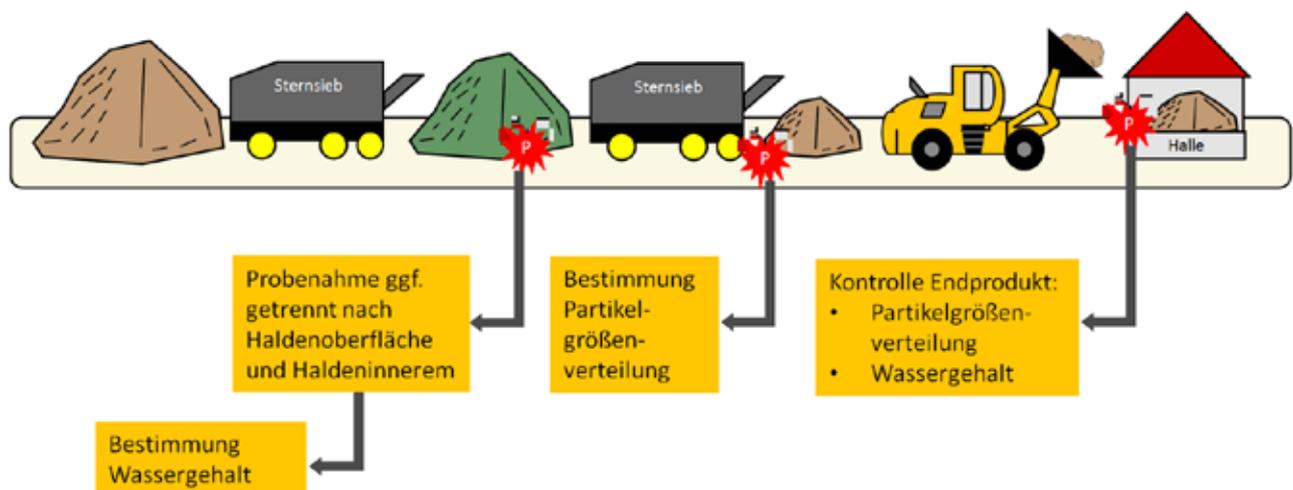


Abb. 9.5: Probenahmepunkte (P) bei der Aufbereitung (Beispiel)

In Tabelle 9.4 werden die wichtigsten Kontrollpunkte in Verbindung mit den entsprechenden Qualitätssicherungsmaßnahmen aufgeführt. Die mit einbezogenen vereinfachten Bestimmungsmethoden sind dabei als eine sinnvolle Ergänzung zu den Standardmethoden nach Norm zu verstehen und können diese nicht ersetzen.

Die beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätssicherung, besonders bei der Hackschnitzelbereitstellung mit Aufbereitung, sind maßgebliche Voraussetzung für die Produktion qualitativ hochwertiger Hackschnitzel, wobei die Probenahme und Untersuchung der relevanten Parameter an den kritischen Punkten des Prozesses entscheidend sind. Für ein Beispiel einer Hackschnitzelaufbereitung sind die wichtigsten drei Probenahmepunkte für eine optimale Qualitätssicherung in Abbildung 9.5 dargestellt. Je nach individuellem Prozessablauf der Aufbereitung können andere Kontrollpunkte für die Probenahme sinnvoll sein. Im dargestellten Beispiel sollte die erste Probenahme nach bzw. während der Trocknung erfolgen. Durch Ermittlung des Wassergehaltes

der Hackschnitzel können so Rückschlüsse auf den Trocknungsfortschritt gezogen und der Aufbereitungsprozess angepasst werden, d. h. in diesem Fall möglicherweise eine Änderung der Trocknungsdauer. Der zweite sinnvolle Probenahmezeitpunkt ist im Anschluss an die abschließende Siebung. Mit der anschließenden Analyse der Partikelgrößenzusammensetzung wird zum einen kontrolliert, ob die Verringerung des Feinanteils den Erfordernissen entspricht und zum anderen, ob das Entfernen von Überlängen erfolgreich war. Der letzte Kontrollpunkt für eine Probenahme und Qualitätsbestimmung ist die Lagerung des aufbereiteten Produktes nach einer eventuellen Zwischenlagerung während des Aufbereitungsprozesses. Durch die Kontrolle des Endproduktes hinsichtlich Wassergehalt und Partikelgrößenzusammensetzung erfolgt der entscheidende Schritt der Qualitätssicherung des Produktes. Mit den entsprechenden Analysen und der Dokumentation der Ergebnisse kann die erzielte Qualität gegenüber dem Kunden nachgewiesen werden. Bei Abweichungen von der gewünschten Qualität ermöglicht diese Kontrolle

Tab. 9.4: Kontrollpunkte und Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Hackschnitzelherstellung

Prozessabschnitt/ Teilprozess	Maßnahme zur Qualitätsoptimierung	Einfluss auf die Qualität durch:	Qualitätssicherungsmaßnahme
Ernte des Rohstoffs	geeignete Baumartenauswahl bzw. Holzsortimente	Minimierung von Aschegehalt, Wassergehalt, und Grünanteil, Erhöhung der Lagerstabilität als Folge	Prüfung vor und während der Ernte
Ernteprozess	Auswahl eines geeigneten Ernteverfahrens	Minimierung des Aschegehalts durch geringeren Rindenanteil, Grünanteil und Reduzierung der Verschmutzungsgefahr (Störstoffe)	Anleitung des Personals zur Reduzierung des Rindenanteils oder Grünanteils im Zuge der Ernte (Wenn vorhanden entsprechende Einstellung des Fäll- und Entrindungskopfes am Harvester, weitgehende Aufastung bei motormanueller Ernte, Reduzierung des Nadel-/Blattanteils bei Wiederaufnahme von Astmaterial nach Lagerung)
Lagerung (Holz)	Poltern oder Ablegen auf möglichst sauberem Untergrund, Lagerungsdauer nicht länger als eine Vegetationsperiode oder entsprechend forsthygienischer Vorgaben	Abtrocknung, Minimierung des Aschegehalts durch geringeren Rindenanteil, Grünanteil und Reduzierung der Verschmutzungsgefahr (Störstoffe)	Auswahl eines geeigneten Lagerplatzes, visuelle Prüfung auf Verunreinigungen und Zustand des Holzes nach Lagerung
Produktion/ Hacken	Auswahl geeigneter Technik, kontinuierliche Wartung, Einsatz geeigneten Personals, Personalschulung	Anpassung der Partikelgrößen, glattkantige Partikelform, Lagerstabilität	Siebung zur Kontrolle der Partikelgrößenverteilung in Anlehnung an DIN EN ISO 17827-1, genaue Betrachtung des Feinanteils (siehe Kapitel 10)
Transport	Auswahl geeigneter, sauberer Technik, kontinuierliche Überprüfung der Sauberkeit, Personalschulung	Reduzierung der Verschmutzungsgefahr (Störstoffe)	Sicherstellen, dass nur saubere Transportbehältnisse eingesetzt werden
technische oder natürliche Trocknung	Auswahl eines wirtschaftlich vertretbaren Verfahrens, natürliche Trocknung mit oder ohne Abdeckung, ggf. unter Dach, je nach Verfügbarkeit von Lagerfläche	Reduktion des Wassergehalts, Erhöhung der Lagerstabilität, Substanzverlust	Vereinfachte Wassergehaltsbestimmung in Anlehnung an DIN EN ISO 18134-2 (siehe Kapitel 10)
Siebung	Absiebung von Feinanteil und Überlängen	Minimierung von Staubemissionen, Beeinflussung des Fließverhaltens	Vereinfachte Siebung zur Kontrolle der Partikelgrößenverteilung in Anlehnung an DIN EN ISO 17827-1 (siehe Kapitel 10)
Lagerung (HHS)	Lagerung auf möglichst sauberem Untergrund, trockene Lagerung	Verhindern von Wiederbefeuchtung durch Niederschlag, und Reduzierung der Verschmutzungsgefahr (Störstoffe)	Vereinfachte Wassergehaltsbestimmung in Anlehnung an DIN EN ISO 18134-2 (siehe Kapitel 9) Vereinfachte Siebung zur Kontrolle der Partikelgrößenverteilung in Anlehnung an DIN EN ISO 17827-1 (siehe Kapitel 10)

entsprechende Korrekturen, wie z. B. eine Nachrocknung um Reklamationen und Unzufriedenheit von Kunden zu vermeiden. Die zu untersuchenden Parameter an den Kontrollpunkten können im Rahmen einer Selbstkontrolle entweder nach geltender Norm oder mit den in Kapitel 10 beschriebenen, vereinfachten Verfahren bestimmt werden. Bei den Probenahmen kann ebenfalls nach der Norm DIN EN ISO 18135 oder nach dem in Kapitel 10 beschrieben etwas vereinfachten Verfahren zur Probenahme vorgegangen werden.

9.3 Ergänzende Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung

Neben den qualitätssichernden Maßnahmen während des Aufbereitungsprozesses haben auch die anderen Anteile der Prozesskette zur Hackschnitzelbereitstellung Einfluss auf die Hackschnitzelqualität. Die entsprechenden kritischen Kontrollpunkte der einzelnen Prozesskettenglieder können bei Beachtung zur Prozessoptimierung und damit zur Qualitätssicherung bzw. Qualitätsverbesserung beitragen. Die zugehörigen Tabellen für die jeweiligen Prozessketten geben Auskunft über die zu beachtenden Parameter (siehe Tab. 9.2, 9.3 und 9.4). Ergänzende Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung und damit zur Emissionsminderung beim Heizen können vom Kunden durchgeführt werden. Dieser kann z. B. durch die Überprüfung der Hackschnitzelqualität mit den in Kapitel 10 beschriebenen Methoden zukünftig qualitätsorientierter einkaufen und so die angebotene Hackschnitzelqualität allgemein verbessern.

Eine weitere Möglichkeit zur Qualitätsverbesserung stellt die Dokumentation im Sinne eines Qualitätsmanagements dar. Diese ist sehr hilfreich, um Fehlerursachen zu finden, z. B. wenn Hackermesser auffällig oft verschleifen in Verbindung mit bestimmten (verschmutzten) Holzsortimenten. Zudem ist der Nachweis der Produktqualität immer dann vorteilhaft, wenn es zu Konflikten mit Kunden oder Lieferanten bzw. Zwischenhändlern kommt.

einem Formblatt zum Eintragen der Messergebnisse (siehe Abb. 10.1) und das Excel-Auswertblatt zum Herunterladen sind zu finden unter: www.qualis-holzenergie.de

Abb. 10.1: Formblatt zur Auswertung der vereinfachten Verfahren

10.1.1 Probenahmen angelehnt an die DIN EN ISO 18135 (bisher: DIN EN 14778)

Durch die Probenahme soll eine Hackschnitzelprobe gewonnen werden, die repräsentativ für die gesamte Charge (Halde, Lager, etc.) ist. Zu diesem Zweck wird eine bestimmte Anzahl von Einzelproben von verschiedenen Stellen einer Charge genommen und zu einer Gesamtprobe vereinigt. Nach dem Mischen werden daraus Anteile für die Bestimmung von Wassergehalt und Partikelgrößenverteilung entnommen.

Da es sich bei Hackschnitzeln um einen sehr inhomogenen Brennstoff handelt, ist die Probenahme mit großer Sorgfalt durchzuführen. Wichtige Voraussetzung für eine repräsentative Probe ist eine optisch relativ einheitliche Charge, z. B. ohne erkennbar unterschiedliche Zonen mit und ohne Grünanteil oder durch Regen durchnässte Hackschnitzel an der Halde-Oberfläche. Bei größeren Unterschieden und inhomogenen Chargen sollten je Bereich getrennt Proben entnommen und untersucht werden oder die Charge wird vor der Probenahme durch Umlagerung und Durchmischung homogenisiert.

Von einer augenscheinlich einheitlichen Charge wird sowohl für die Entnahme aus dem fallenden Strom als auch für die Probenahme aus der Halde eine bestimmte Anzahl von Einzelpro-

ben genommen. Die Mindestanzahl der Einzelproben hängt von der Größe der Charge ab, ihr Mindestvolumen hängt von der Partikelgröße ab (siehe Tab. 10.1 und 10.2).

Tab. 10.1: Anzahl der Proben

Anzahl der Einzelproben	
Chargengröße	Probenanzahl
$m \leq 10 \text{ t}$	10 (5*)
$10 \text{ t} < m \leq 30 \text{ t}$	11 (5*)
$30 \text{ t} < m \leq 100 \text{ t}$	15 (8*)

* Anzahlen in Klammern gelten für Probenahme aus dem fallenden Strom

Tab. 10.2: Volumen der Proben

Volumen der Einzelproben	
Partikelgrößenklasse	Probenvolumen
P16/P16S	1,5 l
P31/P31S	2,5 l
P45/P45S	3 l

Für die Durchführung der Probenahme sind alle notwendigen Aspekte des Arbeitsschutzes zu beachten, z. B. das Einhalten eines entsprechenden Sicherheitsabstandes bei der Probenahme während des Abkippens vom LKW.

Sofern die Möglichkeit besteht, Proben aus dem fallenden Strom, z. B. beim Abladen von einem LKW oder dem Abwurf von einem Förderband, zu entnehmen, ist diese Möglichkeit zu bevorzugen. Die Probenahme sollte am besten mit einem geeigneten Probenahmekasten erfolgen (siehe Abb. 10.2). Steht dieser nicht zur Verfügung, kann auch ein entsprechend großer Eimer zur Entnahme der Probe aus dem fallenden Strom verwendet werden. Zur Entnahme einer repräsentativen Probemenge werden von dem fallenden Material in regelmäßigen Zeitabständen volumengleiche Einzelproben genommen (Anzahl/Volumen der Einzelproben: siehe Tab. 10.1 und 10.2).

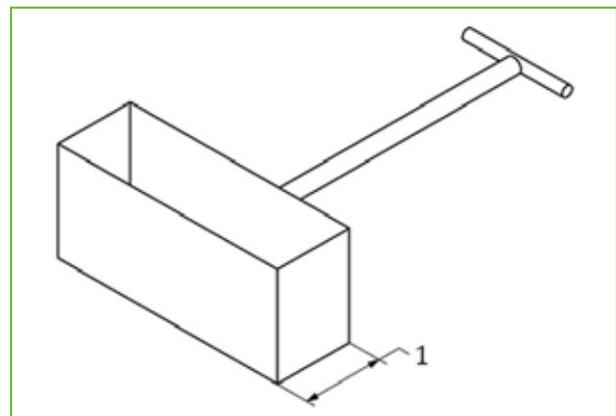


Abb. 10.2: Muster für Probenahmekasten zur Probenahme aus fallendem Strom (Länge 1: 2,5-fache der Partikelgröße der Hauptfraktion) (entnommen aus [10-1])

Steht die Möglichkeit nicht zur Verfügung, die Probe aus dem fallenden Strom zu nehmen, muss die Probenahme von der Halde erfolgen. Dazu wird eine entsprechend breite Schaufel benötigt (siehe Abb.10.3).



Abb. 10.3: Muster für Schaufel zur Probenahme von Halde (Breite: mind. 2,5-fache der Partikelgröße der Hauptfraktion) (entnommen aus [10-1])

Bei der Beprobung einer Halde sind von allen Teilen der Halde Einzelproben zu entnehmen, die anschließend zu einer Mischprobe vereint werden. Die Stellen, an denen Proben idealerweise zu entnehmen sind, sollten möglichst so gewählt werden, dass alle Bereiche einschließlich des Haldeninneren berücksichtigt werden. Eine beispielhafte Verteilung der Probenahmepunkte für eine möglichst gleichmäßige Beprobung der Halde gibt Abbildung 10.4 wieder.

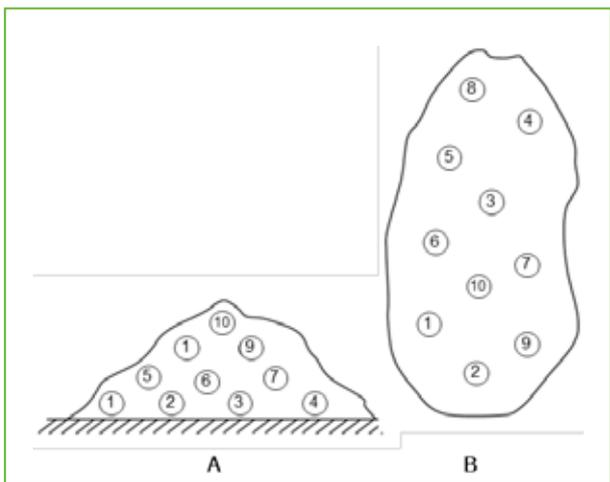


Abb. 10.4: Probenahmepunkte an einer Halde; Seitenansicht (A), von oben (B)

Wichtig ist auch, keine Verunreinigungen vom Boden in die Probe zu bekommen. Um an die unteren Probenahmepunkte zu gelangen, ist meist der Einsatz eines Radladers oder ähnlicher Hilfsmittel erforderlich. Die max. Haldengröße, die als eine Partie betrachtet werden darf, umfasst ca. 100 t. Größere Halde sind in Teilpartien zu unterteilen und getrennt zu untersuchen.

Die Einzelproben werden im Anschluss auf einer glatten, sauberen und trockenen Fläche zu einem Kegel aufgeschüttet und ein- oder besser zweimal mit einer Schaufel zu einem neuen Kegel umgeschaufelt. Die Spitze des Kegels wird abgeflacht

und der Kegel geviertelt, wobei 2 gegenüberliegende Viertel verworfen und die beiden anderen Viertel unter erneutem Vermischen zu einem neuen Kegel angehäuft werden (siehe Abb. 10.5). Bei Bedarf wird der Vorgang wiederholt, bis die restliche Probe die gewünschte Menge aufweist (4 l für die Partikelgrößenverteilung, 1–2 l für die Wassergehaltsbestimmung). Um eine Veränderung des Wassergehaltes bei der Probenahme zu vermeiden sind folgende Regeln zu beachten:

- Zügiges Arbeiten
- Zwischenlagerung der Einzelproben bis zur Probenreduktion geschützt vor Regen oder Austrocknung, z. B. durch Lagerung in abgedeckten Eimern

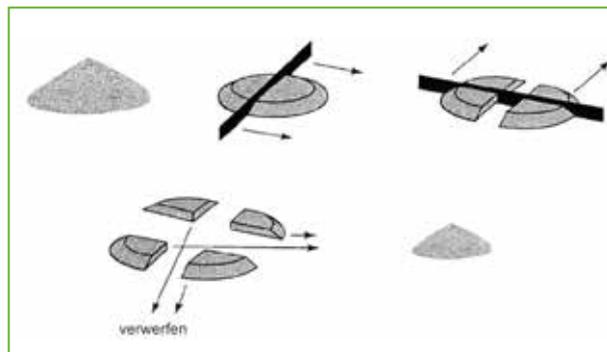


Abb. 10.5: Schritte zur Verringerung des Probevolumens (entnommen aus [10-2])

10.1.2 Bestimmung des Wassergehaltes

Die Bestimmung des Wassergehaltes kann nach DIN EN ISO 18134-2 erfolgen. Falls die dafür erforderlichen Mittel nicht zur Verfügung stehen, kann für eine Abschätzung des Wassergehaltes der Hackschnitzel die im folgenden vorgestellte Methode (Backofenmethode), angelehnt an die Norm, verwendet werden. Für die Bestimmung nach dem vereinfachten Verfahren werden folgende Materialien benötigt:

- Backofen mit Umluft-Funktion, bevorzugt in Standardbreite 60 cm für guten Luftaustausch
- Backblech, geeignet für den Umluftbetrieb
- Min-/Max-Thermometer (Temperaturverträglichkeit und Skala bis mindestens 120 °C)
- Waage (Ablesbar auf 0,1 g; Kapazität: mindestens 2 kg)
- ca. 300 g Hackschnitzel

Für die vereinfachte Wassergehaltsbestimmung werden ca. 300 g Hackschnitzel verwendet, die unmittelbar nach der Probenahme (siehe Kapitel 10.1.1) verwendet oder bis zur Bestimmung des Wassergehaltes luftdicht verpackt werden, um ein Abtrocknen der Probe zu verhindern. Bevor die eigentliche Trocknung im Ofen stattfinden kann, muss zunächst die richtige Temperatureinstellung für den jeweiligen Ofen gefunden werden, da diese stark von der aufgedruckten Skala abweichen kann.

Dazu wird die Ofentemperatur auf 105 °C eingestellt und mit der Umluft-Funktion auf die vorgesehene Temperatur aufgeheizt. Ist die eingestellte Solltemperatur erreicht, wird ein Min-/Max-Thermometer in den Ofen gelegt. Nach ca. 30 Minuten sollte anhand des Thermometers überprüft werden, ob die Temperatur immer unter 120 °C geblieben ist und ob die mittlere Temperatur bei etwa 105 °C lag. Bei Bedarf muss das Verfahren mit geänderter Temperatureinstellung des Ofens wiederholt werden bis die ge-

messenen Temperaturen den Solltemperaturen entsprechen. Sind danach die individuelle Einstellung für den Backofen bekannt, kann der Wassergehalt nach der vereinfachten Methode bestimmt werden. Dazu wird nach folgenden Schritten vorgegangen:

1. Das leere, trockene und kalte Backblech auf die Waage legen und die Masse im Formblatt notieren.
2. Ca. 300 g Hackschnitzel auf das Backblech schütten, gleichmäßig ausbreiten und sofort wiegen. Die Masse vom Backblech mit der frischen Probe ablesen und im Formblatt notieren.
3. Das Backblech in den kalten Ofen stellen, Ofen auf Umluftbetrieb einschalten, Temperaturregler auf erprobte Temperatur einstellen und ca. 24 Stunden heizen. Bei sehr frischem/feuchtem Holz in Abständen mehrmals die Ofentür öffnen, dass der Wasserdampf entweichen kann (Vorsicht heißer Dampf!).
4. Nach 24 Stunden das Backblech herausnehmen, 15 Minuten abkühlen lassen und wieder wiegen. Die Masse vom Backblech mit der trockenen Probe ablesen und im Formblatt notieren.

Für die Analyse des Wassergehaltes sind folgende Sicherheitshinweise zu beachten:

- Die Zulässigkeit des unbeaufsichtigten Betriebs des verwendeten Ofens ist bei dem Hersteller zu erfragen. Für Schäden, z. B. durch Fehlfunktionen kann von den Verfassern dieser Anleitung keine Haftung übernommen werden.
- Sicherstellen, dass die Temperatur nie über 120 °C steigt!
- Hackschnitzel mit sichtbaren Anteilen von Laub oder Nadeln bei ca. 60 °C vortrocknen, sonst besteht Brandgefahr!

10.1.3 Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und des Feinanteils

Für die vereinfachte Bestimmung der Partikelgrößenverteilung wird eine Siebung per Hand durchgeführt. Dieses manuelle Siebverfahren erfasst die wichtigsten Kriterien zur Klassifikation von Holz hackschnitzeln. Um den Aufwand der manuellen Siebung in vertretbaren Grenzen zu halten, wird neben Feinanteil und Übergrößen nur der Hauptanteil entsprechend der erwarteten Klasse ermittelt, nicht wie bei der Siebung nach DIN EN ISO 17827-1 offen für alle Klassen. Bei Bedarf muss daher eine zweite Siebung mit dem entsprechend geänderten Sieb für die Hauptfraktion erfolgen. Durch die kürzere Siebdauer (4 min) und die geringere Rüttelbewegung im Vergleich zum Verfahren nach Norm können geringfügige Minderbefunde beim Feinanteil und der Hauptfraktion auftreten (siehe Kapitel 10.1.4).

Für die Partikelgrößenverteilung und die Bestimmung der Partikelgrößenklasse angelehnt an die Norm werden die folgenden Materialien benötigt:

- 2 l Messbecher
- Waage (Ablesbarkeit: 0,1 g, Kapazität: mind. 2 kg)
- 2 Analysensiebe (ø: 300 mm; Loch-ø: 3,15 mm und Loch-ø der Hauptfraktion, z. B. 16 mm für P16/P16S)
- Auffangschale für die Fraktion < 3,15 mm
- Stoppuhr
- Transparente Schablone mit cm²-Muster oder Lineal
- Formblatt und Excel-Auswertblatt

4 l Probe werden in einem größeren Gefäß (z. B. Backblech) ausgebreitet und an einem gut gelüfteten Ort zum Trocknen stehen gelassen. In der Regel ist die Probe nach 1–3 Tagen (je nach Wassergehalt) ausreichend abgetrocknet, sobald sich die

Hackschnitzel trocken anfühlen oder wenn sich die Masse der Probe bei zweimaligem Wiegen im Abstand von einer Stunde um höchstens 5 g unterscheidet. Die Vortrocknung dient dazu, dass keine kleinen Partikel an anderen haften bleiben und dass kein nennenswerter Masseverlust durch Abtrocknen während der Siebung auftritt. Für die anschließende vereinfachte Einteilung der Hackschnitzel in Partikelgrößenklassen führt man die folgenden Arbeitsschritte durch:

1. Auffangschale, 3,15 mm-Sieb und das Sieb für die Hauptfraktion übereinander stecken und auf eine glatte Arbeitsfläche stellen.
2. Für den ersten Durchgang 2 l Probe in einen Messbecher füllen, die Probe wiegen (Tara des Messbechers abziehen) und dann auf das obere Sieb schütten.
3. Die Siebe mit der Probe 4-mal je eine Minute durch Hin- und herschieben sieben. Nach jedem Intervall das Sieb um ein Viertel drehen, damit sich die Bewegungsrichtung der Partikel ändert (siehe Abb. 10.6).

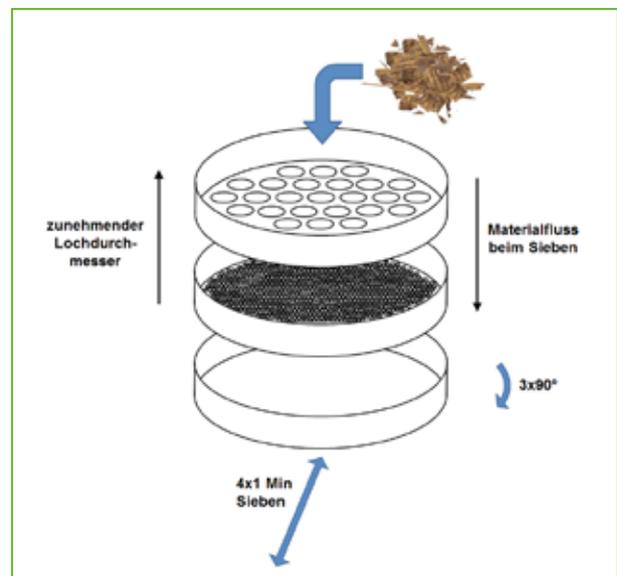


Abb. 10.6: Vereinfachtes Sieben (angelehnt an DIN EN ISO 17827-1)

4. Das obere Sieb vom Stapel herunternehmen und in beiden Sieben nach folgenden Teilen suchen und wie beschrieben verfahren:

Längstes Teil: Nur Teile berücksichtigen, die mind. 7 mm Durchmesser aufweisen; Länge messen. Wenn es kürzer als 100 mm ist, vor dem Wiegen in das Sieb, aus dem es entnommen wurde, zurücklegen.



Abb. 10.7: Beispiel für die Bestimmung der Länge eines Hackschnitzels. Berücksichtigt wurde nur der Anteil, der einen Durchmesser von mindestens 7 mm aufweist. (Länge des Beispiel-Hackschnitzels: 57 mm)

Alle Teile über 100 mm: Nur Teile berücksichtigen, die mind. 7 mm Durchmesser aufwiesen; Längen messen; Teile gesammelt wiegen und als Fraktion „> 100 mm“ im Formblatt eintragen (siehe Abb. 10.7).

Teil mit größter Querschnittsfläche: Das Teil mit der augenscheinlich größten Querschnittsfläche suchen und dieses so vor eine durchsichtige Schablone mit cm²-Muster halten, dass die kleinste Fläche des Teils sichtbar ist (bei regelmäßigen, länglichen Teilen senkrecht zur Schablone). Die Größe der Fläche durch Auszählen der Quadrate auf der Schablone abschätzen (Teil-Quadrate runden bzw. zusammenzählen; siehe Abb. 10.8).

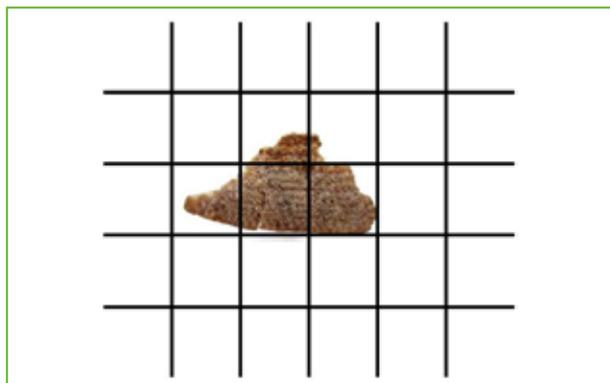


Abb. 10.8: Beispiel für die Bestimmung der Querschnittsfläche eines unregelmäßigen Hackschnitzels (Fläche des Beispiel-Hackschnitzels: 2,5 cm²; Kantenlängen der Schablonenquadrate: 1 cm)

5. Auffangschale und beide Siebe mit der jeweiligen Fraktion wiegen und die Massen im Formblatt eintragen.

6. Den Siebvorgang mit der zweiten 2 l-Probe wiederholen.

Alle Massen sowie die größte Länge und die größte Querschnittsfläche vom Formblatt in das Excel-Auswertebrett übertragen. Ebenfalls die Bezeichnung der Probe, die Sollgröße der Hauptfraktion (entspricht dem Sieb mit der größeren Lochgröße!), Name des Prüfers, Datum der Prüfung und bei Bedarf Bemerkungen eintragen. Die Anteile der Partikelgrößenfraktionen und die Klassifikation (angelehnt an DIN EN ISO 17225-4 und -1) werden automatisch im Auswertebrett berechnet. Die detaillierten Klassifikationskriterien für die manuelle Siebanalyse sowie die Unterschiede zur Klassifikation nach DIN EN ISO 17225-4 und DIN EN ISO 17225-1 finden sich im Excel-Auswertebrett. Zur Siebung nach der vereinfachten Methode steht außerdem ein Anleitungs-Film zur Verfügung, der unter

video.hawk-hhg.de (Suchwort: Holzhackschnitzel) oder mittels QR-Code abgerufen werden kann. Die Vorgaben für die maximalen und minimalen Anteile der jeweiligen Partikelgrößen sowie die Maximalgrößen der Hackschnitzel für die zu bestimmenden Partikelgrößenklassen ergeben sich aus der Norm 17225-4 (siehe Tab. 10.3).



Tab. 10.3: Partikelgrößenklassen und Feinanteil nach DIN EN ISO 17225-1/-4 [10-3],[10-4]

Klasse ^{a)}	Hauptfraktion mm (mind. 60 m-%)	Feinanteil ^{b)} m-% (≤ 3,15 mm)	Grobanteil		
			Grobanteil ^{d)} m-% (Länge eines Partikels, mm)	max. Partikellänge, mm	max. Querschnitts- fläche ^{d)} , cm ²
P16S	3,15 mm < P ≤ 16 mm	≤ 15 %	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 45 mm	≤ 2 cm ²
P16	3,15 mm < P ≤ 16 mm	–	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 150 mm	–
P31S	3,15 mm < P ≤ 31,5 mm	≤ 10 %	≤ 6 % > 45 mm	≤ 150 mm	≤ 4 cm ²
P31	3,15 mm < P ≤ 31,5 mm	–	≤ 6 % > 45 mm	≤ 200 mm	–
P45S	3,15 mm < P ≤ 45 mm	≤ 10 %	≤ 10 % > 63 mm	≤ 200 mm	≤ 6 cm ²
P45	3,15 mm < P ≤ 45 mm	–	≤ 10 % > 63 mm	≤ 350 mm	–
P63	3,15 mm < P ≤ 63 mm	–	≤ 10 % > 100 mm	≤ 350 mm	–

Anmerkungen:

P Partikelgrößenklasse, bezogen auf Partikel, die durch Sieböffnungen von Rundlöchern der angegebenen Größe passen. Die Maße der tatsächlichen Partikel können von diesen Werten abweichen, insbesondere hinsichtlich der Länge.

– Keine Festlegung in der Norm

a) DIN EN ISO 17225-1 führt weitere Klassen auf (P100 bis P300)

b) Grenzen für den Feinanteil sind nur in DIN EN ISO 17225-4 angegeben; nach DIN EN ISO 17225-1 wird der Feinanteil separat angegeben

c) Bei der manuellen Siebung werden die verschiedenen Fraktionen zwischen der Obergrenze der Hauptfraktion und 100 mm nicht unterschieden. Bei Überschreitung der gemäß DIN EN ISO 17225-1 angegebenen Grenze wird ein entsprechender Hinweis ausgegeben.

d) Die Querschnittsfläche wird nur für Partikel des Grobanteils bestimmt

10.1.4 Validierung der Methoden
(Vergleich mit Analysen und Normen)

Hinter der Entwicklung der vereinfachten Methoden steht die Intention, die Überprüfung der einflussnehmenden Parameter während des Bereitstellungsprozesses zu erleichtern und damit die Hackschnitzelqualität zu verbessern. Der Vergleich der Ergebnisse, die mithilfe der vereinfachten Verfahren gewonnen wurden, mit Analysen nach DIN EN ISO 18134-2 (Bestimmung des Wassergehaltes) und DIN EN ISO 17827-1 (Bestimmung der Partikelgrößenverteilung) zeigte, dass für Sortimente P16S bis P45S bzw. Hackschnitzel mit Wassergehalten zwischen 5 und 50 m-% unter Einhaltung der hier beschriebenen Arbeitsanweisungen folgende maximalen Abweichungen eingehalten werden können (siehe Tab. 10.4):

Tab. 10.4: Ermittelte maximale Abweichungen der vereinfachten Methoden von denen nach Norm

Parameter Klasse	Partikelgrößenverteil. (relative Abweichung) %		Parameter Klasse	Wassergehalt (absolute Abweichung) m-%
	Feinanteil	Hauptfraktion		
P16S manuell	15	3	M 10	1
P31S manuell	15	2	M15-M30	3
P45S manuell	15	2	≥ M35	3,5

Zur Validierung der vereinfachten Wassergehaltsbestimmung wurde zum Einen die Temperaturkonstanz des verwendeten Ofens während des Trocknungsvorganges überprüft und zum Anderen Wassergehalte nach vereinfachtem Verfahren und nach Norm bestimmt und miteinander verglichen. Bei den durch die Heizphasen auftretenden Temperaturschwankungen des untersuchten Ofens mit Umluft-Funktion zeigte sich, dass die Temperatur während der Versuchszeit zwischen 104 °C und 113 °C schwankte, im Mittel aber eine Temperatur über 105 °C und unter 120 °C erzielt werden konnte (siehe Abb. 10.9). Die Temperaturstabilität sollte vor Anwendung der vereinfachten Methode für jeden individuell eingesetzten Backofen bestimmt werden, damit bei der vereinfachten Methode korrekte Ergebnisse bestimmt werden.

Beim Vergleich der Backofenmethode mit der Methode nach Norm zeigt sich, dass die Ergebnisse von Doppelbestimmungen einer Probe bei beiden Methoden vergleichbare Schwankungen aufwiesen. Die ermittelten Wassergehalte lagen bei beiden Methoden auf einem sehr ähnlichen Niveau mit einer mittleren Abweichung von 0,1 °C bezogen auf alle 14 untersuchten Proben. Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse kann die vereinfachte Wassergehaltsbestimmung als gut geeignet eingestuft werden, um die Abschätzung des Wassergehaltes vorzunehmen (siehe Abb. 10.10).

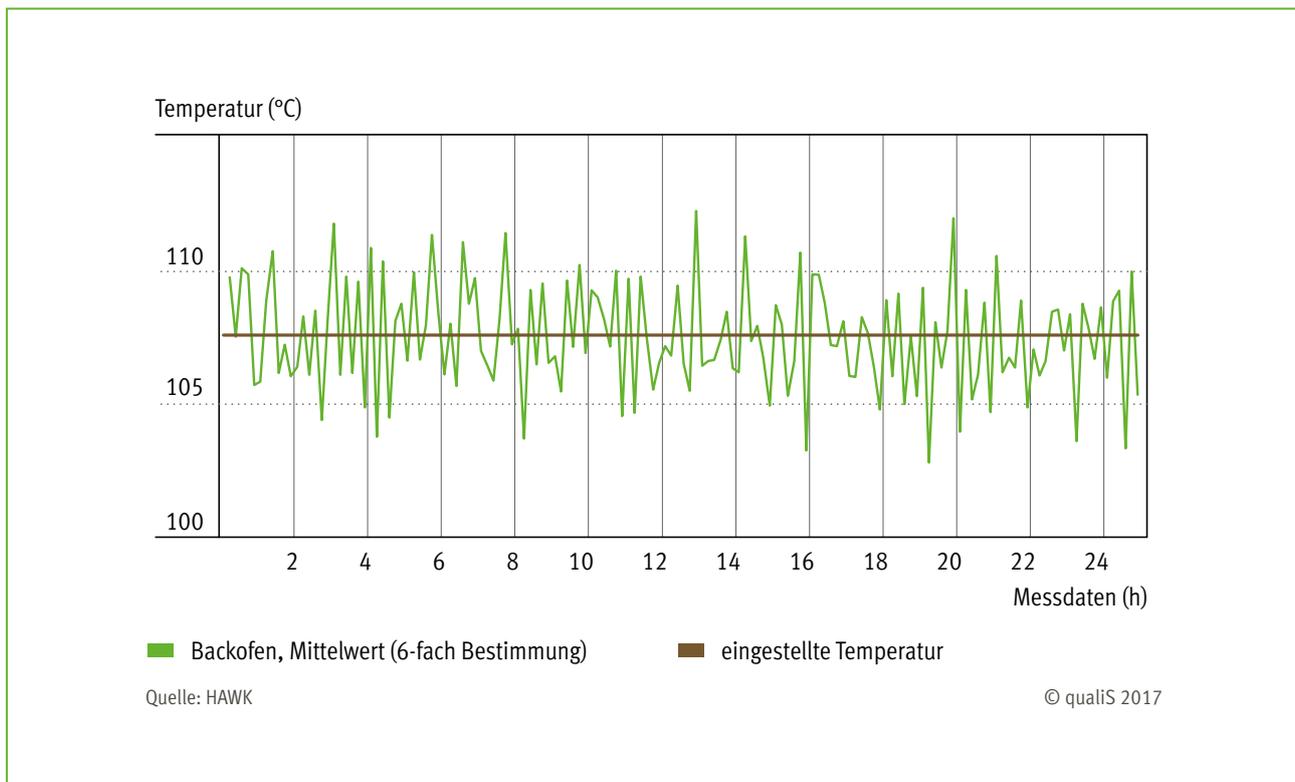


Abb. 10.9: Hysterese des verwendeten Ofens über 24 Betriebsstunden

Im Rahmen des Projektes qualiS wurden kürzere Trocknungszeiten als die hier verwendeten 24 Stunden nicht untersucht. Insbesondere für Hackschnitzel mit niedrigen Wassergehalten ist denkbar, dass damit ebenfalls Ergebnisse mit ausreichender Übereinstimmung in Bezug auf die Analyse nach DIN EN ISO 18134-2 erreichbar sind. Wenn die Methode mit verkürzten Zeiten eingesetzt werden soll, sollte der Wassergehalt mit der zu untersuchenden Brennstoffart bei der angestrebten Trocknungsdauer bestimmt werden. Anschließend muss dieselbe Probe eine weitere Stunde getrocknet und ausgewogen werden, um sicherzustellen, dass keine nennenswerte Abweichung mehr auftritt (max. zusätzlich 0,2 % Massenverlust).

Bei der Siebung nach dem vereinfachten Verfahren können nicht alle Kriterien nach Norm abgedeckt werden, da in Bezug auf die Übergrößen keine Auftrennung in allen nach Norm erforderlichen Fraktionen erfolgt. (siehe Tab. 10.3). Zudem werden durch die manuelle Siebung des vereinfachten Verfahrens tendenziell geringere Mengen Feinanteil abgetrennt als durch die automatisierte Siebung gemäß Norm (siehe Abb. 10.13). Das hat zur Folge, dass der Feinanteil für eine normgerechte Klassierung bei der vereinfachten Methode als zu gering abgeschätzt wird. Mit diesem Hintergrundwissen ist jedoch eine relativ genaue Abschätzung der Hackschnitzelqualität möglich.

In Abbildung 10.11 sind für den Feinanteil und die Hauptfraktion dargestellt, wie groß die Differenz abhängig von der Dauer der Siebung gegenüber dem Sollwert ist. Als Sollwert wurde der Wert nach vollständiger Siebung gemäß der Norm gesetzt. Es ist deutlich zu erkennen, dass insbesondere bei dem Feinanteil innerhalb der ersten 3 Minuten sichtbare Veränderungen auftreten und nach 4 Minuten nur noch relativ kleine Veränderungen zu sehen sind. Auf dieser Grundlage wurde die Dauer für die Siebung des vereinfachten Verfahrens auf 4 Minuten festgelegt.

Die Robustheit der Methode wurde ebenfalls überprüft. Dazu wurde eine Hackschnitzelprobe durch fünf verschiedene Anwender gesiebt, um subjektive Einflussfaktoren zu überprüfen (siehe Abb. 10.12). Es zeigte sich, dass der Einfluss des Anwenders auf das Klassierungsergebnis vernachlässigbar ist.

Vergleicht man die Schwankungsbereiche für die Bestimmung nach Norm und die manuelle Siebung bei Mehrfachbestimmung einer Probe zeigen sich bei der vereinfachten und der normativen Methode ähnliche Schwankungen zwischen den einzelnen Bestimmungen (siehe Abb. 10.13). Die vereinfachte Methode ist also z. B. dazu geeignet, die Qualitätsverbesserung durch Aufbereitungsmaßnahmen nachzuweisen.

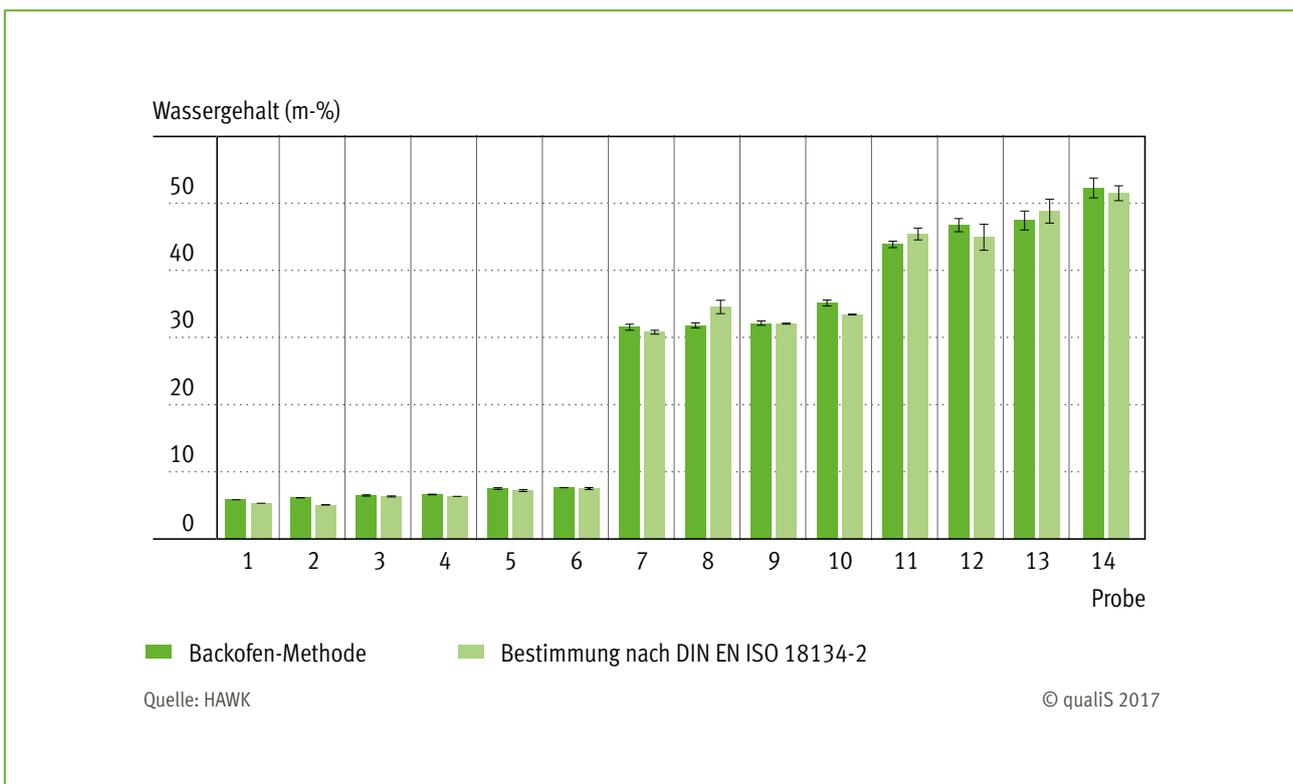


Abb. 10.10: Vergleich von 14 Wassergehaltsbestimmungen (jeweils Doppelbestimmungen) mit der Backofen-Methode

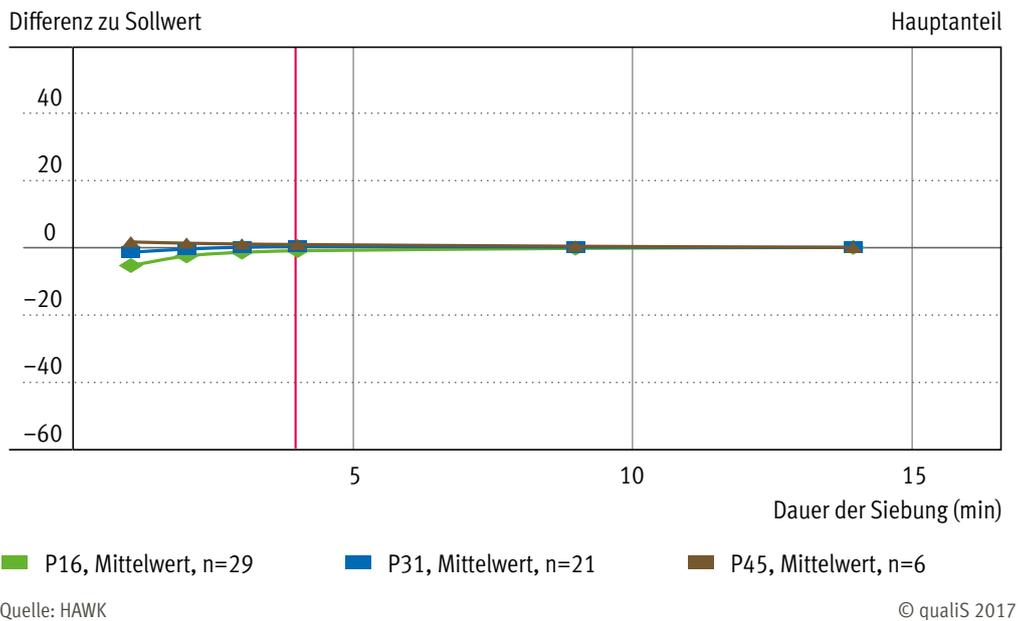
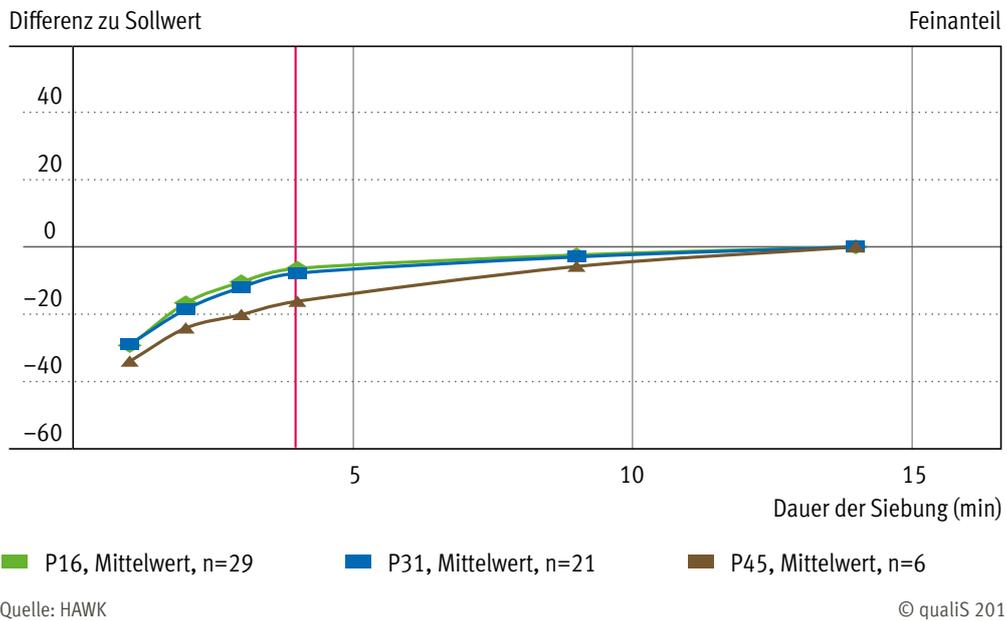
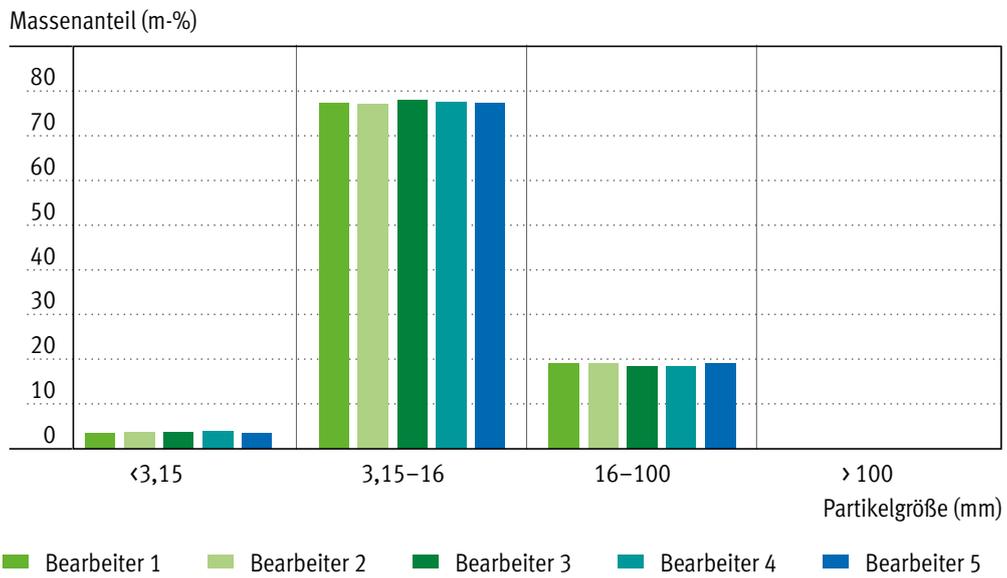
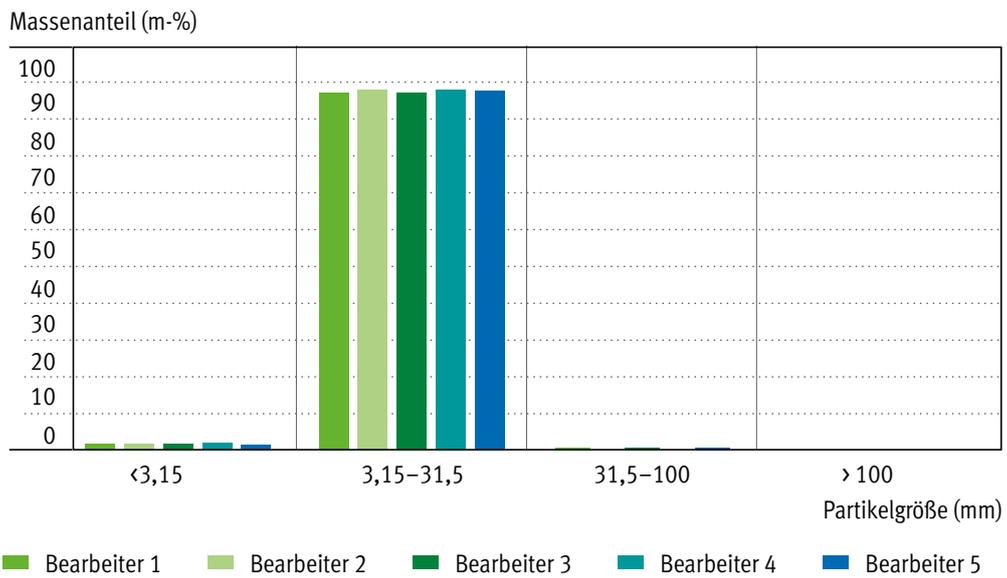


Abb. 10.11: Intervallweise Siebung: 4 x 1 min manuell (Sollwert: 2 x 5 min per Siebmaschine (DIN EN ISO 17827-1))



Quelle: HAWK

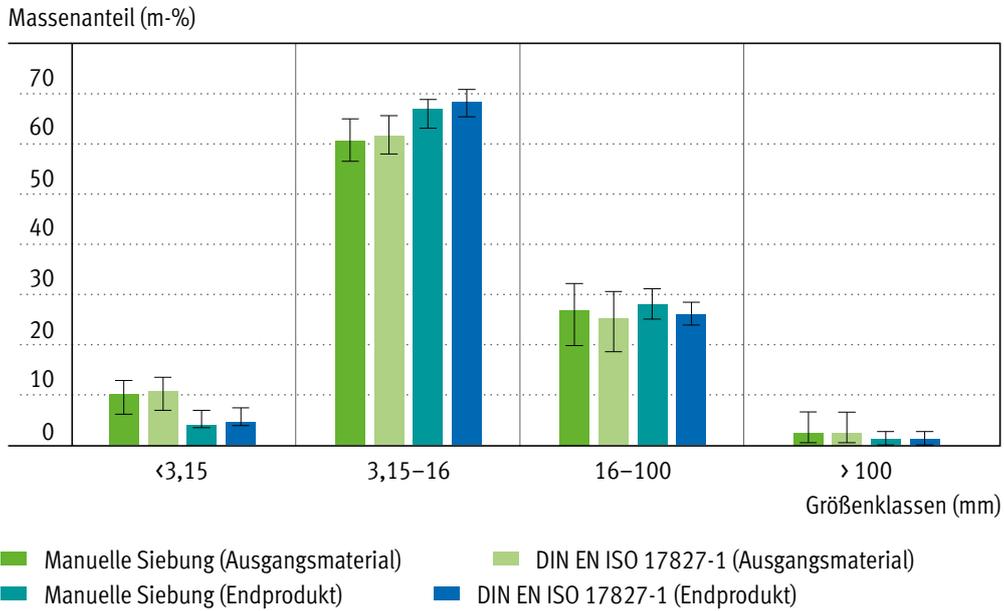
© qualiS 2017



Quelle: HAWK

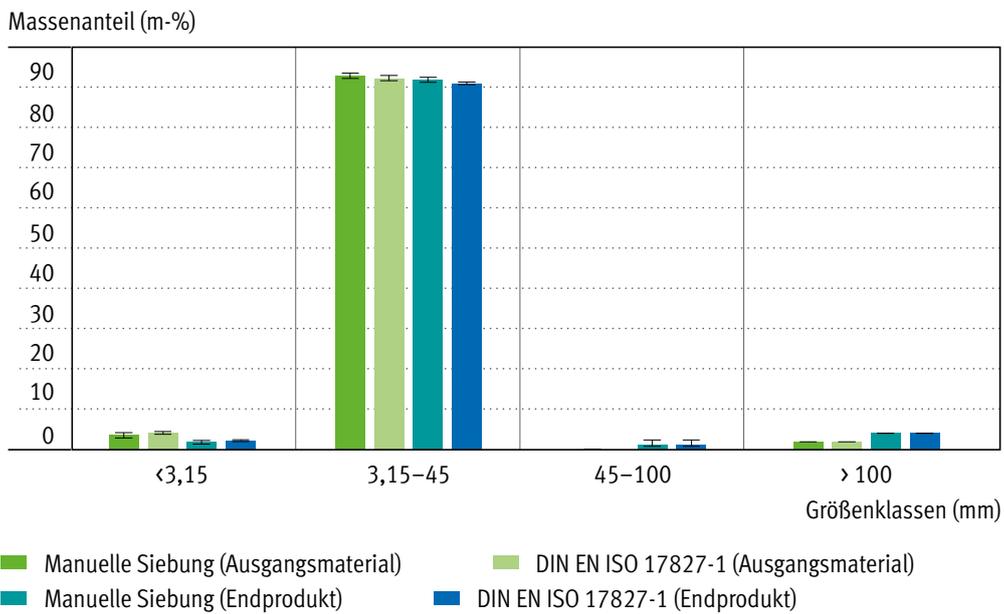
© qualiS 2017

Abb. 10.12: Parallele Siebung einer Hackschnitzelprobe der Partikelgrößenklasse P16 (oben) und P31 (unten) durch 5 Personen



Quelle: HAWK

© qualiS 2017



Quelle: HAWK

© qualiS 2017

Abb. 10.13: Herstellung P16-Hackschnitzel (Aufbereitung mittels Trommelsieb) (oben); Herstellung P45 (G50)-Hackschnitzel (Aufbereitung mittels Mieten-Vortrocknung, Sternsieb, Mientrocknung unter Vlies) (unten)

11

ZUSAMMENFASSUNG

In dem über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Verbundprojekt „qualiS – Brennstoffqualifizierung und Qualitätsmanagement in der Hackschnitzelproduktion als Beitrag zur Emissionsminderung und Nachhaltigkeit“ konnten zahlreiche Erkenntnisse zum deutschen Hackschnitzelmarkt und zur Produktion und Qualitätssicherung von qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln für Anlagen nach der 1. BImSchV gewonnen werden.



Im Bereich „Marktanalyse“ wurde anhand der Messergebnisse des Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) bis zum Jahr 2011 [3-1] sowie ergänzenden Annahmen zum Anlagenzubau in den Folgejahren der Bestand an Hackschnitzelfeuerungsanlagen < 1 MW im Jahr 2015 auf 44.360 Anlagen geschätzt. Die daraus abgeleitete Nennwärmeleistung beträgt rund 3.733 MW.

Die Anforderungen an und die Nachfrage nach einem qualitativ hochwertigen Brennstoff wurden zudem über eine Produzentenumfrage abgebildet. Für das Betriebsjahr 2015 verzeichneten rund ein Drittel der im Projekt befragten Hackschnitzelproduzenten Neukunden mit höheren Ansprüchen an die Hackschnitzelqualität. Diese Nachfrage könnte laut Produzenten in der Zukunft weiter steigen.

Basierend auf den Zahlen zum Anlagenbestand und entsprechend summierten Nennwärmelistungen sowie auf Grundlage zusätzlicher Annahmen zur Betriebsweise der Hackschnitzelfeuerungen und der Produzentenumfrage, konnte der leistungsklassenspezifische Brennstoffeinsatz auf insgesamt ca. 2,37 Mio. Tonnen (atro) taxiert werden, der in Form von Hackschnitzeln in 1. BImSchV-Anlagen energetisch verwertet wird.

Hohe Brennstoffqualitäten lassen sich durch eine sorgfältige Hackschnitzelproduktion entlang der gesamten Prozesskette herstellen. Mit Maßnahmen zur sekundären Brennstoffaufbereitung, z. B. Siebung und/oder Trocknung, lässt sich der Wassergehalt, der Aschegehalt, der Feinanteil und die Gehalte an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen weiter verringern, sodass selbst mit sehr inhomogenem und möglicherweise verunreinigtem Ausgangsmaterial wie beispielsweise Hackschnitzeln aus Waldrestholz nach entsprechender Aufbereitung die Spezifikationen A2 und B1 nach DIN EN ISO 17225-4 eingehalten werden können. Diese weiteren Aufbereitungsschritte sind jedoch auch mit Kosten verbunden. Die Höhe der Kosten ist im



Wesentlichen abhängig von der eingesetzten Aufbereitungstechnik und den Durchsatzraten. Höhere Brennstoffqualitäten könnten aber auch zu höheren Verkaufspreisen führen, sodass die Produktion von qualitativ hochwertigen Holz hackschnitzeln durchaus wirtschaftlich sein kann. Es empfiehlt sich jedoch, die Wirtschaftlichkeit durch neue Verwendungszwecke für das abgesiebte Material (Überlängen und Feinanteil) zu steigern.

Die Brennstoffaufbereitung kann sich positiv auf das Emissionsverhalten der Feuerung auswirken. Zudem sichert sie zugleich einen störungsarmen Anlagenbetrieb. Unter den Bedingungen der Feuerungsversuche im Rahmen des Projektes, die ohne sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen durchgeführt wurden, konnte der Emissionsgrenzwert für Staub ($0,02 \text{ g/m}^3$ nach der 2. Stufe der 1. BImSchV) auch mit den mittels Siebung und Trocknung aufbereiteten Waldrestholz hackschnitzeln aber nicht in allen Fällen eingehalten werden. Eventuell lassen sich Staubemissionen durch weitere Maßnahmen in der Brennstoffproduktion (z. B. Wahl des Rohmaterials) oder Anlagentechnik (Brennraumgeometrie, Staubabscheider, Optimierung der Kesseleinstellung auf den Brennstoff) weiter verringern. Ohne Frage bleibt jedoch, dass ein qualitativ hochwertiger Brennstoff weitere Maßnahmen zur Emissionsminderung unterstützt.

Eine weitere sinnvolle Maßnahme bei der Herstellung von Holz hackschnitzeln ist die Einführung von qualitätssichernden Maßnahmen. Diese helfen dem Produzenten eine gleichbleibende und nachvollziehbare Brennstoffqualität zu gewährleisten. Der Wassergehalt und die Partikelgrößenverteilung sind maßgebliche Parameter bei der Beschreibung der Qualität von Hackschnitzeln und deren Emissionsverhalten. Im Verbundprojekt qualiS wurden daher praxisnahe vereinfachte Methoden zur Bestimmung von Wassergehalt und Partikelgröße entwickelt, die für vor-Ort-Bestimmungen eine ausreichende Übereinstimmung mit den Standardmethoden nach DIN EN ISO 17225-4 aufweisen. Diese Methoden sind im Vergleich zu den Standardverfahren nach Norm mit relativ geringem Kosten- und Arbeitsaufwand umsetzbar. Eine allgemeinverständliche Anleitung und ein Excel-Auswertblatt stehen unter www.qualiS-holzenergie.de zur Verfügung.

Mithilfe der im Handbuch aufgezeigten Maßnahmen und Handlungsempfehlungen kann also die Qualität des Brennstoffs Holz hackschnitzel optimiert und langfristig sichergestellt werden. Ein qualitativ optimierter Hackschnitzel trägt nicht nur zur Minimierung der Wartungsarbeiten an der Feuerungsanlage bei, sondern erlaubt auch einen umweltfreundlichen Heizbetrieb.

LITERATURVERZEICHNIS

Kapitel 2

- [2-1] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi):** Erneuerbare Energien in Zahlen. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Zahlen der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/erneuerbare_energien_in_zahlen.html
- [2-2] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi):** Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2014, Stand: 21.10.2015, abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/erneuerbare-energien-in-zahlen-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [2-3] **Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V. (FNR):** Leitfaden feste Biobrennstoffe, Bestell-Nr. 1894., vollständig überarbeitete Auflage, Mai 2014
- [2-4] **Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energienetzwerk e. V. (C.A.R.M.E.N.):** Feinstaubabscheider für den Kessel-Leistungsbereich von 100 kW bis 1 MW, abgerufen am 27.10.2016 unter:
www.carmen-ev.de/infothek/rechtlicher-rahmen/gesetze-verordnungen/567-1-bimschv-erste-verordnung-zur-durchfuehrung-des-bundes-immissionsschutzgesetzes
- [2-5] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi):** Marktanzreizprogramm (MAP), abgerufen am 27.10.2016 unter:
www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende-im-Gebaeudebereich/marktanreizprogramm-map,-did=727300.html
- [2-6] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA):** Formulare, abgerufen am 27.10.2016 unter:
www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Biomasse/biomasse_node.html
- [2-7] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA):** Förderübersicht Biomasse (Basis-, Innovations- und Zusatzförderung, Stand 08.05.2015), abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/biomasse/publikationen/index.html
- [2-8] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA):** Heizen mit nachwachsenden Rohstoffen, abgerufen am 27.10.2016 unter:
www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Biomasse/biomasse_node.html
- [2-9] **Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW):** KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“, abgerufen am 27.10.2016 unter:
[www.kfw.de/Download-Center/Foerderprogramme-\(Inlandsfoerderung\)/PDF-Dokumente/6000002410-Merkblatt-271-281-272-282.pdf](http://www.kfw.de/Download-Center/Foerderprogramme-(Inlandsfoerderung)/PDF-Dokumente/6000002410-Merkblatt-271-281-272-282.pdf)
- [2-10] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi):** Richtlinie über die Förderung der Heizungsoptimierung durch hocheffiziente Pumpen und den hydraulischen Abgleich, abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/richtlinie-ueber-die-foerderung-der-heizungsoptimierung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf
- [2-11] **Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016):** 10.000-Häuser-Programm: abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.energie-innovativ.de/energieeffizienz/10000-haeuser-programm/
- [2-12] **HESENENERGIE, 2016:** Hessenenergie: Förderprogramme Energie, Biomasse Holz, abgerufen am 19.10.2016 unter:
www.hessenenergie.de/FoerProg/Hessen/hess-biom/hess-biom.shtml

Kapitel 3

- [3-1] **Bundesministerium für Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB):** Messergebnisse des Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV); 2011.
- [3-2] **Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH):** 10 Jahresverlauf Absatz Wärmeerzeuger Deutschland; 2015, abgerufen am 19.10.2016 unter: www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Daten_Fakten/BDH_Marktentwicklung_2005-2015.pdf
- [3-3] **Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR):** Hackschnitzel-Heizungen Marktübersicht; 4. Auflage, November 2012, abgerufen am 19.10.2016 unter: <https://mediathek.fnr.de/hackschnitzel-heizungen-marktuebersicht.html>
- [3-4] **Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF):** Scheitholz – Produktion, Lagerung, Kennzahlen, Merkblatt 20, Freising 2009.
- [3-5] **Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ):** Heizwerke-Datenbank, Auswertung 2016.
- [3-6] **Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ):** Erhebung 2014 mit dem Schornsteinfegerhandwerk, Auswertung 2016.
- [3-7] **Technologie- und Förderzentrum (TFZ):** Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit; TFZ-Bericht 21, Straubing 2010.
- [3-8] **Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ):** Herstellerbefragung zu den Investitionskosten von Partikelabscheidern, Auswertung 2016.
- [3-9] **Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ):** Preisbeobachtung von Holzhackschnitzeln, Auswertung 2016.
- [3-10] **Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk e. V. (C.A.R.M.E.N.):** Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, abgerufen am 19.10.2016 unter: www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel
www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/kup-hackschnitzel
- [3-11] **EUWID:** Holz und Holzwerkstoffe, Marktberichte für LPH und HHS der letzten Jahre.

Kapitel 5

- [5-1] **Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2016):** Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- [5-2] **Kuptz, D.; Schulmeyer, F.; Hüttel, K.; Dietz, E.; Turowski, P.; Zormaier, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2015):** Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.
- [5-3] **Sommersacher, P.; Brunner, T.; Obernberger, I. (2012):** Fuel Indexes: A Novel Method for the Evaluation of Relevant Combustion Properties of New Biomass Fuels. In: Energy & Fuels Bd. 26, Nr. 1, S. 380–390.
- [5-4] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2014):** DIN EN ISO 17225-4 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln. Berlin, Beuth Verlag.

Kapitel 6

- [6-1] **Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2016):** Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- [6-2] **Kuptz, D.; Schulmeyer, F.; Hüttel, K.; Dietz, E.; Turowski, P.; Zormaier, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2015):** Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.
- [6-3] **Dietz, E.; Kuptz, D.; Blum, U.; Schulmeyer, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2016):** Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.

Kapitel 7

- [7-1] **Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2016):** Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- [7-2] **Dietz, E.; Kuptz, D.; Blum, U.; Schulmeyer, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2016):** Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.
- [7-3] **Kuratorium für Waldarbeit u. Forsttechnik (KWF) e. V. (2011):** KWF-Marktübersicht „Hackschnitzel-Siebanlagen“ www.kwf-online.org/marktuebersichten/hackschnitzelsiebanlagen.html (abgerufen am 28.10.2016)
- [7-4] **Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) e. V. (2011):** KWF-Marktübersicht „Hackschnitzeltrockner“ www.kwf-online.org/en/marktuebersichten/trockner.html (abgerufen am 28.10.2016)
- [7-5] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2014):** DIN EN ISO 17225-1 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin, Beuth Verlag.
- [7-6] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2014):** DIN EN ISO 17225-4 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln. Berlin, Beuth Verlag.
- [7-7] **Kuptz, D.; Schulmeyer, F.; Hüttl, K.; Dietz, E.; Turowski, P.; Zormaier, F.; Borchert, H.; Hartmann, H. (2015):** Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.

Kapitel 8

- [8-1] **Nussbaumer, T. (1997):** Primary and Secondary Measures for the Reduction of Nitric Oxide Emissions from Biomass Combustion. In: BRIDGWATER, A. V.; BOOCOOCK, D. G. B. (Hrsg.): Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Springer Netherlands.
- [8-2] **Loo, S. V.; Koopejan, J. (2008):** The handbook of biomass combustion and co-firing, London: Earthscan.
- [8-3] **Sommersacher, P.; Brunner, T.; Obernberger, I. (2012):** Fuel Indexes: A Novel Method for the Evaluation of Relevant Combustion Properties of New Biomass Fuels. In: Energy & Fuels Bd. 26.
- [8-4] **Zeng, T.; Weller, N.; Pollex, A.; Lenz, V. (2016):** Blended biomass pellets as fuel for small scale combustion appliances: Influence on gaseous and total particulate matter emissions and applicability of fuel indices. In: Fuel Bd. 184.

Kapitel 9

- [9-1] **Kuptz, D., Schulmeyer, F., Hüttl, K., Dietz, E., Turowski, P., Zormaier, F., Borchert, H., Hartmann, H. (2015):** Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Eigenverlag Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Straubing & Freising-Weihenstephan.
- [9-2] **Denkinger, B. (2005):** Wie forstliche Hacker arbeiten. In: LWF aktuell 48, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- [9-3] **Bosch, T., Neuhof, I., Mergler, F., Zormaier, F., Weinert, B., Hüttl, K. (2012):** Qualitätssicherung bei der Lagerung von Hackschnitzeln. In: Merkblatt 11 – Hackschnitzel richtig lagern! Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising.
- [9-4] **Hartmann, H. (2014):** Produktion, Bereitstellung und Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: Leitfaden biogene Festbrennstoffe, Hrsg: FNR e. V., Gülzow.

Kapitel 10

- [10-1] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2011):** DIN EN 14778 Feste Biobrennstoffe – Probenahme, Berlin, Beuth Verlag.
- [10-2] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2011):** DIN EN 14780 Feste Biobrennstoffe – Probenherstellung, Berlin, Beuth Verlag.
- [10-3] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2014):** DIN EN ISO 17225-1 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin, Beuth Verlag.
- [10-4] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2014):** DIN EN ISO 17225-4 Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln. Berlin, Beuth Verlag.



Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Bestell-Nr. 910
<https://mediathek.fnr.de>
FNR 2017

