

88

Berichte aus dem TFZ

Handreichung Ascheverwertung

**Leitfaden für Betreiber von
Biomasseheizwerken**



Handreichung Ascheverwertung – Leitfaden für Betreiber von Biomasseheizwerken



Handreichung Ascheverwertung

Leitfaden für Betreiber von Biomasseheizwerken

Dr. Hans Bachmaier
Dr. Hans Hartmann

Titel: Handreichung Ascheverwertung – Leitfaden für Betreiber von Biomasse-
heizwerken

Autoren: Dr. Hans Bachmaier
Dr. Hans Hartmann

Projektleitung: Dr. Daniel Kuptz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) unter dem Förderkennzeichen G2/N/20/04 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.10.2020 bis zum 31.12.2024. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2025

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

Alle Rechte vorbehalten.

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

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

ISSN: 1614-1008
DOI: 10.5281/zenodo.15629104
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Hans Bachmaier, Hans Hartmann, Anna Grundner
Gestaltung: Eigenverlag
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2025

Fotos: Hans Bachmaier, Anna Grundner (Titelbild)

Vorwort

Biomasseheizwerke leisten einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung und zum Klimaschutz, indem sie CO₂-neutral heizen und fossile Energieträger ersetzen. Bei der Verbrennung von Biomasse fallen Reststoffe in Form von Asche an, die jedoch wertvolle Bestandteile enthalten.

Anstatt diese Asche zu deponieren, bietet sich hier aus Sicht der Bioökonomie die Chance, sie als Ressource zu nutzen und natürliche Kreisläufe zu schließen. Diese Handreichung zur Ascheverwertung unterstützt Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken dabei, die in der Asche enthaltenen Wertstoffe im Sinn der Kreislaufwirtschaft wiederzugewinnen und zu nutzen.

Ziel dieser Handreichung ist es, die Ascheverwertung in der Praxis zu erleichtern und Betreibern von Biomasseheiz(kraft)werken eine Hilfestellung bei der Umsetzung einer nachhaltigen Aschenutzung zu geben.

Die Handreichung beleuchtet folgende Aspekte:

- Charakterisierung von Asche: Zusammensetzung, Eigenschaften und Klassifizierung von Aschen aus Biomasseheizwerken.
- Rechtliche Grundlagen: relevante Gesetze, Verordnungen und Richtlinien für den Umgang mit Asche.
- Qualitätssicherung: Probenahme, Analytik und Bewertung der Aschequalität.
- Verwertungswege: Möglichkeiten der Ascheverwertung in der Land- und Forstwirtschaft, im Bauwesen und in anderen Bereichen.
- Praxisbeispiele: erfolgreiche Beispiele für die Ascheverwertung aus der Praxis.

Mit dieser Handreichung möchten wir dazu beitragen, dass Asche nicht länger als Abfall, sondern als wertvolle Ressource in einer nachhaltigen Bioökonomie anerkannt wird.

Abstract (deutsch)

Diese Handreichung bietet Betreibern von Biomasseheiz(kraft)werken eine umfassende Anleitung zur nachhaltigen Nutzung von Holzasche in Bayern. Sie beleuchtet die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Qualitätssicherung und relevante Verwertungswege. Ziel ist es, die Ascheverwertung in der Praxis zu erleichtern und einen Beitrag zur Bioökonomie zu leisten, indem natürliche Kreisläufe geschlossen und die Abhängigkeit von endlichen Ressourcen reduziert wird. Die Handreichung enthält Informationen zur Charakterisierung von Asche, zu relevanten Gesetzen und Verordnungen, zur Qualitätssicherung, zu Verwertungsmöglichkeiten in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Bauwesen und präsentiert Praxisbeispiele für erfolgreiches Aschemanagement.

Abstract (englisch)

This guide offers comprehensive instructions to operators of biomass heating plants for the sustainable use of wood ash in Bavaria. It highlights the legal framework, quality assurance, and various recycling paths. The goal is to facilitate ash recycling in practice and contribute to the bioeconomy by closing natural cycles and reducing dependence on finite resources. The guide contains information on characterizing ash, relevant laws and regulations, quality assurance, recycling options in agriculture and forestry as well as in the construction industry and presents practical examples of successful ash management.

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch)	7
Abstract (englisch)	8
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis.....	15
1 Einleitung	17
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	17
1.2 Erklärung der Aschefractionen.....	18
1.3 Bedeutung des Qualitätsmanagements bei der Holzascheverwertung.....	19
2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Grenzwerte in Bezug auf die Ascheverwertung	21
2.1 Kurzdarstellung der Gesetze und Verordnungen zur Aschentsorgung	23
2.2 Verwertung von Holzasche aus Sicht des Abfallrechts	26
2.3 Verwertung von Holzasche aus Sicht des deutschen Düngemittelrechts	28
2.4 Verwertung von Holzasche aus Sicht des europäischen Düngemittelrechts	30
2.5 Relevante Grenzwerte für die stoffliche Verwertung von Holzasche als Düngemittel	31
3 Typische Zusammensetzung von Rostaschen	35
4 Beispiele für Verwertungsoptionen in Bayern	39
4.1 Aufbereitung von Holzasche im Kalkwerk	39
4.2 Aufbereitung von Holzasche im Kompostwerk	41
4.3 Chancen und Herausforderungen der einzelnen Entsorgungsoptionen für Biomasseasche	43
4.3.1 Asche als Mineraldünger	44
4.3.2 Ascheverwertung in der Kompostierung	44
4.3.3 Deponierung der Asche	45
4.3.4 Einsatz als Baustoff	46
4.3.5 Einsatz in der Zement- und Betonherstellung	47
5 Methoden zur Qualitätssicherung und zum Qualitätsmanagement	49
5.1 Methoden zur Qualitätssicherung des eingesetzten Brennstoffs	49
5.2 Validierte Methoden zur Qualitätssicherung von Holzasche.....	51
5.3 Empfohlene Maßnahmen für ein effektives Qualitätsmanagement	53

5.4	Sekundäre Maßnahmen zur Chrom(VI)-Verminderung	54
5.5	Aufbereitung der Aschen zu Düngemitteln	57
5.6	Die Probenahme bei Aschen	57
6	Ökonomische und ökologische Bewertung der Ascheverwertung	63
6.1	Kosten-Nutzen-Analyse der verschiedenen Verwertungswege	63
6.2	Umweltauswirkungen der stofflichen Verwertung von Holzasche	66
7	Fallbeispiele zum Aschemanagement in bayerischen Heiz(kraft)werken	69
7.1	Erfahrungen und Herausforderungen bei der Ascheverwertung	69
7.2	Beschreibung realer Fallbeispiele	69
7.2.1	Fall 1: Heizwerk für kommunales Wärmenetz	69
7.2.2	Fall 2: Einfache Aschebefeuchtung am Ascheaustrag	73
7.2.3	Fall 3: Städtisches Heiz(kraft)werk mit Nassentaschung auf der Suche nach Möglichkeiten bei der Ascheverwertung	76
7.2.4	Fall 4: Flugaschenförderung im Heizwerk mit Zementpumpe	79
7.2.5	Fall 5: Umgang mit Aschen aus Heiz(kraft)werken mit Sägenebenprodukten als Brennstoff	83
7.2.6	Fall 6: TFZ-Heizwerk – kleines Heizwerk mit geringen Aschemengen	87
8	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	91
8.1	Elf wichtige Tipps für die Planung einer Strategie zum Umgang mit den anfallenden Aschen	91
8.2	Sechs häufige Fehler bei der Ascheverwertung	92
	Quellenverzeichnis	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Getrennte Sammlung von Rost- und Filteraschen.....	19
Abbildung 2:	Prüfschema zur Holzaschenverwertung von unbehandeltem Holz nach [21] (BMUB: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, AVV: Abfallverzeichnisverordnung, AS: Abfallschlüssel, DüMV: Düngemittelverordnung, DüV: Düngeverordnung, BioAbfV: Bioabfallverordnung, DFZR: Deutscher Forst-Zertifizierungsrat, DK: Deponieklasse, NachwV: Nachweisverordnung, DepV: Deponieverordnung, VersatzV: Versatzverordnung)	22
Abbildung 3:	Hauptnährstoffe von 26 Rost- und Kesselaschen (bezogen auf die Trockenmasse) als Punktwolken sowie als Boxplots mit 25-%- und 75-%-Quantil (Box) sowie Minimum zum Maximum (Whisker) (Zahlen neben den Boxplots sind jeweils die Mittelwerte) [2].	36
Abbildung 4:	Radlader belädt Aufbereitungsanlage	40
Abbildung 5:	Fertiger Aschedünger wird von Landwirt abgeholt.....	40
Abbildung 6:	Ausbringung des Aschedüngers mit Düngerstreuer	41
Abbildung 7:	Trommelsieb im Kompostwerk	42
Abbildung 8:	Schredder im Kompostwerk	42
Abbildung 9:	Fertiger Kompost aus Asche und Kompost für landwirtschaftliche Flächen	43
Abbildung 10:	Einfaches Siebsystem aus Stapelboxen für eine schnelle Siebanalyse am Heizwerk	50
Abbildung 11:	Aufrecht stehende Kunststoffrohre mit einem ähnlichen Volumen-Oberflächenverhältnis wie bei der Aschelagerung wurden als Reaktionsgefäße für die Versuche zum Chrom(VI)-Abbau verwendet. ..	55
Abbildung 12:	Chrom(VI)-Gehalte der vier Versuchsvarianten, gegliedert nach dem Wassergehalt zu Versuchsbeginn und den Probenahmezeitpunkten im Abstand von fünf Wochen	56
Abbildung 13:	Probenahme nach den Vorgaben der LAGA PN 98	58
Abbildung 14:	Erstellung einer Mischprobe anlässlich eines Sach- und Fachkundeflehrgangs Holzasche, der in regelmäßigen Abständen von der Bundesgütegemeinschaft Holzasche e. V. durchgeführt wird.....	59
Abbildung 15:	Die Körnung der Aschen kann sehr unterschiedlich sein. Hier ein Beispiel mit sehr grober Körnung aufgrund von Schlackebildung	59
Abbildung 16:	Diese Rostasche fällt sehr feinkörnig an. Je nach Heizwerk, Betriebsweise und Brennstoffen kann die Körnung der anfallenden Rostaschen erheblich variieren.	60
Abbildung 17:	Abtransport von Rostaschen zur Verwertung im Kalkwerk	60
Abbildung 18:	Für die Qualitätssicherung von Aschen ist die Kenntnis der Förderwege der Asche relevant. Hier: Übergabe der Rostasche an den	

	Trogkettenförderer, der die Rostaschen durch die Gebäudeaußenwand in den davor aufgestellten Container fördert.....	61
Abbildung 19:	Durch diesen Fallschacht mit Förderschnecke (Vordergrund) wird die Asche aus dem Multizyklon der ausgetragenen Rostasche beigemengt. Diese Beimischung kann durch Eintrag in der Flugasche angereicherter Schwermetalle die Qualität der Asche so verändern, dass eine Verwertung für Düngezwecke nicht mehr zulässig ist.....	62
Abbildung 20:	Beprobung eines Aschecontainers	62
Abbildung 21:	Screenshot eines Exceltools zur Kostenabschätzung verschiedener Verwertungsoptionen von Rost- und Kesselaschen.....	65
Abbildung 22:	Entwicklung des finanziellen Spielraums für eine Ascheeigenverwertung in Abhängigkeit von der Aschemenge. Die Werte ergeben sich, wenn bei der in Abbildung 21 dargestellten Kostenstruktur nur die Aschemenge geändert wird.....	66
Abbildung 23:	Treibhausgasbilanzen der Rostaschascheverwertung für Düngezwecke im Kalkwerk oder Kompostwerk und der Entsorgung auf einer Deponie anhand von Praxisbeispielen	67
Abbildung 24:	Trogkettenförderer, der die Rostaschen von einem kleinen Keller unter dem Heizkessel zum Aschecontainer vor dem Gebäude fördert	71
Abbildung 25:	Förderung der E-Filteraschen mit einer Transportspirale. Die Förderanlage ist speziell abgedichtet. Damit soll verhindert werden, dass eindringende kühle Luft zu Kondensation und Korrosion führt, wie beim vorher verbauten Trogkettenförderer.	72
Abbildung 26:	Lagerbehälter für die E-Filterasche (Hintergrund) und die Rost- und Kesselasche. Die Aufstellung der Container zur Aschelagerung vor dem Gebäude trägt zu einer geringeren Staubbelastung im Heizhaus bei und erleichtert das Auswechseln der Behälter.....	72
Abbildung 27:	Schemazeichnung eines Biomassekessels mit Treppenrost und Austrag der Rostasche mittels Trogkettenförderer in einen Aschecontainer vor dem Gebäude.....	73
Abbildung 28:	Heizkessel mit direkt darunter befindlichem Container für die Rost- und Kesselaschen	74
Abbildung 29:	Oberhalb dieses Trichters befindet sich ein waagrechter Schieber. Wenn dieser geöffnet wird, fällt Asche in den Container. Die Leitung an der Verengungsstelle des Trichters dient der Wasserzugabe während des Ascheaustrags.....	75
Abbildung 30:	Detailaufnahme der Zuleitung für die Wasserzugabe. Im Vordergrund der Trichter, durch den die Asche in den Container fällt, im Hintergrund der Magnetschalter, der den Wasserhahn dann öffnet, wenn Asche in den Container fällt.	75
Abbildung 31:	So sieht der Wasseraustritt an der Innenseite aus (der gleichzeitig stattfindende Ascheabwurf ist für das Foto deaktiviert). Das Wasser tritt nicht durch eine Düse aus, sondern trifft als Vollstrahl auf die Asche. Düsen wären unter den Bedingungen im Ascheabwurf vermutlich schnell	

	verstopft. Wasser und Asche vermischen sich im Fallschacht homogen zu einem Gemisch mit etwa 10 % Wasseranteil.....	76
Abbildung 32:	Die Rost- und Kesselasche fällt in diese wassergefüllte Wanne unter dem Heizkessel und wird über einen robusten Trogkettenförderer durch die Gebäudeaußenwand zum Aschebunker gefördert.	77
Abbildung 33:	Ascheabwurf der nassen Asche in den Aschebunker vor dem Heizhaus	78
Abbildung 34:	Detailansicht vom oberen Ende des Trogkettenförderers. Trogkettenförderer sind sehr robust und für die Förderung abrasiver Materialien wie Aschen gut geeignet. Die Förderkette des hier gezeigten Trogkettenförderers musste in der bisher 14-jährigen Laufzeit zweimal ausgetauscht werden.	78
Abbildung 35:	Übergabe der E-Filterasche über eine Zellradschleuse (1) und einen Schieber (2) an einen Trichter (3), der die Filterasche dem erzeugten Luftstrom beimischt. Direkt hinter dem Trichter befindet sich der Ansaugstutzen für die Förderluft (4).	80
Abbildung 36:	Ein Fliehkraftabscheider trennt die E-Filterasche wieder vom Luftstrom. Die Filterasche wird hier direkt in einen Big-Bag gefüllt, der sich dann einfach transportieren lässt.	81
Abbildung 37:	Das notwendige Vakuum für die stationäre Absauganlage wird mit diesem Saugaggregat erzeugt. Laut Herstellerangabe wird der Unterdruck durch eine oder mehrere Seitenkanal-Vakuumpumpen erzeugt.	82
Abbildung 38:	Zwischenlagerung der mit Filterasche gefüllten Big-Bags	83
Abbildung 39:	Lagerung feuchter Aschen in einem offenen Aschebunker. Diese Art der Lagerung ist kostengünstig. Die Anfeuchtung verhindert Staubemissionen. Die Asche wird in kurzen zeitlichen Abständen zum Verwerter transportiert, sodass sich die feuchte Asche nicht verfestigt.	84
Abbildung 40:	Über einen Trichter fällt die trockene Rost- und Kesselasche in ein Wasserbad. Mittels Trogkettenförderer wird die Asche dann in den Aschebunker transportiert.	85
Abbildung 41:	Lagerung feuchter Asche in einem überdachten Aschebunker. Die feuchte Asche kann ohne Staubentwicklung mit Radlader verladen werden. Auch der günstige Transport in Muldenkippern ist möglich.	86
Abbildung 42:	Abrollbehälter für die Rost- und Kesselasche, die mittels Trogkettenförderer aus dem Heizhaus transportiert wird. Dieses System bietet sich für trockene Aschen an, da der geschlossene Container Staubbelastungen bei Befüllen und Transport verhindert.	87
Abbildung 43:	Heizkessel mit Rostascheaustrag per Schneckenförderer in einen Rollcontainer, der zum Entleeren aus dem Keller vor das Gebäude transportiert werden muss und dort mithilfe eines Laders in einen Container geleert wird	88
Abbildung 44:	Neu beschaffte Klappbodenbehälter mit Einfahrtaschen für Staplergabeln machen das Entleeren der Aschebehälter in einen größeren	

Aschcontainer nun einfacher. Sobald der Behälter mittels Stapler positioniert ist, lässt sich der Boden öffnen und die Asche fällt in den Sammelcontainer.....	89
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Grenzwerte bzw. Höchstgehalte (in Klammern) für Holzaschen nach der aktuellen DüMV und BioAbfV	32
Tabelle 2:	Auswahl möglicher Düngemittel-Typen für Holzaschen nach DüMV (verändert nach [23])	33
Tabelle 3:	Nährstoff- und Schwermetallgehalte von 26 Rost- und Kesselaschen aus bayerischen Heiz(kraft)werken mit einer installierten Leistung > 1 MW (TM = Trockenmasse) [2]	37

1 Einleitung

Der vorliegende Praxisleitfaden zum Qualitätsmanagement von Holzasche richtet sich an die Betreiber von Biomasseheiz(kraft)werken in Bayern. Er bietet eine umfassende Anleitung für den Aufbau eines eigenen Qualitätsmanagements zur stofflichen Verwertung von Holzasche. Ziel ist es, den Betreibern praxisnahe Unterstützung bei der Umsetzung effektiver Maßnahmen zur Qualitätssicherung und zum Aschemanagement zu bieten.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen und relevanten Grenzwerte bilden einen zentralen Bestandteil des Leitfadens. Eine Kurzdarstellung dieser rechtlichen Aspekte liefert eine Übersicht und ermöglicht den Betreibern Orientierung bei der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben.

Darüber hinaus werden im Leitfaden Verwertungsmöglichkeiten in Bayern dargelegt. Hierbei wird aufgezeigt, wie die stoffliche Verwertung von Holzasche erfolgen kann und welche Optionen den Betreibern zur Verfügung stehen. Dies ermöglicht eine gezielte Planung und Umsetzung der Verwertungsmaßnahmen.

Um den praktischen Nutzen des Leitfadens zu verdeutlichen, werden reale Fallbeispiele zum Aschemanagement in bayerischen Heiz(kraft)werken dargestellt. Dadurch erhalten die Betreiber konkrete Einblicke in die Erfahrungen anderer Heizwerke.

Ein weiterer Schwerpunkt des Leitfadens liegt auf der Beschreibung validierter und empfohlener Methoden zur Qualitätssicherung und zum Qualitätsmanagement. Dies umfasst beispielsweise die Analyseverfahren zur Bestimmung der Aschequalität sowie die Überwachung der Prozess- und Produktqualität. Durch die Anwendung dieser Methoden können die Betreiber eine gleichbleibend hohe Qualität der Holzasche gewährleisten.

Neben den technischen und qualitätssichernden Aspekten wird auch eine ökonomische und ökologische Bewertung der Ascheverwertung im Leitfaden vorgenommen. Hierbei werden Wirtschaftlichkeit und Umweltauswirkungen der verschiedenen Verwertungsmaßnahmen diskutiert. Diese Bewertung ermöglicht den Betreibern eine Entscheidungsfindung im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit ihrer Ascheverwertung. Die Umsetzung der hier aufgezeigten Maßnahmen ermöglicht eine effiziente und nachhaltige Nutzung der Holzasche und leistet einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz.

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Die Handreichung im Projekt „AshUse 2“ hat den zentralen Zweck, Betreibern bayerischer Biomasseheiz(kraft)werke eine umfassende und praxisorientierte Anleitung zum Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für ihre Holzaschen zu bieten. Der Fokus liegt dabei auf der Förderung der stofflichen Verwertung dieser Aschen, anstatt sie lediglich zu deponieren.

Da Holzasche eine wertvolle Ressource für verschiedene stoffliche Verwertungen darstellt (z. B. als Düngemittel oder im Bodenschutz), soll diese Handreichung Informationen und

Anleitungen zur Aufbereitung von Aschen für diese Zwecke liefern. Die stoffliche Verwertung von Aschen ist an die Einhaltung strenger Grenzwerte für Schadstoffe und Nährstoffe gebunden, wie sie beispielsweise in der Düngemittelverordnung oder der Bioabfallverordnung festgelegt sind. Wie diese durch praktikable Qualitätssicherungsmethoden eingehalten werden können, zeigt diese Handreichung. Ein weiterer Teil behandelt wirtschaftliche und ökologische Aspekte der Ascheverwertung.

Die Handreichung soll leicht verständlich sein und konkrete Anleitungen, Best-Practice-Beispiele und optimierte Verfahrensketten aufzeigen, um die Umsetzung in der Praxis zu erleichtern. Durch die verstärkte stoffliche Nutzung von Holzasche sollen regionale Kreisläufe geschlossen, die Wertschöpfung im ländlichen Raum gesteigert und ein Beitrag zur bayerischen Bioökonomie-Strategie geleistet werden.

1.2 Erklärung der Aschefraktionen

Der Aschegehalt von Brennstoffen wie Waldhackgut, Sägenebenprodukten oder Landschaftspflegematerial variiert erheblich. Während Weichholz einen Aschegehalt von etwa 0,5 % der Trockenmasse (TM) aufweist, liegt dieser bei Rinde bei 5 bis 8 % der TM ([21] [32]). Aus der Praxis werden für große Heizwerke, die Brennstoffe wie Landschaftspflegematerial einsetzen, sogar bis zu 10 % der TM berichtet. In einem Heizwerk fallen, je nach eingesetzter Feuerungstechnik und Brennstoff, verschiedene Arten von Asche an. Diese lassen sich nach ihrem Anfallort im Heizwerk unterscheiden [23].

- **Rost- und Kesselasche** (auch Rostasche, Grobasche, Feuerraumasche, Brennraum-asche): Diese Aschefraktion fällt im Brennraum der Anlage an.
- **Zyklonasche** (auch Feinasche, Flugasche): Nachdem das heiße Abgas den Wärmetauscher durchlaufen hat, passiert es in den meisten Heiz(kraft)werken einen Zyklon oder Multizyklon. In diesem scheidet sich die Zyklonasche ab.
- **Filterasche** (auch Feinstflugasche): Verfügt das Heiz(kraft)werk über einen Elektroabscheider oder Gewebefilter, so fällt als dritte Fraktion die Filterasche an.
- **Kondensatschlamm**: Bei einer Abgaskondensation fällt als weitere Aschefraktion Kondensatschlamm an.

Die Aschefraktionen unterscheiden sich in ihren Zusammensetzungen und damit auch in ihren Eigenschaften. So enthalten beispielsweise die Flugaschen, die im Zyklon und/oder Filter abgeschieden werden, oft hohe Gehalte leichtflüchtiger Schwermetalle wie Cadmium, Blei, Quecksilber oder Zink. Rost- und Kesselaschen sind hingegen häufig nur sehr niedrig mit Schadstoffen belastet und enthalten zahlreiche Pflanzennährstoffe.

Der Anteil der einzelnen Aschefraktionen an der Gesamtaschemenge hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem der Art des eingesetzten Brennstoffs, der Feuerungstechnik und der Bauart der Feuerungsanlage.

Beispielsweise fällt bei der Verbrennung von Holzhackgut in einer Rostfeuerung der größte Teil der Asche als Grobasche an. Bei der Verbrennung von feinen Holzbestandteilen in

einer Wirbelschichtfeuerung hingegen fällt ein größerer Anteil der Asche als Zyklon- und Filterasche an.

Die Kenntnis der verschiedenen Aschefraktionen, ihrer Eigenschaften und ihrer Anfallmengen ist wichtig für die Planung und den Betrieb von Biomasseheizwerken. So müssen beispielsweise die Abscheideranlagen für die verschiedenen Aschefraktionen ausgelegt sein. Auch für die Entscheidung, ob die Asche einer Verwertung oder einer Beseitigung zugeführt wird, ist die Kenntnis der Aschezusammensetzung wichtig.



Abbildung 1: Getrennte Sammlung von Rost- und Filteraschen

1.3 Bedeutung des Qualitätsmanagements bei der Holzascheverwertung

Wird für die Holzasche eine Verwertung angestrebt, insbesondere als Düngemittel oder in der Waldkalkung, sollten Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Aschen genutzt werden. Die variierende Qualität der anfallenden Asche, abhängig vom Brennstoff und der Feuerungstechnik, stellt eine Herausforderung dar. Ohne ein effektives Qualitätsmanagement besteht die Gefahr, dass Schadstoffe wie Schwermetalle in die Umwelt gelangen. Daher ist es wichtig, dass die Aschequalität zuverlässig eingehalten und nachgewiesen werden kann.

Ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) bei der Holzascheverwertung gewährleistet die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, schafft Vertrauen in das Produkt (z. B. das Düngemittel) und erlaubt die Optimierung der Aschequalität, bezogen auf den geplanten Verwertungspfad. Es trägt somit maßgeblich zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und der nachhaltigen Nutzung von Biomasse bei.

Ein QMS schafft insofern Vertrauen bei den Abnehmern und Anwendern von Holzasche, als es die gleichbleibende Qualität und Unbedenklichkeit des Materials garantiert. Durch regelmäßige Kontrollen, Analysen und Zertifizierungen wird sichergestellt, dass die Asche den Anforderungen entspricht und keine unerwünschten Verunreinigungen enthält. Dies fördert die Akzeptanz und den Einsatz von Holzasche als wertvollen Sekundärrohstoff und trägt zur Schließung von Stoffkreisläufen bei.

Ein QMS für die Holzascheverwertung kann folgende Punkte umfassen:

- Kontrolle/Dokumentation der Brennstoffe: Um eine hohe Aschequalität zu gewährleisten, muss die Qualität der eingesetzten Brennstoffe sichergestellt sein.
- Kontrolle des Verbrennungsprozesses: Die Verbrennungstemperatur und andere Parameter sollten überwacht werden, um eine vollständige Verbrennung und niedrige Schadstoffgehalte in der Asche zu gewährleisten.
- Getrennte Erfassung der Aschefraktionen: Die verschiedenen Aschearten (Rost- und Kesselasche, Zyklonasche, Elektroabscheiderasche) sollten getrennt gesammelt werden, um eine Vermischung und mögliche Kontamination zu vermeiden.
- Probenahme und Analytik: Regelmäßige Probenahmen und Analysen der Asche sind notwendig, um die Einhaltung der Grenzwerte für Schwermetalle und andere Schadstoffe zu überprüfen.
- Kennzeichnung und Dokumentation der Aschen: Die Asche sollte korrekt gekennzeichnet und alle relevanten Informationen wie Herkunft, Zusammensetzung und Analyseergebnisse dokumentiert werden.
- Schulung des Personals: Das Personal sollte in Bezug auf die Anforderungen an die Aschequalität, die Handhabung der Asche und die korrekte Probenahme geschult werden.
- Rückverfolgbarkeit: Ein System zur Rückverfolgbarkeit sollte implementiert werden, um die Asche von der Entstehung bis zur Anwendung verfolgen zu können.
- Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung: Bei Überschreitung von Grenzwerten sollten Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung ergriffen werden, wie z. B. die Optimierung des Verbrennungsprozesses oder eine Veränderung der Brennstoffzusammensetzung.
- Zertifizierung: Eine freiwillige Zertifizierung der Asche durch eine unabhängige Stelle, wie die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) zusammen mit der Bundesgütegemeinschaft Holzasche e. V. (BGH) oder die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG), kann das Vertrauen in die Qualität des Produkts erhöhen.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Grenzwerte in Bezug auf die Ascheverwertung

Bei der Entsorgung und insbesondere bei der stofflichen Verwertung von Holzasche müssen zahlreiche rechtliche Aspekte berücksichtigt werden. Holzaschen aus Biomasseanlagen variieren in ihrer Zusammensetzung je nach Brennstoff, Verbrennungsanlage und Filtertechnologie. Sie gelten als Abfall und müssen vor Entsorgung oder Verwertung entsprechend klassifiziert werden. Da Asche zahlreiche Nährstoffe enthält, bietet sich eine Verwertung als Dünger an, entweder als reine Asche oder als Mischkomponente mit Kalkdünger oder Bioabfall/Kompost.

Neben der landwirtschaftlichen Nutzung und der Zumischung zu Bioabfällen gibt es weitere Verwertungsmöglichkeiten für Holzasche. Dazu zählen:

- **Straßen- und Forstwegbau:** Holzasche kann zur Bodenstabilisierung und Verbesserung der Tragfähigkeit von Straßen und Wegen eingesetzt werden.
- **Zuschlagstoff in der Baustoffindustrie:** Es gibt Verfahren, bei denen Holzasche als Zuschlagstoff in der Zementindustrie oder in anderen Baustoffen verwendet wird. Hierfür sind besonders Aschen mit einem hohen Anteil an Calciumoxid geeignet.

Die Qualitätssicherung spielt eine zentrale Rolle, um die Umweltverträglichkeit und die sichere Nutzung der Asche zu gewährleisten. Wenn keine Verwertung möglich ist, muss Asche fachgerecht deponiert werden. Die Verantwortung für die korrekte Klassifizierung und Entsorgung liegt beim Anlagenbetreiber.

Die land- und forstwirtschaftliche Verwertung als Düngemittel bzw. für die Bodenschuttkalkung und die Zumischung zu Bioabfällen/Komposten sind zwei etablierte Verwertungswege in Bayern. Auf diesen Verwertungspfaden soll im Folgenden der Fokus liegen.

Die Düngemittelverordnung (DüMV) [10] regelt die Nutzung von Holzasche als Düngemittel oder Düngemittelkomponente, möglicherweise nach einer Aufbereitung. Voraussetzung dafür ist die Übereinstimmung mit den Anforderungen eines zugelassenen Düngemitteltyps gemäß Anlage 1 der DüMV. Zulässig sind ausschließlich Brennraumaschen aus der Monoverbrennung naturbelassener pflanzlicher Stoffe einschließlich der Aschen aus der ersten Filterstufe im Rauchgasweg, Kondensatfilterschlämme sind ausgeschlossen. Um hochwertige Düngemittel zu erhalten, sollten Aschen unterschiedlicher Anlagenteile aufgrund variierender Belastungen nicht vermischt werden. Voraussetzung für die Verwendung ist die Einhaltung der Grenzwerte für Schwermetalle und Schadstoffe gemäß DüMV (Kapitel 2.5). Brennraumaschen aus unbehandeltem Holz dürfen diese Grenzwerte bis zu 50 % überschreiten, wenn sie ausschließlich für forstliche Standorte vorgesehen und entsprechend gekennzeichnet sind.

Neben Grenzwerten regelt die DüMV auch Mindestgehalte an Nährstoffen und die Typisierung von Düngemitteln. Zusätzlich sind Aschen als Mischkomponente für die Düngemittelherstellung einsetzbar, beispielsweise als Zumischung zu kohlesauerm Kalk (bis 30 %), zu mineralischen Mehrnährstoffdüngern oder zu organisch-mineralischen Düngemitteln.

Abbildung 2 zeigt ein Prüfschema zur Verwertung von Holzaschen. Zunächst wird den Aschen, die ausschließlich aus der Verbrennung von unbehandeltem (naturbelassenem) Holz stammen müssen, ein Abfallschlüssel zugeordnet (Details dazu siehe Kapitel 2.1). Bei Einhaltung der Grenzwerte kommt die Asche als Düngemittel oder als Ausgangsstoff für Düngemittel infrage. Für die Anwendung auf Forststandorten ist eine Überschreitung der Grenzwerte um bis zu 50 % zulässig. Aschen, die diese Schadstoffgrenzwerte nicht einhalten, und Filteraschen, müssen deponiert werden. Mittels Eluatanalyse (Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen in einer wässrigen Lösung) wird die notwendige Deponieklasse für die Beseitigung festgelegt.

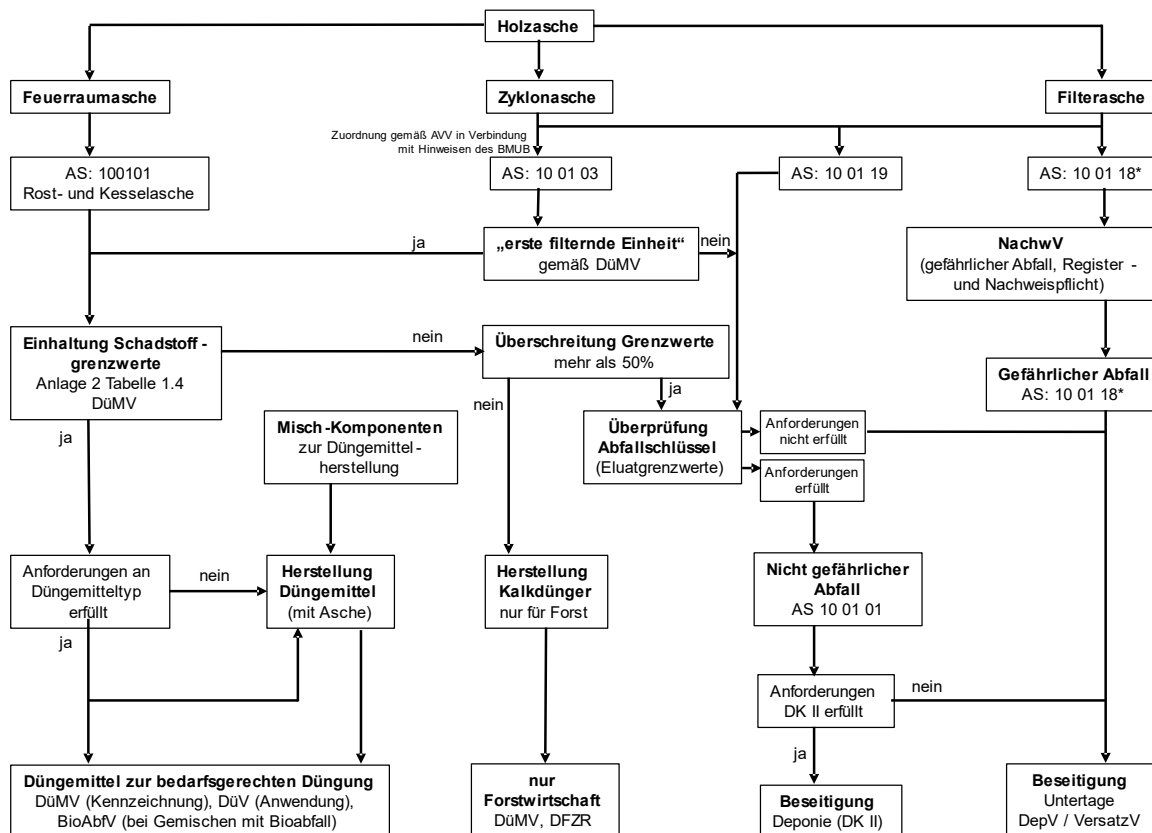


Abbildung 2: Prüfschema zur Holzaschenverwertung von unbehandeltem Holz nach [21] (BMUB: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, AVV: Abfallverzeichnisverordnung, AS: Abfallschlüssel, DüMV: Düngemittelverordnung, DüV: Düngeverordnung, BioAbfV: Bioabfallverordnung, DFZR: Deutscher Forst-Zertifizierungsrat, DK: Deponieklasse, NachwV: Nachweisverordnung, DepV: Deponieverordnung, VersatzV: Versatzverordnung)

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Holzaschen im Rahmen der Bioabfallverwertung, in Mischungen mit Bioabfall, Kompost oder Gärrückständen (nicht abgebildet).

2.1 Kurzdarstellung der Gesetze und Verordnungen zur Aschentsorgung

Die folgende Aufzählung enthält die wichtigsten Gesetze und Verordnungen, die bei der Entsorgung von Aschen aus Biomassefeuerungen zur Anwendung kommen. Der Begriff ‚Entsorgung‘ umfasst die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen. Letztere erfolgt bei Aschen durch Deponierung.

Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG): Das KrWG [9] bildet den rechtlichen Rahmen für die gesamte Abfallwirtschaft in Deutschland, einschließlich der Ascheverwertung. Es schreibt vor, dass die Verwertung von Abfällen grundsätzlich der Beseitigung vorzuziehen ist. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) betrachtet Asche aus der Verbrennung von Biomasse zunächst als Abfall. Das KrWG räumt der Verwertung von Abfall jedoch Vorrang vor der Entsorgung ein, wenn immer möglich. Dies bedeutet, dass die Deponierung von Rostasche nur dann zulässig ist, wenn eine Verwertung nicht möglich ist. Die Einstufung von Rostasche als Abfall im KrWG hat direkte Auswirkungen auf den Umgang mit ihr:

- **Getrennthaltungsgebot:** Gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz muss Rostasche nach Möglichkeit getrennt von anderen Aschefractionen, wie z. B. Flugasche, erfasst werden.
- **Vermischungsverbot:** Das Mischen von Aschefractionen zum Zweck der Verdünnung von Schadstoffen ist nicht erlaubt.
- **Verwertungspflicht:** Das Kreislaufwirtschaftsgesetz schreibt vor, dass Abfälle, die verwertet werden können, nicht deponiert werden dürfen. Die Verwertung von Rostasche hat somit Vorrang vor der Beseitigung, z. B. durch Deponierung.
- **Nachweispflicht:** Gemäß Nachweisverordnung (NachwV) müssen Betreiber von Anlagen, die Rostasche erzeugen, die ordnungsgemäße Entsorgung oder Verwertung der Asche nachweisen können.

Das KrWG gibt allerdings keine spezifischen Regelungen für Rostasche vor. Für die Verwertung von Rostasche sind weitere Gesetze und Verordnungen relevant, z. B.: Düngemittelverordnung (DüMV): Die DüMV enthält detaillierte Vorgaben für die Verwendung von Rostasche als Düngemittel oder als Ausgangsstoff für Düngemittel. So dürfen Aschen, die in Düngemitteln verwendet werden, nur aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz stammen (Kapitel 2.3). Zu weiteren Informationen zum KrWG siehe Kapitel 2.2.

Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV): Die AVV [12] dient der Einordnung von Abfällen in Abfallschlüssel. Für Holzaschen existieren verschiedene Abfallschlüssel, abhängig von Faktoren wie Verbrennungsanlage und Art der Asche (z. B. Rostasche, Filterasche). Die AVV unterscheidet zudem zwischen gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen, was Auswirkungen auf Nachweisführung und Verwertungsmöglichkeiten hat.

Aschen gelten, wie oben schon erwähnt, als Abfall im Sinn des KrWG. Vor der Verwertung oder Beseitigung von Holzaschen muss der Abfall entsprechend charakterisiert und eingestuft werden. Abfälle werden, je nach Art und Herkunft, bestimmten Abfallschlüsseln der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) zugeordnet (siehe auch Kapitel 2.2). Für Holzaschen stehen in der AVV verschiedene Abfallschlüssel zur Verfügung. Die Abfallschlüssel für Verbrennungsanlagen beginnen mit 10. Eine weitere Unterteilung erfolgt danach, ob es sich um Rostaschen oder Filterstäube handelt und ob diese gefährliche Stoffe enthalten.

Die Zuordnung von Aschen zu einem zutreffenden Abfallschlüssel nach AVV erfolgt in Abhängigkeit vom Anfallort und den eingesetzten Brennstoffen zunächst nach sogenannten Regelvermutungen.

Bei der ausschließlichen Verbrennung von unbehandeltem Holz in Energieerzeugungsanlagen geht die AVV-Systematik davon aus, dass Feuerraumaschen entstehen, die keine gefährlichen Stoffe enthalten, und ordnet solche Aschen dem Abfallschlüssel 10 01 01 zu. Für Zyklonasche aus der Verbrennung von naturbelassenem (unbehandeltem) Holz gilt der Abfallschlüssel 10 01 03.

Der Abfallschlüssel 10 01 19 steht für „Abfälle aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 05, 10 01 07 und 10 01 18 fallen“. Es handelt sich hierbei um eine Kategorie, die Abfälle umfasst, die bei der Reinigung von Abgasen entstehen, insbesondere Filterstäube. Im Zusammenhang mit Holzaschen bezieht sich dieser Schlüssel in der Regel auf Filterasche oder Feinstflugasche, die in Elektro- oder Gewebefiltern anfällt (siehe auch Kapitel 2.2).

Ein mit Asterisk (*) gekennzeichneteter Abfallschlüssel-Spiegeleintrag für gefährlichen Abfall existiert für diese Aschen im Kapitel 10 der AVV nicht. Allerdings ist die Verwendung von Aschen aus dem Rauchgasweg mit Ausnahme der ersten filternden Einheit (in der Regel der Zyklon) als Ausgangsstoff für Düngemittel nicht zulässig.

Sofern für diese Filteraschen jedoch keine Analysen vorliegen oder sie gefährliche Stoffe enthalten, sind sie dem AVV-Schlüssel 10 01 18* zuzuordnen. Mit Asterisk (*) gekennzeichnete AVV-Schlüssel sind gefährliche Abfälle. Aschen, die unter den AVV-Schlüssel 10 01 18* fallen, unterliegen damit der Register- und Nachweispflicht nach der Nachweisverordnung (NachwV). Die Einstufung als gefährlicher oder nicht gefährlicher Abfall erfolgt nach § 3 Abs. 2 AVV. Zu weiteren Informationen zur AVV siehe Kapitel 2.2.

Düngemittelverordnung (DüMV): Die DüMV [10] regelt die Anforderungen an Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate, die in Deutschland in Verkehr gebracht werden. Für die Verwertung von Asche als Düngemittel in der Land- und Forstwirtschaft ist die DüMV daher von zentraler Bedeutung. Sie legt unter anderem Grenzwerte für Schadstoffe und Anforderungen an die Kennzeichnung fest.

Die Düngemittelverordnung (DüMV) enthält spezifische Bestimmungen für Aschen, die in Düngemitteln verwendet werden. Demnach dürfen sie ausschließlich aus der Verbrennung naturbelassener pflanzlicher Ausgangsstoffe stammen und nur Rost- und Kesselasche verwendet werden, da sich leichtflüchtige Schwermetalle in den Flugaschen anreichern. Die Asche aus der ersten filternden Einheit im Abgasweg eines Heizwerks (i.d.R. Zyklonasche) ist, darf auch als Düngemittel verwertet werden.

Die Asche darf als Komponente bei der Düngemittelherstellung oder direkt als Düngemittel verwendet werden, wenn die Grenzwerte der DüMV eingehalten werden. Aschen, die die Grenzwerte der DüMV um bis zu 50 % überschreiten, dürfen auf forstlichen Standorten angewendet werden, wenn sie entsprechend gekennzeichnet sind.

Zwei häufig erzeugte und laut DüMV zulässige Düngemitteltypen für Asche sind:

Kohlensaurer Kalk: Mindestgehalt 70 % an Calciumcarbonat (CaCO_3) bei Zugabe von maximal 30 % Brennraumasche von unbehandelten Pflanzenteilen. Enthält im Wesentlichen Calciumcarbonat, daneben auch Magnesiumcarbonat. Das Düngemittel muss gekennzeichnet sein mit dem Hinweis „Enthält basisch wirksame Pflanzenasche“.

Kalkdünger aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe: Mindestgehalt 15 % Calciumoxid (CaO) in der TM bei ausschließlicher Verwendung von Aschen pflanzlicher Herkunft. Enthält im Wesentlichen Oxide, Hydroxide, Silikate oder Carbonate von Calcium und Magnesium.

Die Abgabe mineralischer Düngemittel mit Holzasche darf nur in granulierter oder staubgebundener Form erfolgen. Der Siebdurchgang bei 0,1 mm Siebweite darf maximal 0,2 % betragen, bei 0,05 mm sind es maximal 0,05 % und bei 0,01 mm maximal 0,005 %.

Gemäß DüMV ist eine Kennzeichnung von Düngemitteln, die Asche enthalten, vorgeschrieben. Diese Kennzeichnung muss in deutscher Sprache erfolgen und Angaben zu Düngemitteltyp, Nährstoffgehalten, Nährstoffformen und Löslichkeiten, Gefahrstoffgruppen nach Gefahrstoffverordnung sowie den Namen des Inverkehrbringers enthalten.

Bioabfallverordnung (BioAbfV): Die BioAbfV [16] regelt die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Sollen Asche-Kompost-Mischungen auf solchen Flächen angewendet werden, kommen die Vorgaben der BioAbfV zur Anwendung. Entscheidend ist, wie die Asche dem Kompost zugemischt wird.

Im ersten Fall erfolgt die Zugabe zu noch nicht fertigem Kompost – dann ist die entstehende Mischung wieder ein Kompost (und kein Gemisch nach BioAbfV). Die BioAbfV stuft die zugegebene Asche als zulässigen Zuschlagstoff ein, der selbst keinem Düngemitteltyp entsprechen muss. Laut Anhang 1 Nr. 2 BioAbfV sind Rost- und Kesselaschen, die aus der Verbrennung naturbelassener pflanzlicher Materialien stammen und unter den Abfallschlüssel 10 01 01 fallen, für die gemeinsame Behandlung mit Bioabfällen geeignet (§ 2 Nr. 4). Materialien, die als Aschen aus der letzten filternden Einheit im Rauchgasweg oder als Kondensatfilterschlämme anfallen, sind keine zulässigen Abfälle. KEHRES (2016) [25] weist darauf hin, dass die „stabilisierende Behandlung“ nach § 2 Nr. 2a BioAbfV zeitlich nicht eingegrenzt ist. Damit ist eine Zugabe der Asche z. B. auch nach der Absiebung vor der Nachrotte auf dem Lager möglich, ohne dass ein Gemisch im Sinn der BioAbfV entsteht.

Der zweite Fall ist die Vermischung von fertigem Kompost mit Asche. Die Asche muss dafür einem Düngemittel oder Ausgangsstoff für Düngemittel nach DüMV entsprechen und die entstehende Mischung ist ein Gemisch nach BioAbfV. KEHRES (2013) [24] merkt an, dass damit ein „organisch-mineralisches Düngemittel“ nach Anlage 1 Abschnitt 3.2 DüMV entsteht. Für eine Mischung aus Asche und Kompost wird meist die Unterkategorie „Organisch-mineralischer PK-Dünger“ infrage kommen. Für diesen Düngemitteltyp sind Mindestnährstoffgehalte in Höhe von 0,5 % P_2O_5 (Phosphat) und 1 % K_2O (Kali) in der Trockenmasse vorgeschrieben (siehe auch Kapitel 2.3).

Deponieverordnung (DepV): Die DepV [13] regelt die Anforderungen an die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung von Deponien. Aschen, die nicht verwertet werden können, müssen beseitigt werden, sodass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Die Deponiefähigkeit richtet sich nach den Vorgaben der DepV für Deponien der Klassen I bis IV. Zuordnungskriterien sind überwiegend nicht die Feststoffgehalte, sondern die Auslaugfähigkeit der einzelnen Schadstoffe. Feuerraumaschen sind in der Regel so gering mit Schadstoffen belastet, dass die meisten Zuordnungswerte für die Ablagerung auf einer Deponie der Klassen I oder II (Anhang 3 DepV) unterschritten werden. Ausnahmen bilden der organische Gehalt in der Originalsubstanz und im Eluat und der wasserlösliche Anteil der Feuerraumaschen, die teilweise sogar die Zuordnungswerte der Deponieklasse III (Anhang 3 DepV) überschreiten. Für Flugaschen, in denen Schadstoffe wie Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Zink angereichert sind, kommt zum Teil nur eine untertägige Deponierung infrage.

Versatzverordnung (VersatzV): Die VersatzV [17] regelt die Verwendung von Abfällen als Versatzmaterial im Bergbau, um Hohlräume zu verfüllen und Stabilität zu gewährleisten. Die Verordnung stellt Anforderungen an die verwendeten Materialien, um Umweltschäden zu vermeiden. Filterasche kann Schadstoffe enthalten, daher muss vor ihrem Einsatz als Versatz sichergestellt sein, dass sie die Grenzwerte der Verordnung einhält und keine Gefährdung für Boden, Wasser oder Luft darstellt. Zusätzlich gibt es von Bergwerk zu Bergwerk unterschiedliche Anforderungsprofile für das Versatzmaterial. Sie richten sich nach den bauphysikalischen Anforderungen vor Ort, den Anforderungen an das zulässige Schadstoffinventar und ggf. Bestimmungen zum Arbeitsschutz [3]. Filterasche, z. B. aus Müllverbrennungsanlagen oder anderen Verbrennungsanlagen, kann aufgrund ihrer Eigenschaften, wie Festigkeit und Verfügbarkeit als Versatzmaterial, eingesetzt werden, falls sie oben genannten Anforderungen entspricht.

Nachweisverordnung (NachwV): Die NachwV [14] regelt die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen, insbesondere von gefährlichen Abfällen. Für Aschen, die als gefährliche Abfälle eingestuft werden, gelten die Nachweispflichten der NachwV.

Zusätzlich zu den genannten Gesetzen und Verordnungen können weitere Rechtsvorschriften relevant sein, beispielsweise das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) für den Betrieb von Feuerungsanlagen, aus denen die Asche stammt.

2.2 Verwertung von Holzasche aus Sicht des Abfallrechts

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) bildet den rechtlichen Rahmen für die Verwertung von Holzasche in Deutschland. Es definiert Asche als Abfall, da sie bei der Energiegewinnung anfällt und nicht der primäre Zweck der Holzverbrennung ist. Gemäß Abfallhierarchie nach § 6 KrWG hat die Verwertung von Abfällen Vorrang vor der Beseitigung („Verwertung vor Beseitigung“).

Entscheidend für die Verwertungsmöglichkeiten sind die Zuordnung der Asche zu einem Abfallschlüssel nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) und die Einstufung als gefährlicher oder nicht gefährlicher Abfall.

Abfallschlüssel: Die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) enthält verschiedene Abfallschlüssel für Holzaschen, abhängig von der Art der Verbrennungsanlage und der Aschefraktion (z. B. Rostasche, Filterasche). Die Zuordnung zu einem Abfallschlüssel erfolgt anhand der Herkunft der Asche (Art der Anlage und des Verbrennungsprozesses) und ihrer Zusammensetzung (gefährliche Stoffe). Mit Asterisk (*) gekennzeichnete Spiegeleinträge erfordern eine Prüfung auf gefährliche Eigenschaften. Die Verantwortung für die korrekte Deklaration liegt beim Abfallerzeuger.

Die relevanten Abfallschlüssel für Holzasche finden sich in Kapitel 10 AVV Verbrennungsanlagen:

- **10 01 01:** Rost- und Kesselasche, Schlacken und Kesselstaub (ausgenommen Kesselstaub nach 10 01 04). Dieser Schlüssel findet in der Regel bei der Verbrennung von unbehandeltem Holz in Energieerzeugungsanlagen Anwendung, wenn keine gefährlichen Stoffe enthalten sind.
- **10 01 03:** Filterstäube aus Torffeuerung und Feuerung mit (unbehandeltem) Holz.
- **10 01 18*:** Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten. Dieser Schlüssel wird für Filteraschen verwendet, wenn keine Analysen vorliegen.
- **10 01 19:** Abfälle aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 05, 10 01 07 und 10 01 18 fallen.

Die Zuordnung zum richtigen Abfallschlüssel ist entscheidend für die Verwertungswege der Asche (z. B. Düngemittel, Versatzmaterial, Deponierung).

Für die Verwertung als Düngemittel sind neben dem Abfallschlüssel auch die Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) relevant.

Gefährlicher oder nicht gefährlicher Abfall: Die Einstufung als gefährlich oder nicht gefährlich richtet sich nach den Inhaltsstoffen der Asche, insbesondere Schadstoffen (Schwermetalle und organische Schadstoffe). Für die Einstufung als gefährlicher Abfall ist § 3 Abs. 2 AVV in Verbindung mit den Hinweisen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Anwendung der AVV vom 10. Dezember 2012 [15] relevant. Gefährliche Abfälle unterliegen strengeren Nachweispflichten nach der Nachweisverordnung (NachwV).

Das deutsche Abfallrecht, insbesondere das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), fördert nachdrücklich die Verwertung von Abfällen gegenüber ihrer Beseitigung, sofern dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Holzasche, obwohl zunächst als Abfall klassifiziert, bietet aufgrund ihrer Zusammensetzung verschiedene Verwertungspfade, die im Einklang mit dem Abfallrecht stehen und sogar bevorzugt werden sollten. Das Abfallrecht schreibt vor, unterschiedliche Aschefraktionen (z. B. Rost- und Kesselasche, Filterasche) getrennt zu sammeln, wenn eine Vermischung dazu führen könnte, dass die Verwertungsmöglichkeiten eingeschränkt werden. Der Betreiber der Feuerungsanlage trägt die Verantwortung für die korrekte Deklaration und Entsorgung der anfallenden Asche.

Die Verwendung von Holzasche als Düngemittel oder zur Herstellung von Düngemitteln ist eine gängige und vom Abfallrecht unterstützte Verwertungsmethode. Voraussetzung hierfür ist, dass die Asche die strengen Qualitätsanforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) erfüllt, insbesondere hinsichtlich der Grenzwerte für Schadstoffe. Auch bei der Zumischung von Holzasche zu Bioabfällen im Rahmen der Bioabfallverordnung sind diese Grenzwerte zu beachten.

Die Versatzverordnung (VersatzV) regelt die Nutzung von Asche als Versatzmaterial in untätigen Grubenbauen. Diese Verwertung trägt zur Stabilisierung der Hohlräume bei und stellt eine sinnvolle Alternative zur Deponierung dar.

Obwohl das Abfallrecht die Verwendung von Holzasche im Bauwesen grundsätzlich ermöglicht, ist Verwendung von Aschen im Bauwesen aufgrund strenger Anforderungen und der Heterogenität der Asche in der Praxis oft schwierig umzusetzen. Zukünftige Entwicklungen könnten jedoch zu einer verstärkten Nutzung in diesem Bereich führen.

2.3 Verwertung von Holzasche aus Sicht des deutschen Düngemittelrechts

Holzasche kann als Düngemittel verwertet werden, unterliegt aber strengen rechtlichen Vorgaben. Die deutsche Düngemittelverordnung (DüMV) regelt die Verwendung von Holzasche als Düngemittel.

Es dürfen nur Aschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz verwendet werden, das heißt Holz, das nicht chemisch behandelt wurde. Aschen aus dem Rauchgasweg (außer der ersten filternden Einheit) und Kondensatfilterschlämme sind nicht zulässig.

Die DüMV legt Grenzwerte für Schadstoffe fest, die in der Asche enthalten sein dürfen, um schädliche Auswirkungen auf Boden und Pflanzen zu vermeiden.

Zulässig sind in erster Linie **Rost- und Kesselasche**, während **Filteraschen** (z. B. Zyklonasche) nur zulässig sind, wenn der jeweilige Filter die erste filternde Einheit im Rauchgasweg darstellt.

Die Holzasche muss die **Schwermetallgrenzwerte** der DüMV (Anlage 2, Tabelle 1.4) einhalten, um eine Schadstoffanreicherung im Boden zu verhindern (Kapitel 2.5). Besonders relevant sind die Grenzwerte für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom(VI), Nickel, Quecksilber und Thallium. In der Praxis wurde eine häufige Überschreitung des Chrom(VI)-Gehalts beobachtet. Eine Aufbereitung der Asche, beispielsweise durch Anfeuchten oder Vermischen der Aschen mit Organik reduziert den Chrom(VI)-Gehalt (siehe auch Kapitel 5.4).

Die häufigsten Düngemitteltypen für Aschen sind:

- **Kalkdünger:** Holzasche kann unvermischt als Kalkdünger verwendet werden, wenn sie mindestens 15 % CaO in der Trockenmasse enthält (bei ausschließlicher Verwendung von Aschen). Ansonsten gilt ein Mindestgehalt von 30 % CaO.
- **Zuschlagstoff:** Holzasche kann bis zu 30 % dem Düngemitteltyp „Kohlensaurer Kalk“ beigemischt werden.

Außerdem kann die Asche auch mineralischen Mehrnährstoffdüngern oder organisch-mineralischen Düngemitteln ohne Mengenbegrenzung zugegeben werden (zu den Düngemitteltypen siehe auch Kapitel 2.5). Dabei muss der fertige Dünger in granulierter oder staubgebundener Form vorliegen, um eine gleichmäßige Ausbringung und geringe Staubbelastung zu gewährleisten. Die Mindestnährstoffgehalte des jeweiligen Düngemitteltyps müssen eingehalten werden. Und um eine sichere und bestimmungsgemäße Anwendung zu gewährleisten, muss die Asche eine den Vorgaben der DüMV entsprechende Kennzeichnung aufweisen.

Die Rückführung von Holzasche auf forstliche Flächen ist im deutschen Recht nur begrenzt möglich. Sie kommt infrage, wenn ein Nährstoffmangel behoben oder die Bodenfruchtbarkeit erhalten/wiederhergestellt werden soll.

Die Grenzwerte für Schadstoffe dürfen bei der Rückführung auf forstliche Flächen um bis zu 50 % überschritten werden, wenn die Asche ausschließlich auf diesen Flächen verwendet und dies in der Kennzeichnung deutlich gemacht wird.

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) und die Bundesgütegemeinschaft Holzasche e. V. (BGH) bieten ein freiwilliges Zertifizierungssystem für Holzasche an. Das RAL-Gütezeichen „GZ 252 Dünger oder Ausgangsstoff für Dünger“ garantiert die Einhaltung der Qualitätsstandards und erleichtert die Vermarktung der Holzasche.

Neben der DüMV sind bei der Verwertung von Holzasche als Düngemittel weitere Rechtsvorschriften zu beachten, wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [9], die Bioabfallverordnung (BioAbfV) [16] und die Düngeverordnung (DüV) [34].

Das KrWG schreibt vor, dass die Verwertung von Abfällen grundsätzlich Vorrang vor der Beseitigung hat. Die BioAbfV regelt die Verwendung von Aschen in Verbindung mit Bioabfällen. Die DüV enthält Vorgaben für eine gute fachliche Praxis bei der Düngung.

Die landwirtschaftliche Verwertung von Holzasche ist in Deutschland also grundsätzlich möglich, unterliegt aber strengen Vorgaben. Die Einhaltung der Grenzwerte der DüMV ist entscheidend für den Schutz von Boden und Grundwasser.

2.4 Verwertung von Holzasche aus Sicht des europäischen Düngemittelrechts

Die EU-Düngeprodukteverordnung [20] gilt in Deutschland seit dem 16. Juli 2022. Sie hat die bisherige EG-Düngemittelverordnung abgelöst und brachte einige Änderungen für Hersteller und Anwender von Düngemitteln mit sich. So erweiterte sich der Anwendungsbereich auf mehr Produktarten, eine CE-Kennzeichnung wurde eingeführt und es gelten strengere Anforderungen an Schadstoffgrenzwerte, Hygienebedingungen, Kennzeichnung und Marktüberwachung.

Die Umwandlung von Asche in ein EU-konformes Düngemittel nach den Vorschriften der EU-Düngeprodukteverordnung erfordert mehrere Schritte, die sowohl die Produktentwicklung als auch die Konformitätsbewertung umfassen. Um die Anforderungen der Verordnung zu erfüllen, müssen die Dünger bestimmte Komponentenmaterialkategorien (CMC) und Produktfunktionskategorien (PFC) erfüllen. Erstere definieren die zulässigen Ausgangsmaterialien und Inhaltsstoffe, die zur Herstellung von EU-Düngeprodukten verwendet werden dürfen. Jede CMC umfasst eine Gruppe von Materialien mit ähnlichen Eigenschaften und Herkünften. Die Zuordnung eines Düngemittels zu einer oder mehreren CMC ist entscheidend, da sie die zulässigen Inhaltsstoffe und deren Grenzwerte festlegt. Einer PFC wird ein Düngemittel anhand seiner primären Funktion und spezifischen Eigenschaften zugeordnet. Insgesamt gibt es sieben Hauptkategorien. Die Zuordnung zu einer bestimmten PFC ist von entscheidender Bedeutung, da sie die konkreten Anforderungen und Kriterien definiert, die ein Produkt erfüllen muss, um als EU-Düngeprodukt zugelassen und vermarktet werden zu dürfen.

Die Zuordnung von Holzasche zu einer spezifischen PFC oder CMC hängt von ihrer jeweiligen Zusammensetzung ab und muss im Einzelfall geprüft werden. Es ist möglich, dass Holzasche in mehrere Kategorien eingeordnet wird.

Für Asche kommt sowohl die Komponentenmaterialkategorie (CMC) 1: „Stoffe und Gemische aus unbearbeiteten Rohstoffen“ als auch CMC 11: „Nebenprodukte im Sinne der Richtlinie 2008/98/EG“ infrage. Die spezifischen Anforderungen für diese Kategorie müssen erfüllt sein, d. h., die Asche muss z. B. für CMC 11 als Nebenprodukt klassifiziert und auf Schadstoffe und hygienische Unbedenklichkeit geprüft werden.

Die beabsichtigte Funktion des Düngeprodukts bestimmt seine Produktfunktionskategorie (PFC). Für Asche wäre eine Einordnung in Kategorie 1 (Düngemittel), Kategorie 2 (Bodenverbesserungsmittel) und ggf. Kategorie 7 (Düngeproduktmischung) möglich.

Wenn die Asche also beispielsweise zur Nährstoffversorgung von Pflanzen dienen soll, fällt das Endprodukt in die Produktfunktionskategorie 1: Düngemittel, was weitere spezifische Anforderungen an Nährstoffgehalte, Wirksamkeit und Sicherheit mit sich bringt.

Basierend auf der CMC und der gewählten PFC muss das entsprechende Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Anhang IV der Verordnung (EU) 2019/1009 durchgeführt werden. Dies kann Module wie A (interne Fertigungskontrolle), A1 (interne

Fertigungskontrolle mit überwachten Produktprüfungen), B + C (EU-Typprüfung und Konformitätserklärung) oder D1 (Qualitätssicherung) umfassen.

Für den Anwendungsbereich PFC 1: Düngemittel wird Modul A1 angewendet. Hierbei überwacht eine notifizierte Stelle die Produktprüfungen und bestätigt die Einhaltung aller relevanten Vorschriften. Der Hersteller muss technische Unterlagen erstellen, einschließlich einer Risikoanalyse, um die Sicherheit und Wirksamkeit des Düngers zu belegen.

Die notifizierte Stelle ist eine unabhängige Organisation, die von einer nationalen Behörde (in Deutschland ist das die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, BLE) offiziell anerkannt und benannt wurde. Diese notifizierten Stellen sind für die Durchführung von Konformitätsbewertungsverfahren zuständig. Das bedeutet, sie überprüfen, ob ein Düngeprodukt alle Anforderungen der Verordnung erfüllt, bevor es mit der CE-Kennzeichnung versehen und in der EU verkauft werden darf.

Nach erfolgreicher Bewertung darf der Hersteller die CE-Kennzeichnung zusammen mit der Kennnummer der notifizierten Stelle anbringen, was die Konformität mit den EU-Standards signalisiert. Zusätzlich muss eine EU-Konformitätserklärung ausgestellt und zusammen mit den technischen Unterlagen für fünf Jahre aufbewahrt werden.

Weitere Informationen zur Umsetzung der EU-Düngeprodukteverordnung in Deutschland stellt die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung zur Verfügung [6] [7] [8].

2.5 Relevante Grenzwerte für die stoffliche Verwertung von Holzasche als Düngemittel

Die Düngemittelverordnung (DüMV) legt fest, dass Aschen, die in Düngemitteln verwendet werden sollen, ausschließlich aus der Verbrennung von unbehandelten pflanzlichen Materialien stammen dürfen (Anlage 2, Tabelle 7.1). Aufgrund der Anreicherung leichtflüchtiger Schwermetalle in Flugaschen ist lediglich die Verwendung von Rost- und Kesselasche sowie von Aschen aus dem Rauchgasweg zulässig, wenn diese aus der ersten filternden Einheit stammen. (DüMV, Anlage 2, Tabelle 7.3.16). Bei diesen Aschen aus der ersten filternden Einheit handelt es sich in der Regel um Zyklonaschen. Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) stellt klar, dass der in der DüMV verwendete Begriff ‚Brennraumasche‘ den allgemein gebräuchlichen Bezeichnungen „Feuerraumasche“, „Grobasche“ oder „Rostasche“ entspricht [29].

Abhängig vom Verwendungszweck gelten für Aschen unterschiedliche Grenzwerte. Die jeweiligen Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV) sind in Tabelle 1 aufgeführt. Kupfer und Zink werden gemäß DüMV (Tabelle 1.4) nicht als Schadstoffe, sondern als Spurennährstoffe eingestuft. Gemäß DüMV, Anlage 1, Abschnitt 4.1.1 gelten für diese eine Kennzeichnungsschwelle (ab 200 mg/kg TM) sowie Höchstgehalte. Für Kupfer (Cu) liegt dieser bei 900 mg/kg TM für die Ausbringung auf Ackerflächen bzw. bei 2.000 mg/kg TM für die forstwirtschaftliche Nutzung. Der Höchstgehalt für Zink (Zn) beträgt 5.000 mg/kg TM.

Tabelle 1: *Grenzwerte bzw. Höchstgehalte (in Klammern) für Holzaschen nach der aktuellen DüMV und BioAbfV*

Element	Einheit	aktuelle Grenzwerte		
		DüMV	DüMV (Forst)	BioAbfV
Arsen	mg/kg TM	40	60	–
Blei	mg/kg TM	150	225	150
Cadmium	mg/kg TM	1,5	2,25	1,5
Chrom, gesamt	mg/kg TM	–	–	100
Chrom(VI)	mg/kg TM	2	–	–
Kupfer	mg/kg TM	(900)	(2.000)	100
Nickel	mg/kg TM	80	120	50
Quecksilber	mg/kg TM	1	1,5	1
Thallium	mg/kg TM	1	1,5	0
Zink	mg/kg TM	(5.000)	(5.000)	400
PFT	mg/kg TM	0,1	0,15	–
I-TE Dioxine und dl-PCB	ng WHO-TEQ/kg TM	30	45	–

Nach der DüMV muss ein Dünger einem bestimmten Düngemitteltyp entsprechen, um in Deutschland legal verwendet und verkauft werden zu können. Jeder Düngemitteltyp hat spezifische Anforderungen hinsichtlich der Zusammensetzung.

Erreichen die Aschen 15 % CaO in der Trockenmasse, können sie als Düngemitteltyp „Kalkdünger aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe“ angesprochen werden. Der Düngemitteltyp „Kohlensaurer Kalk“ darf maximal 30 % Rost- und Kesselaschen enthalten. Bei der Ascheverwertung zu einem Düngemittel wird meist einer dieser beiden Düngemitteltypen erzeugt. Wenn Mindestgehalte an K_2O und/oder P_2O_5 eingehalten werden, wäre auch der Düngemitteltyp „Kaliumdünger“, „Mineralischer PK-Dünger“ oder „Organisch-mineralischer PK-Dünger“ möglich (Tabelle 2).

Die Vermischung von Asche mit unbehandeltem Bioabfall ist grundsätzlich möglich, sofern der fertige Kompost die Grenzwerte der BioAbfV einhält [25]. Die Vermischung von Asche mit fertigem Kompost ist ebenfalls möglich, allerdings gelten hier strengere Anforderungen. Die Asche muss dafür den Anforderungen der DüMV als Düngemittel oder Ausgangsstoff für Düngemittel entsprechen.

Tabelle 2: *Auswahl möglicher Düngemittel-Typen für Holzaschen nach DüMV (verändert nach [23])*

Typenbezeichnung	Mindestgehalte	Wesentliche Zusammensetzung, Art der Herstellung, besondere Bestimmungen	Fundstelle DüMV
Kohlensaurer Kalk	70 % CaCO_3	Calciumcarbonat, daneben auch Magnesiumcarbonat, maximal 30 % Brennraumasche von unbehandelten Pflanzenteilen. Das Düngemittel muss mit dem Hinweis „Enthält basisch wirksame Pflanzenasche“ gekennzeichnet sein.	Anlage 1, Abschnitt 1.4.1 i. V. m. Anlage 2, Tab. 7.3, Z. 7.3.16
Kalkdünger aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe	15 % CaO in der TM	Oxide, Hydroxide, Silicate oder Carbonate von Calcium und Magnesium, Brennraumaschen von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen, bei ausschließlicher Verwendung von Aschen pflanzlicher Herkunft	Anlage 1, Abschnitt 1.4.6 i. V. m. Anlage 2, Tab. 6.4, Z. 6.4.11
Kaliumdünger aus der Aufbereitung von Aschen	10 % K_2O	Wasserlösliches Kaliumoxid, Brennraumaschen von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen	Anlage 1, Abschnitt 1.3.4 i. V. m. Anlage 2, Tab. 6.3., Z. 6.3.3
Mineralischer PK-Dünger aus Asche aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe	2 % P_2O_5 3 % K_2O	Auf chemischem Wege, durch Mischen [...] gewonnenes Erzeugnis, auch unter ausschließlicher Verwendung von Aschen aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe, bei trockenem Material Granulierung	Anlage 1, Abschnitt 2.3 i. V. m. Anlage 2, Tab. 7.3., Z. 7.3.16
Organisch-mineralischer PK-Dünger	0,5 % P_2O_5 , 1,0 % K_2O	Auch Zugabe von Asche aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe	Anlage 1, Abschnitt 3.2 i. V. m. Anlage 2, Tab. 7.3, Z. 7.3.16

Sollte eine Verwertung der Aschen nicht möglich sein und eine Beseitigung, wie beispielsweise eine Deponierung, erforderlich werden, sind unter anderem die Deponieverordnung (DepV) [13] sowie ggf. die Versatzverordnung (VersatzV) [17] zu berücksichtigen (siehe Abbildung 2 sowie Kapitel 2.2 und 4.3.3).

3 Typische Zusammensetzung von Rostaschen

Rost- und Kesselaschen stellen aufgrund ihres hohen Gehalts an wichtigen Pflanzennährstoffen wie Calcium, Kalium, Magnesium und Phosphor eine wertvolle Möglichkeit zur Bodenverbesserung dar. Ihre basische Wirkung und die enthaltenen Nährstoffe tragen zur Aufwertung des Bodens bei, gleichen Nährstoffdefizite aus und fördern das Pflanzenwachstum. Durch den gezielten Einsatz von Rost- und Kesselaschen kann die landwirtschaftliche Produktivität gesteigert und gleichzeitig die Umweltbelastung durch den Einsatz mineralischer Düngemittel reduziert werden.

Die Nährstoffgehalte in Rost- und Kesselaschen aus der Holzverbrennung variieren innerhalb bestimmter Bereiche. Laut eigenen Untersuchungen [2] und verglichenen Ergebnissen aus relevanter Literatur [28] [29] liegen die Nährstoffgehalte bei durchschnittlich 25 bis 45 m-% TM Calciumoxid (CaO), 3 bis 7 m-% TM Kaliumoxid (K_2O), 2 bis 3 m-% Magnesiumoxid (MgO) und 2 bis 3,6 m-% TM Phosphat (P_2O_5). Für Phosphat und Kalium werden teilweise auch noch höhere Werte berichtet [21]. Der pH-Wert dieser Aschen variiert zwischen pH11 und pH13, der Glühverlust liegt (meist deutlich) unter 5 %. Außer wenn eine Befeuchtung stattfindet, sind die Aschen sehr trocken (ca. 0,5 m-% Wassergehalt). Bei nass entaschenden Anlagen werden Wassergehalte zwischen 20 und über 30 % beobachtet.

Beispielhaft zeigt Abbildung 3 die Hauptnährstoffgehalte von 26 Rost- und Kesselascheanalysen aus 18 bayerischen Heiz(kraft)werken. Die Ergebnisse werden als sogenannte Boxplots dargestellt. Ein Boxplot ist eine grafische Darstellung, die hilft, die Verteilung von Daten zu verstehen. Die zentrale Box zeigt den Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Der untere und obere Rand der Box repräsentieren das 1. und 3. Quartil (Q_1 und Q_3), also die Werte, die 25 % und 75 % der Daten trennen. Eine Linie innerhalb der Box zeigt den Median (den Wert, der die Daten in zwei Hälften teilt). Die Linien, die von der Box nach oben und unten gehen (Whisker), zeigen den Bereich der restlichen Daten.

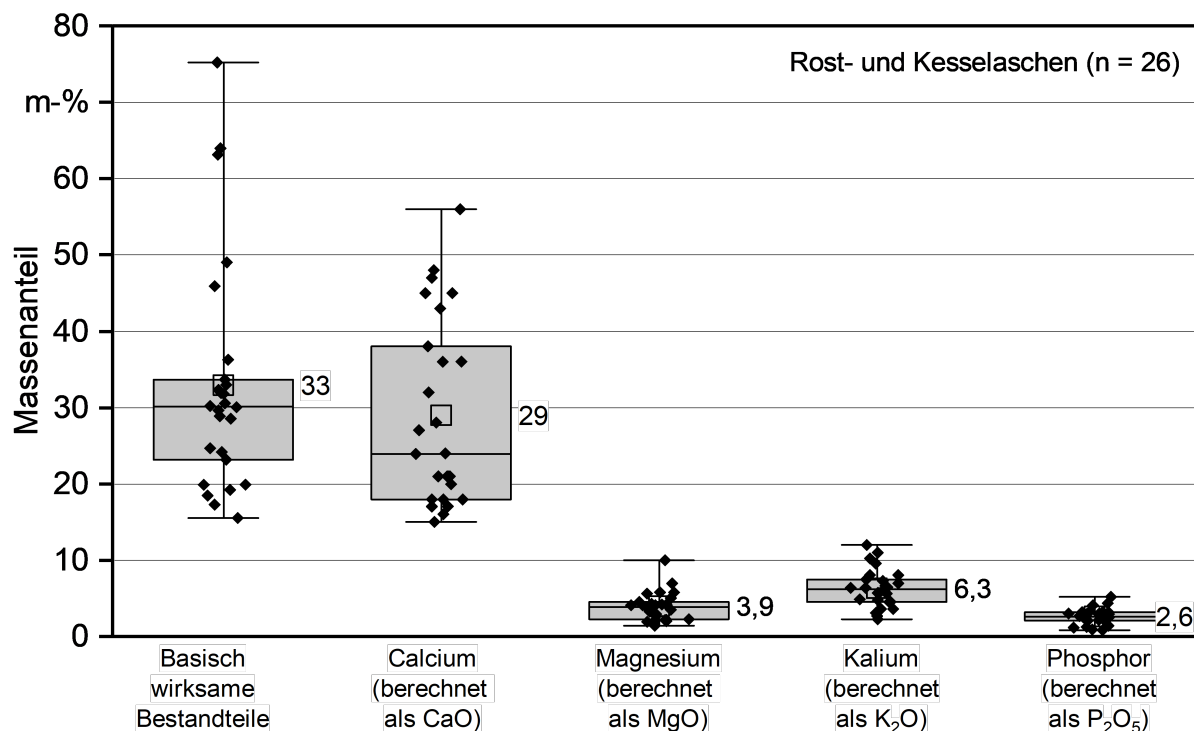


Abbildung 3: Hauptnährstoffe von 26 Rost- und Kesselaschen (bezogen auf die Trockenmasse) als Punktwolken sowie als Boxplots mit 25%- und 75%-Quantil (Box) sowie Minimum zum Maximum (Whisker) (Zahlen neben den Boxplots sind jeweils die Mittelwerte) [2].

Tabelle 3 zeigt die gesamten Analyseergebnisse dieser 26 Rost- und Kesselaschen aus bayerischen Heiz(kraft)werken mit einer installierten Leistung > 1 MW. Untersucht wurden neben den Hauptnährstoffen die Gehalte an Schwermetallen (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Chrom(VI), Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink) und die Nährstoffe Schwefel, Bor, Eisen, Kobalt, Mangan, Molybdän, Natrium, Selen sowie pH-Wert, Wassergehalt und Glühverlust. Außerdem ist angegeben, wie viele der Ascheproben die Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV) für ackerbauliche und forstliche Anwendung sowie die Grenzwerte der Bioabfallverordnung (BioAbfV) überschreiten.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Grenzwerte der DüMV in einigen Fällen nicht eingehalten werden. So überschreiten 3 % der untersuchten Proben den Grenzwert für Blei und 8 % den Grenzwert für Cadmium. Letzteres gilt sowohl für die ackerbauliche als auch die forstliche Anwendung, obwohl für Letztere ein höherer Grenzwert festgelegt ist. Besonders auffällig sind die Überschreitungen des Chrom(VI)-Grenzwerts für Ackerflächen, der in 62 % der Rost- und Kesselaschen nicht eingehalten wird.

Auch bei der Betrachtung der Grenzwerte der BioAbfV zeigen sich Überschreitungen. Zwar gibt es hier keinen Grenzwert für Chrom(VI), jedoch sind einige andere Grenzwerte niedriger als in der DüMV. Dies führt zu Überschreitungen bei Kupfer, Nickel und Zink.

Unter der Annahme, dass sich Chrom(VI) durch geeignete Aufbereitungsmaßnahmen, wie beispielsweise das Anfeuchten der Aschen, ausreichend reduzieren lässt, könnten 85 %

der untersuchten Aschen die Grenzwerte der DüMV einhalten. Darüber hinaus würden 54 % der Aschen auch die strengeren Anforderungen der BioAbfV bezüglich der Schwermetallkonzentrationen erfüllen. Dieser geringere Wert ist vor allem auf Überschreitungen bei Kupfer und Zink zurückzuführen. Diese kommen zustande, da die BioAbfV niedrigere Grenzwerte für diese Elemente vorschreibt als die DüMV, die diese als Spurennährstoffe einstuft (siehe Kapitel 2.5).

Tabelle 3: Nährstoff- und Schwermetallgehalte von 26 Rost- und Kesselaschen aus bayerischen Heiz(kraft)werken mit einer installierten Leistung > 1 MW (TM = Trockenmasse) [2]

Parameter	Einheit								Anzahl Überschreitung DüMV (Acker)	Anzahl Überschreitung DüMV (Forst)	Anzahl Überschreitung (BioAbfV)
		Min	1. Quantil	Median	Mittelwert	3. Quantil	Max				
Arsen (As)	mg/kg TM	5,0	5,0	5,0	6,5	5,6	27,0	0	0	–	
Blei (Pb)	mg/kg TM	2,0	2,8	5,0	20,2	11,0	260,0	1	1	1	
Cadmium (Cd)	mg/kg TM	0,2	0,4	0,4	1,0	1,2	4,8	3	3	3	
Chrom (Cr)	mg/kg TM	29,0	39	45	59	58	200	–	–	4	
Chrom(VI) (CrVI)	mg/kg TM	1,0	1,3	2,7	7,2	5,5	42,3	16	–	–	
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	5,8	39	60	64	90	150	0	0	5	
Nickel (Ni)	mg/kg TM	18,0	28	37	37	43	78	0	0	2	
Quecksilber (Hg) ¹	mg/kg TM	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	
Thallium (Tl)	mg/kg TM	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,8	0	0	0	
Zink (Zn)	mg/kg TM	26	95	145	205	250	900	0	0	4	
Kalk (CaO)	m-% TM	15,0	18,5	24,0	28,9	37,5	56,0	–	–	–	
Basisch wirks. Stoffe (CaO)	m-% TM	15,5	23,5	30,1	32,9	33,5	75,2	–	–	–	
Phosphat gesamt (P ₂ O ₅)	m-% TM	0,9	2,1	2,6	2,6	3,1	5,2	–	–	–	
Kaliumoxid ges. (K ₂ O)	m-% TM	2,3	4,6	6,3	6,3	7,5	12,0	–	–	–	
Magnesiumoxid ges. (MgO)	m-% TM	1,4	2,4	3,9	3,9	4,5	10,0	–	–	–	
Schwefel gesamt (S)	m-% TM	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	–	–	–	

Parameter	Einheit							Anzahl Überschrei- tung DüMV (Acker)	Anzahl Überschrei- tung DüMV (Forst)	Anzahl Überschrei- tung (BioAbfV)
		Min	1. Quantil	Median	Mittelwert	3. Quantil	Max			
Bor (B)	mg/kg TM	0	92	145	148	195	330	–	–	–
Eisen (Fe)	mg/kg TM	5.000	12.000	14.500	14.057	16.750	26.083	–	–	–
Kobalt (Co)	mg/kg TM	4,1	9,1	12,5	13,0	15,8	28,0	–	–	–
Mangan (Mn)	mg/kg TM	1.000	4.075	12.500	11.772	15.750	40.000	–	–	–
Molybdän (Mo)	mg/kg TM	2,0	2,7	5,0	4,1	5,0	7,0	–	–	–
Natrium (Na)	mg/kg TM	970	2.425	2.750	3.362	4.181	8.000	–	–	–
Selen (Se) ¹	mg/kg TM	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	–	–	–
pH-Wert		12,3	12,7	12,8	12,8	12,8	13,3	–	–	–
Wassergehalt	m-%	0,0	0,0	0,5	6,2	9,9	32,7	–	–	–
Glühverlust	m-% TM	0,0	0,0	0,0	0,6	1,3	3,6	–	–	–

4 Beispiele für Verwertungsoptionen in Bayern

Die Verwertung von Rostasche erfolgt in Bayern hauptsächlich im Kontext der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung. Dazu werden die Rost- und Kesselaschen an Kompost- und Kalkwerke abgegeben. Für viele größere Heizwerke ist das eine gängige Verwertungsmethode für die anfallenden Holzaschen. Auch bei der Eigenverwertung von Asche oder Gemischen aus Asche müssen diese einem zugelassenen Düngemitteltyp nach Düngemittelverordnung (DüMV) entsprechen. Weil die Aufbereitung zu Düngemitteln aufwendig ist, gehen diesen Schritt in Bayern nur sehr wenige Heizwerkbetreiber.

4.1 Aufbereitung von Holzasche im Kalkwerk

Die Aufbereitung von Asche zu Dünger in einem Kalkwerk ist ein mehrstufiger Prozess, der die Einhaltung strenger Qualitätsstandards erfordert. Zuerst werden Störstoffe wie Nägel und Eisenmetalle entfernt. Dann wird die Asche gesiebt und vermahlen, um die gewünschte Feinheit zu erzielen (Abbildung 4). Diese Aufbereitungsschritte stellen sicher, dass die Holzasche die Anforderungen der DüMV erfüllt. Für die Herstellung des Düngers wird die aufbereitete Holzasche ggf. mit Kalkprodukten wie Magnesiumkalk aus Dolomitgestein vermischt. Das Mischungsverhältnis variiert je nach Anwendungsbereich. In der Forstwirtschaft wird beispielsweise ein anderes Mischungsverhältnis verwendet als in der Landwirtschaft. Um eine staubarme Ausbringung zu gewährleisten, wird dem fertigen Gemisch wenn notwendig etwas Wasser zugemischt. Weil der fertige Dünger staubfrei ist, kann er kostengünstig auf offenen Kippen transportiert werden (Abbildung 5). Die Ausbringung erfolgt auf landwirtschaftlichen Flächen mit Kalkstreuern (Abbildung 6). Im Forst werden Verblasegeräte eingesetzt, die von den Rückegassen aus die Asche verteilen. Bei sehr unzugänglichen Waldflächen erfolgt die Ausbringung per Hubschrauber.



Abbildung 4: Radlader belädt Aufbereitungsanlage



Abbildung 5: Fertiger Aschedünger wird von Landwirt abgeholt



Abbildung 6: Ausbringung des Aschedüngers mit Düngerstreuer

Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung dieser Verfahren ist das bayerische Kalkwerk Hermann Trollius GmbH, das 2019 den Nachhaltigkeitspreis der Deutschen Gesteinsindustrie für die Herstellung von Holzasche-Magnesiumkalk-Gemischen erhielt, die in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung finden [18].

4.2 Aufbereitung von Holzasche im Kompostwerk

Auch bei der Verwertung von Holzasche im Kompostwerk steht am Anfang die Abscheidung von Störstoffen wie Steinen und Eisenmetallen und ggf. Zerkleinerung der Asche bzw. eine Absiebung von Grobbestandteilen. Dabei werden die im Kompostwerk üblichen Maschinen wie Trommelsiebe (Abbildung 7) oder/und Schredder (Abbildung 8) eingesetzt. Aus der Praxis wird berichtet, dass eine Vermischung von Bioabfall und Asche sich eher negativ auf den Rotteprozess auswirkt. Ursache könnte eine Hemmung der Mikroorganismen durch den hohen pH-Wert der Aschen sein. Die häufigere Anwendung dürfte somit die Vermischung von Kompost und Asche gegen Ende der Rotte sein. Das fertige Produkt sind in der Regel Agrarkomposte, die auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten bzw. zu erhöhen (Abbildung 9). Die Betreiber von Kompostieranlagen fordern die Biomasseheizwerke als Lieferanten der Aschen häufig auf, die Aschen im angefeuchteten Zustand anzuliefern. So lassen sich Staubemissionen beim Ascheumschlag vermeiden.



Abbildung 7: Trommelsieb im Kompostwerk



Abbildung 8: Schredder im Kompostwerk



Abbildung 9: Fertiger Kompost aus Asche und Kompost für landwirtschaftliche Flächen

4.3 Chancen und Herausforderungen der einzelnen Entsorgungsoptionen für Biomasseasche

Rostasche aus der Verbrennung unbehandelter Biomasse bietet zahlreiche nachhaltige Anwendungsmöglichkeiten, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich bringen. In der Landwirtschaft kann Biomasseasche als mineralischer Dünger eingesetzt werden, da sie reich an wichtigen Nährstoffen wie Calcium, Magnesium, Kalium und Phosphor ist. Diese Nährstoffe tragen zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit bei. Allerdings unterliegt die Anwendung strengen gesetzlichen Vorgaben, um die Risiken einer Schwermetallkontamination zu minimieren. Außerdem kann Asche als Kompostzusatz verwendet werden. Sie bereichert nährstoffarme Komposte und verbessert deren Handhabungseigenschaften. Auch hier sind die rechtlichen Rahmenbedingungen ähnlich wie bei mineralischen Düngern, was eine konsistente Qualitätssicherung erfordert. Im Bauwesen könnte die Asche Anwendung zur Stabilisierung von Böden und als Rohstoff für Baustoffe dienen und so zu einer Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen, da sie die Notwendigkeit verringert, herkömmliche Materialien zu verwenden. Falls eine Verwertung nicht möglich ist, muss die Asche als Abfall auf einer Deponie entsorgt werden.

4.3.1 Asche als Mineraldünger

Asche aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz enthält wertvolle Pflanzennährstoffe wie Calcium, Magnesium, Kalium und Phosphor, wodurch sie als Düngemittelkomponente interessant wird. Dies ermöglicht eine Rückführung wichtiger Nährstoffe in den Stoffkreislauf und trägt zur Schonung begrenzter natürlicher Ressourcen bei. Die positiven Effekte auf den Boden ähneln denen von Kalkdüngung: Asche reguliert den pH-Wert, fördert die biologische Aktivität und verbessert die Nährstoffverfügbarkeit. Insbesondere für Betriebe, die nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus wirtschaften, ist Asche als Düngemittel interessant, weil sie zusätzlich pflanzenverfügbaren Phosphor enthält.

Die Verwertung von Asche als Düngemittel ist jedoch an strenge gesetzliche Vorgaben gebunden, die in der DüMV festgeschrieben sind. So dürfen nur Aschen aus der Verbrennung unbehandelter pflanzlicher Materialien, insbesondere naturbelassenes Holz, für die Düngemittelherstellung verwendet werden. Die Herausforderung liegt in der Sicherstellung einer konstant hohen Aschequalität, da die Schwermetallgehalte je nach Brennstoffart, Verbrennungstechnik und Anfallstelle der Asche stark variieren können. Eine Überschreitung der zulässigen Grenzwerte für Schwermetalle, insbesondere Cadmium und Blei, kann die Verwertung der Asche als Düngemittel unmöglich machen. Die Wirtschaftlichkeit der Ascheverwertung wird durch die komplexen rechtlichen Rahmenbedingungen, die aufwendige Qualitätssicherung, hohe Analysekosten und die dezentrale Entstehung der Asche in Biomasseheizwerken beeinträchtigt. Die Aufbereitung von Asche zu Mineraldünger ist aufwendig und wird von wenigen Kalkwerken durchgeführt. Weil außerdem der Absatz von Düngeprodukten aus Asche bisher einen bestimmten Rahmen nicht überschreitet, ist dieser Verwertungspfad nur für einen Teil der anfallenden Rostaschen möglich.

Die Verwertung von Asche als mineralischer Dünger ist also ökologisch sinnvoll, setzt aber ein funktionierendes Aschequalitätsmanagement voraus und erfordert bestimmte Rahmenbedingungen.

4.3.2 Ascheverwertung in der Kompostierung

Die in der Asche enthaltenen Nährstoffe werden Komposte auf. Im Gegenzug verbessert die Zugabe von feuchtem Kompost die Streufähigkeit der Asche und reduziert die Staubentwicklung bei der Ausbringung.

Allerdings ist die Verwertung von Asche als Kompostzusatz an strenge gesetzliche Vorgaben gebunden. Neben der Düngemittelverordnung (DüMV) gilt in bestimmten Fällen zusätzlich die Bioabfallverordnung (BioAbfV). Wie auch bei der Verwertung als mineralischer Dünger ist das zentrale Problem bei der Ascheverwertung die Sicherstellung einer konstant hohen Qualität.

Für diese Verwertungsschiene stehen in Bayern mehr Anbieter zur Verfügung, sodass es für Heiz(kraft)werke einfacher ist einen Verwertungspartner zu finden. Kompostwerke verfügen oft bereits über die notwendige Ausrüstung (Siebanlagen, Transportfahrzeuge, Streuer) zur Ascheaufbereitung. Häufig ist aber die Menge an Asche, die ein Kompostwerk

verarbeiten darf, gedeckelt. Trockene Aschen stellen aufgrund der Staubentwicklung beim Umschlag eine Herausforderung dar, deswegen fordern Kompostwerke häufig eine vorherige Anfeuchtung der Asche. Und ein weiterer Nachteil dieses Verwertungspfads aus Heizwerkbetreibersicht ist oft die geringe ökonomische Vorteilhaftigkeit im Vergleich zur Deponierung der Aschen, da Asche und Bioabfall/Kompost in der Regel zu vergleichsweise preisgünstigen landwirtschaftlichen Komposten weiterverarbeitet werden.

Die Verwertung von Asche zusammen mit Kompost ist also ökologisch sinnvoll, und die Anzahl an Anbietern (Kompostierern) für diese Verwertungsoption ist höher. Wie beim mineralischen Dünger wird aber ein funktionierendes Aschequalitätsmanagement vorausgesetzt. Für den Heizwerkbetreiber ist dieser Entsorgungspfad aber zumeist kostenintensiver als die Verwertung zu mineralischen Düngemitteln.

4.3.3 Deponierung der Asche

Die Deponierung von Asche, obwohl eine gängige Praxis, ist mit verschiedenen Vor- und Nachteilen verbunden. Ein oft genannter Vorteil ist, dass Feuerraumaschen in der Regel geringe Schadstoffbelastungen aufweisen. Dadurch erfüllen sie häufig die Anforderungen für eine Ablagerung auf Deponien der Klassen I oder II. Allerdings können der organische Gehalt und der wasserlösliche Anteil der Feuerraumaschen diese Zuordnung erschweren und sogar die Grenzwerte der Deponieklasse III übersteigen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Vermeidung von Staubentwicklung bei Anlieferung und Einbau der Asche im Deponiekörper. Dies kann durch Anfeuchtung oder Verpackung der Holzasche erreicht werden. Es ist wichtig zu beachten, dass Flugaschen, die oft eine Anreicherung von Schadstoffen wie Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Zink aufweisen, häufig nur in untertägigen Deponien abgelagert werden können.

Die Beseitigung von Aschen auf einer Deponie ist für viele Heiz(kraft)werke der gängige Entsorgungspfad. Kleinere Anlagen sehen sich mit der Herausforderung konfrontiert, dass die Aschemenge zu gering ist, um durch Einsparungen bei der Verwertung die hohen Kosten für Düngemittelanalytik zu kompensieren. Daher stellt die Deponierung oft die einzige Option der Ascheentsorgung dar.

Für die Deponierung von Asche sind sowohl die Festsubstanz als auch das Eluat der Asche zu untersuchen. Die Deponieverordnung (DepV) gibt in Anhang 4 die entsprechenden Untersuchungsparameter und die Untersuchungshäufigkeit vor. Die Mindestparameter für die Untersuchung des Feststoffs umfassen unter anderem die Elemente Arsen, Barium, Blei, Cadmium, Chrom gesamt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Thallium und Zink. Im Eluat sind mindestens die Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Chrom gesamt, Kupfer, Nickel und Zink sowie der pH-Wert, die Leitfähigkeit und der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) zu bestimmen.

Die Untersuchungshäufigkeit hängt von der jährlichen Abfallmenge ab. Für Betreiber von Biomasseanlagen ist in der Regel eine jährliche Untersuchung ausreichend. Die zuständige Behörde kann jedoch eine häufigere Untersuchung fordern oder bei Vorlage entsprechender Untersuchungsergebnisse die Häufigkeit auch reduzieren.

Abnehmer der Asche (z. B. Deponiebetreiber oder Entsorgungsfachbetrieb) müssen über eine Genehmigung zur Annahme und Lagerung/Behandlung der jeweiligen Asche verfügen. Bei Aschen zur Beseitigung oder bei gefährlichen Aschen ist zudem eine Transportgenehmigung erforderlich.

Zusätzlich zu den in der DepV vorgeschriebenen Parametern können je nach Anfallort der Asche und der Art der Feuerungsanlage weitere Untersuchungen notwendig sein. Beispielsweise sind bei unvollständigem Ausbrand der Asche (z. B. TOC > 5 %) weitere Untersuchungen auf organische Schadstoffe (insbesondere PAK) zu empfehlen [29].

Die exakte Festlegung der Untersuchungsparameter und die Untersuchungshäufigkeit sollten in Abstimmung mit der zuständigen Behörde erfolgen, um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden und die Deponierung der Asche ordnungsgemäß und ohne schädliche Auswirkungen auf die Umwelt erfolgen kann.

4.3.4 Einsatz als Baustoff

Rostasche kann als Ersatz für Kalk in Bauanwendungen verwendet werden. Dies liegt an ihrem hohen Gehalt an Calciumoxid (CaO). Rostasche kann zur Bodenstabilisierung im Straßen- und Forstwegebau verwendet werden [28] [4]. Die latent hydraulischen Eigenschaften von Holzasche sind bei diesen Anwendungen von Vorteil. Diese Eigenschaften tragen zu einer guten Abbindung des feuchten Materials am Boden bei. Durch die Zugabe von Rostasche kann die Verdichtbarkeit von Böden verbessert und dadurch die Festigkeit des stabilisierten Bodens erhöht werden. Die Verwendung von Rostasche als Baustoff trägt hier erheblich zur Einsparung von CO₂-Emissionen bei, da die Produktion des ansonsten verwendeten Branntkalks energieintensiv ist. Die Nutzung von Rostasche als Sekundärrohstoff fördert auf diese Weise die Kreislaufwirtschaft und schont natürliche Ressourcen.

Nachteile für den Einsatz für Asche als Baustoff ist der zu erwartende genehmigungsrechtliche Aufwand, da bisher keine standardisierten Verfahren für diesen Anwendungsfall vorliegen. Die Anforderungen an die Qualität der Holzaschen sind hoch, da für eine optimale Leistung als Bindemittel eine maximale Korngröße von < 1 mm wünschenswert ist. Grobkörnige Asche muss daher gemahlen werden. Außerdem ist die trockene Lagerung der Rostasche während der gesamten Prozesskette entscheidend, um ihre Eigenschaften als Bindemittel zu erhalten. Und schließlich erfordert die Verarbeitung von Rostasche als Bindemittel im Vergleich zur Anwendung von Branntkalk einen erhöhten Personal- und Maschinenaufwand. Das liegt an der geringeren Calciumoxidkonzentration in Holzasche und der damit einhergehenden erhöhten Anwendungsmenge im Vergleich zu Branntkalk. Aschen, die einen besonders hohen Calciumoxidanteil haben, eignen sich daher besonders gut für den Einsatz als Baustoff, wie ein Beispiel aus Österreich zeigt, bei dem Papierschlammaschen als Zuschlagstoff in der Baustoffindustrie Anwendung finden [33].

4.3.5 Einsatz in der Zement- und Betonherstellung

In Österreich wird Rostasche bereits als Klinkerersatz in Zementwerken eingesetzt [35]. Dabei ist die genaue Zusammensetzung der Holzasche nicht so entscheidend, da sie nur einen geringen Anteil an der Rezeptur ausmacht. In Bayern ist ein derartiger Einsatz von Rostasche bislang nicht bekannt.

Bisher werden bei der Betonherstellung in hohem Maß Flugaschen aus der Steinkohleverbrennung eingesetzt, wodurch die hohen CO₂-Emissionen der Betonherstellung zum Teil vermieden werden können. Da Deutschland jedoch in absehbarer Zukunft aus der Kohleverstromung aussteigt, ergibt sich die Notwendigkeit, Ersatz für diese Flugaschen zu finden. Holzaschen könnten hier einen Beitrag liefern. Allerdings unterscheiden sich Holzaschen von Steinkohle-Flugaschen in ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Körnung, ihrer Heterogenität, ihrem dezentralen Anfall und in den verfügbaren Mengen. All diese Punkte erschweren den direkten Ersatz von Steinkohle-Flugasche durch Holzasche.

Das aktuell von der Autobahn des Bundes GmbH durchgeführte Projekt „Holzasche im Beton“ zielt darauf ab, die Eigenschaften von Beton durch Einsatz von Holzaschen zu verbessern. Die Forschung umfasst die mechanische, physikalische und chemische Optimierung der Holzasche sowie die Anpassung ihrer Eigenschaften für die Verwendung in Beton. Dabei soll sichergestellt werden, dass die Holzasche den geltenden Normen entspricht, insbesondere der DIN EN 450-1 für Flugasche im Beton [27]

5 Methoden zur Qualitätssicherung und zum Qualitätsmanagement

Das folgende Kapitel fokussiert auf die Verwertung von Aschen für Düngezwecke oder zur Bodenverbesserung. Alternative Verwertungspfade (z.B. Asche als Baustoff) können abweichende Anforderungen stellen und das Qualitätsmanagement muss entsprechend angepasst werden.

Die Qualität der Holzasche ist entscheidend für ihre sichere und sinnvolle Verwertung. Wesentliche Aspekte der Qualitätssicherung sind:

- **Herkunft des Holzes:** Die Asche sollte aus naturbelassenem Holz stammen, das frei von Verunreinigungen wie Farben, Lacken oder Holzschutzmitteln ist.
- **Begrenzung von Schadstoffen:** Die Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte, insbesondere für Schwermetalle, ist sowohl für die landwirtschaftliche Verwertung als auch für andere Anwendungen von großer Bedeutung.
- **Kontrolle der Aschequalität:** Regelmäßige Analysen der Asche auf ihre Zusammensetzung und Schadstoffgehalte sind unerlässlich, um die Qualität sicherzustellen.

5.1 Methoden zur Qualitätssicherung des eingesetzten Brennstoffs

Die Qualitätssicherung von Holzhackschnitzeln ist nicht nur für Produzenten, sondern auch für Heizwerkbetreiber von großer Bedeutung. Es gibt mehrere einfache und praktikable Methoden, die Betreiber selbst durchführen können, um die Qualität ihres Brennstoffs zu überwachen und zu verbessern.

Zunächst ist eine regelmäßige visuelle Inspektion der Holzhackschnitzel sinnvoll. Betreiber sollten auf Anzeichen von Verunreinigungen, wie etwa das Vorhandensein von Laub oder anderen Fremdstoffen, achten. Solche Verunreinigungen können die Verbrennungseffizienz und eventuell die Aschequalität negativ beeinflussen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Überprüfung des Wassergehalts. Betreiber können einfache Messgeräte verwenden, um den Feuchtigkeitsgehalt der Hackschnitzel zu bestimmen. Ein optimaler Wassergehalt liegt in der Regel zwischen 20 und 30 %. Weitere Informationen zur einfachen Feuchtemessung finden sie im TFZ-Bericht 52 [26].

Die Partikelgröße ist ein weiterer Faktor, der die Brennstoffqualität beeinflusst. Betreiber können die Partikelgröße durch einfache Siebmethoden überwachen. Eine gleichmäßige Partikelgröße sorgt für eine bessere Verbrennung und weniger Rückstände.

Falls die Hackschnitzel vor Ort gelagert werden, sollten Heizwerkbetreiber auf die Lagerbedingungen achten. Hackschnitzel sollten an einem trockenen, gut belüfteten Ort gelagert werden, um eine Feuchtigkeitsansammlung zu vermeiden. Regelmäßige Kontrollen der Lagerstätte helfen, Schimmelbildung und Verderb zu verhindern. Die Lagerung von Hackschnitzeln außerhalb des Bunkers bietet auch die Möglichkeit, unterschiedliche Hackschnitzelqualitäten zu vermischen, um etwaige Qualitätsunterschiede zu nivellieren.

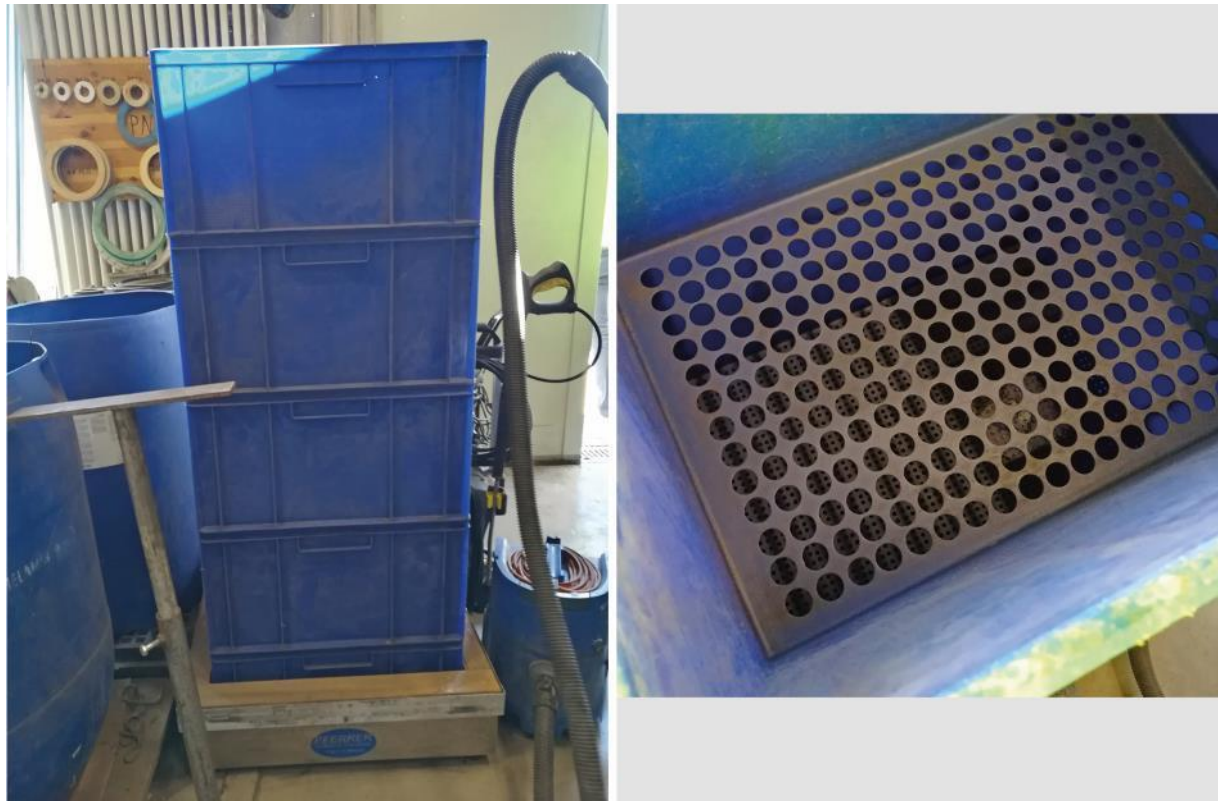


Abbildung 10: Einfaches Siebsystem aus Stapelboxen für eine schnelle Siebanalyse am Heizwerk

Eine Dokumentation der durchgeführten Kontrollen und der beobachteten Ergebnisse ist ebenfalls wichtig. Diese Aufzeichnungen ermöglichen es, Trends in der Brennstoffqualität zu erkennen und gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Verbesserung einzuleiten.

Schließlich können Betreiber auch einfache Methoden zur Probenahme anwenden, um die Brennstoffqualität regelmäßig zu überprüfen. Diese Proben können dann zur Analyse an ein Labor geschickt werden, um genauere Informationen über Wassergehalt, Heizwert, Aschegehalt und andere relevante Parameter zu erhalten.

Mit diesen einfachen Methoden können Heizwerkbetreiber sicherstellen, dass sie hochwertige Holzhackschnitzel verwenden, die eine effiziente und umweltfreundliche Verbrennung ermöglichen. Dies ist eine wichtige Grundlage für eine gute Aschequalität. Weiterführende Informationen zur Qualitätssicherung bei Holzhackschnitzeln liefern das Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holzhackschnitzeln [22] sowie der TFZ Bericht Nr. 46: Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern [19].

5.2 Validierte Methoden zur Qualitätssicherung von Holzasche

Um eine hohe Qualität bei Aschen zu gewährleisten, die als Düngemittel verwendet werden sollen, ist eine wirksame Qualitätssicherung unerlässlich. Die Basis dafür bildet die Kontrolle der eingesetzten Brennstoffe. Zugelassen sind ausschließlich naturbelassenes Holz, Waldholz, Rinde, naturbelassenes Sägerestholz, Holzpellets aus naturbelassenem Holz sowie Landschaftspflegeholz. Der Einsatz von behandeltem Holz oder anderen Brennstoffen ist unbedingt zu vermeiden, da diese die Asche mit Schadstoffen kontaminieren können.

Voraussetzung für die Verwendung von Holzasche als Düngemittel ist die Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV). Um dies zu überprüfen, sind chemische Analysen der Asche erforderlich. Die DüMV schreibt vor, dass diese Analysen gemäß der Düngemittel-Probenahme- und Analyseverordnung (DüngMProbV) [11] durchzuführen sind.

Die DüngMProbV legt spezifische Analysemethoden fest, darunter auch die Königswasserextraktion nach DIN EN 13657:2003-01 für die Bestimmung der Gehalte an Schwermetallen und anderen Elementen. Die Messung erfolgt in der Regel mittels ICP-OES nach DIN EN 11885:2009-09 oder ICP-MS nach VDLUFA-MB VII, 2.2.3.3:2019-03. Für Chrom(VI) ist die spezifische Methode VDLUFA-MB II.1, 9.4.2 vorgeschrieben.

Die zu untersuchenden Parameter umfassen sowohl Nährstoffe (z. B. Calcium, Phosphor, Kalium) als auch Schadstoffe (z. B. Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Quecksilber). Die genauen Parameter und Grenzwerte sind in der DüMV festgelegt (siehe auch Kapitel 2.5).

Es ist zu beachten, dass die reine Zuordnung der Asche zu einem Abfallschlüssel (z. B. 10 01 01 für Rost- und Kesselasche) nicht ausreichend ist, um ihre Verwertbarkeit als Düngemittel zu beurteilen.

Um eine gleichbleibend hohe Aschequalität zu erzielen, sind regelmäßige Kontrollen der Feuerungsanlage und des gesamten Ascheerzeugungsprozesses notwendig.

Die Bundesgütegemeinschaft Holzasche (BGH) hat ein System zur Zertifizierung von Holzasche als Dünger bzw. als Ausgangsstoff für Dünger entwickelt. Dieses RAL-Gütezeichen (RAL-GZ 252) basiert auf einer Kombination von Selbst- und Fremdkontrollen und stellt sicher, dass die Holzasche die definierten Qualitätsstandards erfüllt. Die Gütesicherung umfasst unter anderem:

- die Erfassung der betrieblichen Abläufe von der Brennstoffannahme bis zur Beseitigung oder Verwertung der anfallenden Aschen,
- die Festlegung von Kontrollpunkten und den dort durchzuführenden Maßnahmen,
- Festlegung von Ascheuntersuchungen im Rahmen einer Eigen- und Fremdüberwachung mit festgelegtem Untersuchungsumfang,
- Vorgaben zur Dokumentation der Beprobungen und zur Qualifikation der Probenehmer,
- die Zertifizierung der Qualität und die ordnungsgemäße Kennzeichnung der Holzasche.

Die Verwendung gütegesicherter Holzasche bietet sowohl für Hersteller als auch für Anwender ein Höchstmaß an Sicherheit. Die Gütesicherung von Aschen für Düngezwecke ermöglicht eine rechtskonforme und umweltverträgliche Holzascheverwertung.

Da die Gütesicherung für kleinere Biomasseheiz(kraft)werke, vor allem aufgrund der hohen Kosten für die notwendigen chemischen Analysen unwirtschaftlich ist, nutzen einige Heizwerke in Bayern die Möglichkeit einer Poolzertifizierung.

Bei der Poolzertifizierung sammelt ein Unternehmen, der sogenannte Pooler, Aschen aus verschiedenen Kleinanlagen und führt für diese „gepoolten“ Aschen das Gütezeichenverfahren durch. Die Kleinanlage selbst erhält kein eigenes Gütezeichen. Der Pooler übernimmt die Durchführung der Gütesicherung. Nach erfolgreicher Analyse der Asche (mehrere Analysen pro Jahr) erhält der Pooler das Gütezeichen.

Die Vorteile der Poolzertifizierung liegen in der Bündelung von Ressourcen und der dadurch ermöglichten wirtschaftlicheren Durchführung der Qualitätssicherung. Dadurch wird die Verwertung von Asche auch für Kleinanlagen attraktiver und dies trägt zur Schließung von Stoffkreisläufen bei.

Der Ablauf einer Poolzertifizierung für Rostasche als Düngemittel ist detailliert geregelt und umfasst sowohl die Kleinanlagen als auch den Sammelbetrieb. Bei den Kleinanlagen beginnt der Prozess mit einer Erstbegehung, um die Eignung der Anlage zur Erzeugung gütegesicherter Asche zu prüfen. Anschließend erfolgt eine Leitparameteruntersuchung (LPU), um die Schadstoffbelastung der Asche zu überprüfen. Zudem muss das Personal der Kleinanlage im Abfall- und Düngemittelrecht geschult sein. Um eine gleichbleibend hohe Qualität zu gewährleisten, wird die Aschequalität jährlich durch eine erneute LPU überprüft.

Der Sammelbetrieb, der die Aschen verschiedener Kleinanlagen sammelt und aufbereitet, durchläuft ebenfalls einen Zertifizierungsprozess. Dieser beginnt mit einer Erstbegehung der Anlagen, gefolgt von einer Überprüfung der Einhaltung relevanter EU- und deutscher Richtlinien. Auch hier wird eine LPU durchgeführt und die Personalqualifikation sichergestellt. Der Sammelbetrieb ist für die Gütesicherung der gesammelten Aschen verantwortlich und führt die Vermischung und Aufbereitung der Aschen zu einem homogenen Düngemittel durch. Nach positiven Analysen erhält die aufbereitete Asche das Gütezeichen, das ihre Qualität und Eignung als Düngemittel bestätigt.

5.3 Empfohlene Maßnahmen für ein effektives Qualitätsmanagement

Die Qualität der im Heiz(kraft)werk anfallenden Holzasche wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst.

Zunächst ist die Art des Brennstoffs zu nennen: Die chemische Zusammensetzung des Holzes, einschließlich Nähr- und Schadstoffen, variiert je nach Holzart, Rindenanteil, Wuchsstandort und Verschmutzungsgrad. So weisen Aschen aus Fichte und Weißtanne tendenziell höhere Schwermetallgehalte auf als Aschen aus Buche, und der Zinkgehalt in Aschen aus Fichte erhöht sich, wenn Rinde im Brennstoff enthalten ist.

Die Qualität der Holzasche wird darüber hinaus durch die Verbrennungstechnik und die Randbedingungen der Verbrennung beeinflusst. Eine unzureichend gesteuerte Verbrennung kann zu Asche minderer Qualität führen. Die Verbrennungstemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten Verbrennungsvorgang, die Schadstoffentstehung und in der Folge auch auf mögliche Betriebsprobleme. Da viele Schwermetalle bei typischen Verbrennungstemperaturen flüchtig sind, sollte im Glutbett eine Temperatur von mindestens 850 °C erreicht werden [30]. Rostaschen aus Betriebszuständen, bei denen diese Temperaturen nicht erreicht werden (z. B. Anfahren der Anlage) sollten daher, wenn möglich, sicherheitshalber getrennt gesammelt werden und nicht einer Verwertung zugeführt werden.

Um die Rostasche sauber zu halten, sollten die verschiedenen Aschefraktionen getrennt gehalten werden. In automatisch beschickten Feuerungsanlagen fällt Asche nicht nur im Brennraum an, sondern auch an anderen Stellen, z. B. im Wärmetauscher und in der Rauchgasreinigung. Die mit dem Luftstrom mitgerissenen Partikel und flüchtigen Stoffe fallen durch die Abkühlung der Verbrennungstemperaturen und die Rauchgasreinigung erst später an. Die anfallende Asche kann in vier Fraktionen unterteilt werden: Grob- oder Rostasche, Kesselasche, Zyklonflugasche und Feinstflugasche. Die Kesselasche, die im Wärmetauscher anfällt, sollte zusammen mit der Zyklonflugasche entsorgt werden, da sie ähnliche Eigenschaften aufweist. Die Feinstflugasche, die die kleinste Fraktion darstellt, wird in Gewebefiltern oder Elektroabscheidern aufgefangen. Nicht alle Anlagen, insbesondere kleinere, verfügen über Filtereinheiten zur Abscheidung der Feinstflugasche. Obwohl auch in diesen Anlagen eine Trennung der Aschefraktionen in eine weniger belastete Rostasche und eine stärker belastete Asche aus dem Bereich des Wärmetauschers stattfindet, ist eine Getrennthaltung dieser Fraktionen oft nicht möglich. Der größte Teil der anfallenden Asche ist die Rostasche mit ca. 60–90 Gew.-%, gefolgt von der Zyklonflugasche mit 10–35 Gew.-% und der Feinstflugasche mit 2–10 Gew.-%. Diese Werte hängen stark von der Teilchengröße des eingesetzten Brennstoffs und der Turbulenz im Verbrennungsraum ab. Der größte Teil der Nährstoffe verbleibt in der Rostasche, da der Ascheanfall von der Rostasche über die Zyklonflugasche bis zur Feinstflugasche abnimmt. Um eine Kontamination der Rostasche mit Schwermetallen zu vermeiden, sollte die Asche aus dem Bereich des Wärmetauschers und der Rauchgasreinigung getrennt von der Rostasche aufgefangen werden.

Durch die Lagerung der Asche können deren chemische und physikalische Eigenschaften verändert werden (sogenanntes Altern der Asche) [31]. Die minimale Lagerdauer sollte acht bis zwölf Wochen betragen, wenn wesentliche Änderungen der Asche durch Alterung erwünscht sind. In feuchten Aschen läuft die Reaktion schneller ab. Zu den gewünschten Änderungen gehören die Reduktion der Löslichkeit von Ca, die Reduktion des pH-Werts, die Reduktion der elektrischen Leitfähigkeit und eine Reduktion von Cr(VI).

Versuche am TFZ konnten zeigen, dass Chrom(VI) in Chrom(VI)-reicher Asche durch Anfeuchten und anschließende Lagerung über mehrere Wochen reduziert werden kann. Dabei reagiert Cr(VI) in das unschädliche Cr(III). Auch die Vermischung mit Organik (wie bei der Kompostierung) oder mit einem Reduktionsmittel (z. B. mit Eisensulfat) führte zuverlässig zu einem Abbau von Chrom(VI) in der Asche [1].

5.4 Sekundäre Maßnahmen zur Chrom(VI)-Verminderung

Trockene Aschen aus Biomasseheizwerken enthalten häufig Chrom(VI) (Kapitel 3). Chrom(VI) ist sehr gut wasserlöslich, darin liegt die Gefahr für die Umwelt, da es so ins Grundwasser gelangen kann. Für die Verwendung als Dünger sind deswegen sehr strenge Grenzwerte in der DüMV festgelegt. Bei einer chemischen Reduktion von Chrom(VI) wandelt es sich in das nicht wasserlösliche Chrom (III) um. Da die Reduzierung von Chrom(VI) in Asche aus Biomasseheiz(kraft)werken häufig ein Thema ist, wurde am TFZ dazu ein Versuch durchgeführt.

Dabei wurde eine Chrom(VI)-reiche Heizwerkasche verschiedenen Behandlungen unterzogen und die Auswirkung auf den Gehalt an Chrom(VI) über einen Zeitraum von mehreren Monaten beobachtet. Getestet wurden verschiedene Mischungen aus Wasser, Eisensulfat und Kompost mit unterschiedlichen Wassergehalten. Um das Volumen-Oberflächenverhältnis einer typischen Aschelagerung nachzubilden, wurden als Versuchsgefäße aufrecht stehende und oben offene Kunststoffrohre verwendet (Abbildung 11). Die Rohre wurden gleichzeitig mit den jeweiligen Mischungen befüllt.

Konkret wurde im ersten Versuch die Asche nur mit Wasser vermischt – und zwar in den Varianten 0 %, 10 %, 20 % und 30 % Wasserzugabe. Diese Wasserzugabe wurde in allen vier Versuchen beibehalten. Bei der zweiten Mischung wurde Rostasche mit einer geringen Menge Eisensulfat versetzt. Und bei den Varianten 3 und 4 wurde die Rostasche mit getrocknetem Kompost vermischt – im Massenverhältnis Kompost zu Asche 80 : 20 und im Verhältnis Asche zu Kompost 90 : 10. Von jeder Mischung wurden drei Parallelen erstellt, die dann jeweils zu den Probenahmezeitpunkten nach 5, 10 und 15 Wochen beprobt und zeitnah auf ihren Chrom(VI)-Gehalt hin untersucht wurden.



Abbildung 11: Aufrecht stehende Kunststoffrohre mit einem ähnlichen Volumen-Oberflächenverhältnis wie bei der Aschelagerung wurden als Reaktionsgefäße für die Versuche zum Chrom(VI)-Abbau verwendet.

Abbildung 12 illustriert die Versuchsergebnisse. Die Hochwertachse zeigt jeweils die Gehalte an Chrom(VI). Die Prozentangaben auf der x-Achse zeigen den eingestellten Wassergehalt zu Versuchsbeginn und die unterschiedlich farbigen Säulen veranschaulichen die Chrom(VI)-Konzentrationen nach den unterschiedlichen Reaktionszeiten. Man kann generell sagen, dass der Chrom(VI)-Gehalt stärker abnimmt, je höher der Wassergehalt zum Beginn des Versuchs und je länger die Versuchszeit war. Bei Versuchsvariante 1, bei der die Asche nur mit Wasser vermischt wurde, zeigt sich, dass die Chrom(VI)-Gehalte in trockener Asche unverändert bleiben, und 10 % Wasserzugabe führt nur zu einem Rückgang von maximal 23 %. Die prozentualen Angaben beziehen sich in jedem Diagramm auf die ganz linke Säule (Konzentration zu Versuchsbeginn). In den Varianten mit Wasser kam es schon auf dem Weg ins Labor zu einem Abbau von Chrom(VI), weswegen sich diese Gehalte nicht als Bezugsgröße eignen. Eine Wasserzugabe von 20 % führt zu einem Chrom(VI)-Rückgang von 74 % zum Versuchsende. Am schnellsten und fast vollständig erfolgt der Abbau bei 30 % Wassergehalt. Versuch 2 unterscheidet sich vom ersten Versuch nur durch die Zugabe einer kleinen Menge Eisensulfat. Der Abbau passiert erheblich schneller – und auch die Variante mit nur 10 % Wassergehalt erreicht einen Abbaugrad

von gut 70 %. In den feuchteren Varianten ist das Chrom(VI) nach fünf Wochen fast vollständig abgebaut. In der Kompost-Asche-Mischung kommt es auch zu einem sehr zügigen Abbau von Chrom(VI), vor allem wenn zumindest etwas Feuchtigkeit vorhanden ist. Auch die Variante ohne Wasserzugabe erreicht ca. 40 % Abbau. Die Ergebnisse des vierten Versuchs sind etwa vergleichbar mit Versuch 2. Überraschenderweise zeigte bereits eine Beimischung von nur 10 % Kompost eine ähnliche Wirkung wie Eisensulfat. Bei einem Wassergehalt von 10 % bauen sich 70 % des Chroms(VI) ab, bei den feuchteren Varianten kommt es zu einem fast vollständigen Abbau.

Ein signifikanter Wiederanstieg der Chrom(VI)-Konzentrationen konnte in keiner der Proben beobachtet werden.

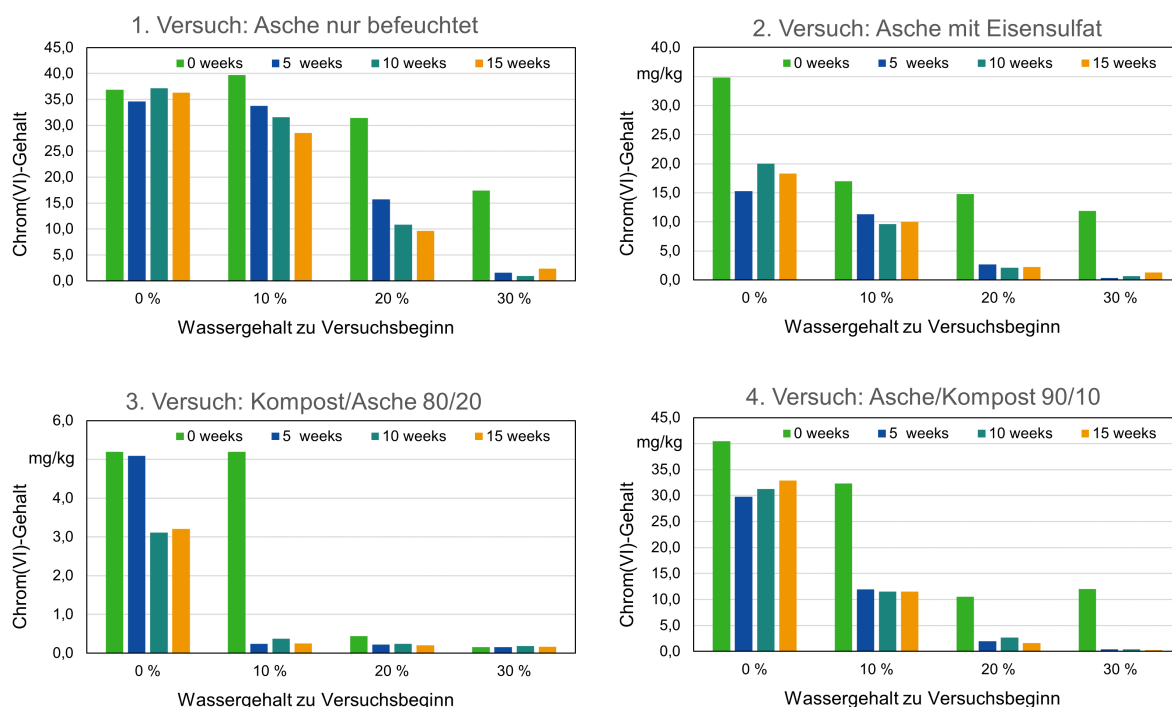


Abbildung 12: Chrom(VI)-Gehalte der vier Versuchsvarianten, gegliedert nach dem Wassergehalt zu Versuchsbeginn und den Probenahmezeitpunkten im Abstand von fünf Wochen

Die Studie belegt somit, dass einfache Methoden, wie die Verwendung von Kompost und Eisensulfat den Chrom(VI)-Gehalt in zumindest leicht feuchter Asche wirksam reduzieren. Soll der Chrom(VI)-Abbau nur durch Zugabe von Wasser erfolgen, wäre mindestens ein Wassergehalt von 20 % notwendig, um einen merklichen Rückgang zu erzielen.

5.5 Aufbereitung der Aschen zu Düngemitteln

Um Asche als Düngemittel verwenden zu können, muss sie oft mechanisch aufbereitet werden, da sie in der Regel inhomogen ist und unerwünschte Bestandteile wie Schlacke, Steine oder Metalle enthalten kann. Um sicherzustellen, dass das Endprodukt den Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) entspricht und eine sichere und effektive Anwendung möglich ist, können folgende Methoden zum Einsatz kommen:

- Metallabscheidung: Unerwünschte Metalle, z. B. Nägel, können durch magnetische Verfahren entfernt werden.
- Mahlung: Durch Mahlung kann die Asche zerkleinert und homogenisiert werden, was die Ausbringung als Düngemittel erleichtert.
- Siebung: Durch Siebung können grobe Bestandteile, wie Schlacke oder Steine entfernt werden. Die DüMV [10] schreibt vor, dass Düngemittel aus Asche eine bestimmte Korngröße nicht überschreiten dürfen. Für Kalkdünger aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe ist ein Siebdurchgang von 90 % bei 6,3 mm und von 70 % bei 3,15 mm gefordert (Anhang 2, Tabelle 6, Zeile 6.4.11).
- Die Asche wird nur selten direkt am Heizwerk aufbereitet, da meist die notwendige Anlagentechnik nicht vorhanden ist und keine Genehmigung für Ascheaufbereitung vorliegt.

5.6 Die Probenahme bei Aschen

Die Entnahme von Ascheproben ist in der LAGA PN 98 [5] geregelt, einer Richtlinie für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen, die auch für abgelagerte Materialien gilt. Das Hauptziel dieser Probenahme ist es, aussagekräftige Analyseergebnisse zu erhalten, um die chemische Zusammensetzung repräsentativ beurteilen zu können. Die Anwendung dieser Richtlinie wird in Deutschland für die Bestimmung des Entsorgungswegs von Asche empfohlen.

Die genaue Vorgehensweise bei der Probenahme hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Anfallstelle des Abfalls, die Art des Abfalls, die jeweilige Fragestellung sowie zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen.

Um aussagekräftige Analyseergebnisse zu gewährleisten, ist es wichtig, eine repräsentative Mischprobe aus größeren Aschelagern zu erstellen.

Die Probenahme sollte gemäß LAGA PN 98 von einem sachkundigen Probenehmer durchgeführt werden. Das heißt, der Probenehmer muss den Nachweis über die erfolgreiche Teilnahme an einer Schulung führen. Die Schulung umfasst unter anderem theoretische Grundlagen der Ascheprobenahme, praktische Übungen zur Probenahme und Dokumentation sowie rechtliche Rahmenbedingungen.

Das Mindestvolumen der Einzelproben und der daraus erstellten Laborprobe ist abhängig von der maximalen Korngröße der Asche. Die LAGA PN 98 gibt vor, dass das Mindestvolumen für fein gekörnte Asche geringer ist als für grobkörnige Asche und zwischen 0,5 und 10 Litern liegt. Die benötigte Mindestanzahl an Einzelproben richtet sich nach der

Gesamtmenge der gelagerten Asche. So sind beispielsweise bei einem Volumen von bis zu 30 m³ mindestens acht Einzelproben zu entnehmen.

Die Dokumentation spielt bei der Ascheprobe­nahme eine zentrale Rolle. Das gesamte Probenahme­verfahren muss in einem Probenahme­protokoll festgehalten werden, das alle wichtigen Kenn­daten enthält. Dieses Protokoll dient dem Proben­nehmer als Checkliste und liefert dem Prüflabor detaillierte Informationen über die Herkunft der Proben sowie den Ablauf der Proben­nahme. Ein solches Protokoll enthält in der Regel Angaben zum Auftrag­geber, zum Proben­nahmedatum und -ort, zur Art des Abfalls sowie zu Anzahl und Größe der Einzelproben.



Abbildung 13: Probenahme nach den Vorgaben der LAGA PN 98



Abbildung 14: Erstellung einer Mischprobe anlässlich eines Sach- und Fachkundelehrgangs Holzasche, der in regelmäßigen Abständen von der Bundesgütegemeinschaft Holzasche e. V. durchgeführt wird



Abbildung 15: Die Körnung der Aschen kann sehr unterschiedlich sein. Hier ein Beispiel mit sehr grober Körnung aufgrund von Schlackebildung



Abbildung 16: Diese Rostasche fällt sehr feinkörnig an. Je nach Heizwerk, Betriebsweise und Brennstoffen kann die Körnung der anfallenden Rostaschen erheblich variieren.



Abbildung 17: Abtransport von Rostaschen zur Verwertung im Kalkwerk



Abbildung 18: Für die Qualitätssicherung von Aschen ist die Kenntnis der Förderwege der Asche relevant. Hier: Übergabe der Rostasche an den Trogkettenförderer, der die Rostaschen durch die Gebäudeaußenwand in den davor aufgestellten Container fördert

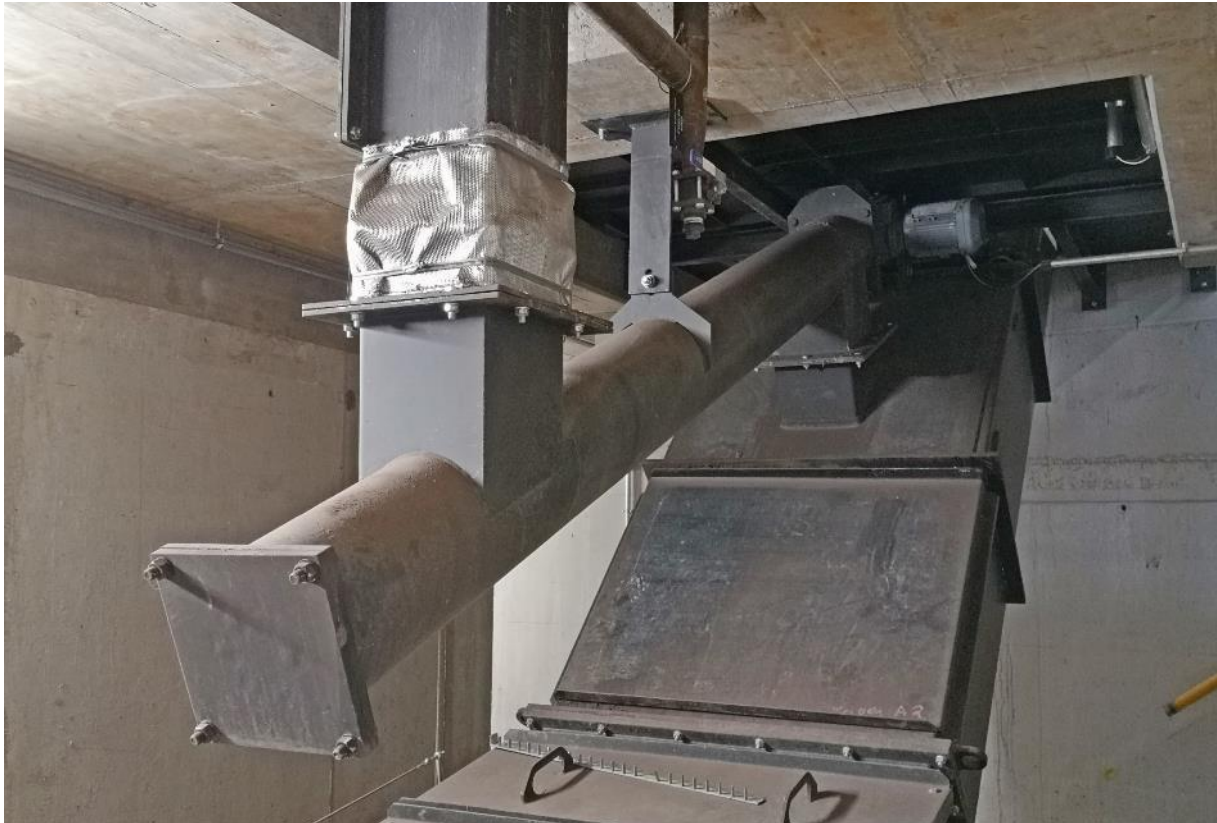


Abbildung 19: Durch diesen Fallschacht mit Förderschnecke (Vordergrund) wird die Asche aus dem Multizyklon der ausgetragenen Rostasche beigemengt. Diese Beimischung kann durch Eintrag in der Flugasche angereicherter Schwermetalle die Qualität der Asche so verändern, dass eine Verwertung für Düngezwecke nicht mehr zulässig ist



Abbildung 20: Beprobung eines Aschecontainers

6 Ökonomische und ökologische Bewertung der Ascheverwertung

Eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse, die die Transportkosten, Aufbereitungskosten, Deponiegebühren, den Wert der Nährstoffe und die Umweltaspekte berücksichtigt, ist für die Entscheidungsfindung bei der Ascheverwertung unerlässlich.

6.1 Kosten-Nutzen-Analyse der verschiedenen Verwertungswege

Die Kosten für die Entsorgung von Asche variieren je nach Entsorgungsweg. Die Deponierung unbehandelter Holzasche kostet in Deutschland und Österreich beispielsweise 60 bis 100 €/t, in einigen Fällen sogar bis zu 200 €/t. Auch die Abgabe von Rostaschen an einen Verwerter ist derzeit mit Kosten für den Ascheerzeuger verbunden, aber die Recyclinggebühren für Rost- und Kesselasche sind meist niedriger als die Kosten für die Abgabe an eine Deponie.

Vor allem die Verwertung von Rostaschen zu mineralischen Düngemitteln kann zu Kosteneinsparung führen, da das Produkt – ein mineralischer reiner Holzaschedünger oder eine Mischung mit Kalk- bzw. Kalkdolomit – preislich mit Kalkdüngern vergleichbar ist. Die Kosten für die Abgabe einer Tonne Rostasche an ein Kalkwerk dürften unter 50 € pro Tonne betragen.

Die Abgabe von Rostasche an ein Kompostwerk ist aus Sicht des Heizwerkbetreibers tendenziell mit höheren Kosten verbunden, etwa 100 €/t Rostasche. Ein Grund für die höheren Kosten aus Sicht des Ascheproduzenten für die Abgabe an ein Kompostwerk könnte sein, dass das Produkt – eine Aschekompostmischung – meist als Agrarkompost abgegeben wird. Nach derzeitigem Stand erzielen Agrarkomposte nur Preise von deutlich unter 10 €/t Frischmasse.

Insgesamt ergeben sich hinsichtlich der Entsorgungskosten oft wirtschaftliche Vorteile durch Verwertung anstelle einer Deponierung. Allerdings muss beachtet werden, dass gleichzeitig eventuell höhere Analysekosten anfallen und vielleicht auch weitere Transporte für eine Verwertung notwendig sind. Soll die Asche zur Verwertung zertifiziert werden, müssen auch diese Mehrkosten berücksichtigt werden. Damit muss die Wirtschaftlichkeit von Verwertungsstrategien im Einzelfall beurteilt werden. Für Anlagen, die nur wenige Tonnen Asche pro Jahr erzeugen, ist die Verwertung in der Regel somit nicht wirtschaftlich rentabel.

Die Eigenverwertung von Aschen kann eine Alternative zur herkömmlichen Entsorgung darstellen. Allerdings wird diese in der Praxis sehr selten durchgeführt, da auch bei einer Eigenverwertung ein Dünger gemäß den Vorgaben der DüMV/BioAbfV hergestellt werden muss, was einen erheblichen Aufwand erfordert (siehe Kapitel 4.1 und 4.2).

Bei einer Eigenverwertung werden die eingesparten Entsorgungskosten zu einem entscheidenden Faktor. Der Mehraufwand für die Eigenverwertung sollte diese Einsparungen nicht übersteigen. Im Fall einer Eigenverwertung müssen auch der Aufwand für die

notwendigen Genehmigungen zur Lagerung und Aufbereitung von Abfällen, die Kosten für die Ascheaufbereitung und gegebenenfalls die Kosten für die Logistik berücksichtigt werden. Demgegenüber stehen die Erlöse für die Ascheprodukte, die ja bei einer Eigenverwertung vermarktet oder selbst genutzt werden können.

Der technische Aufwand für die Eigenverwertung der Aschen umfasst verschiedene Aspekte: Eventuell sind zusätzliche Lagerflächen für die Aschen notwendig, es wird Aufbereitungstechnik für die Metallabscheidung und Zerkleinerung benötigt, ebenso Technik für den Umschlag der Aschen, beispielsweise ein Radlader. Auch zusätzlicher Personalaufwand ist einzukalkulieren. Von Anfang an sollte auch die gewinnbringende Vermarktung der erzeugten Produkte (z. B. Düngemittel) in den Blick genommen werden. Günstig wären beispielsweise eigene Flächen zur Ausbringung der erzeugten Düngemittel oder der Zugriff auf ein bereits bestehendes Netzwerk an Abnehmern (z. B. Kunden eines Kompostwerks). Da die meisten Aschen gemischt werden, um einen mineralischen oder organisch-mineralischen Dünger zu erhalten, ist ein verfügbarer Gemischpartner wie Kalk, Dolomitgestein oder Kompost von Vorteil.

Günstige Rahmenbedingungen für eine eigene Düngemittelherstellung bieten beispielsweise Stadtwerke, die sowohl ein Heizwerk als auch ein Kompostwerk betreiben, oder Heizwerkbetreiber, die bereits über den notwendigen Gerätepark und eigene Flächen für die Ausbringung der Düngemittel verfügen. Weitere Voraussetzungen sind ausreichend Lagerplatz und entsprechende abfallrechtliche Genehmigungen. Ebenso wichtig ist eine vorhandene Abnehmerstruktur, wie Landwirte oder Kompostwerke, oder eine gewinnbringende Eigenverwendung, beispielsweise auf eigenen Flächen oder im Straßenbau.

Die Wirtschaftlichkeit der Ascheverwertung hängt von vielen Faktoren ab, darunter Aschequalität, regionale Marktbedingungen und Kosten für Transport, Aufbereitung und Zertifizierung. Eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse ist daher unerlässlich, um die optimale Verwertungsstrategie zu ermitteln.

Abbildung 21 zeigt den Screenshot eines Exceltools, mit dem eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Ascheverwertungsstrategien vorgenommen werden kann. Das Tool "Kostenvergleich Ascheentsorgung" ist auf der Website des TFZ (www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biogenefestbrennstoffe/dateien/kostenvergleich_ascheentsorgung.xlsx) abrufbar.

Die gelb hinterlegten Felder können mit Zahlen zur jährlichen Menge verwertbarer Asche und zu den Kosten für Deponierung und Verwertung befüllt werden. So kann beispielsweise abgeschätzt werden, ob eine Beseitigung der Aschen auf einer Deponie oder die Abgabe an einen Ascheverwerter wirtschaftlich sinnvoller ist.

Im unteren Teil des Exceltools lässt sich berechnen, wie hoch die Aschebehandlungskosten im Fall einer Eigenverwertung maximal sein dürfen, um zumindest die Deponierungskosten nicht zu überschreiten. Wird die Menge der jährlich anfallenden Rostasche variiert bei gleichbleibender sonstiger Kostenstruktur ergibt sich der Zusammenhang aus dem finanziellen Spielraum, der für die Ascheverwertung zur Verfügung steht, und der Aschemenge (Abbildung 22). Für geringe Aschemengen ergibt sich ein negativer Wert. Das

heißt, bei einem Ascheanfall von unter 100 Tonnen pro Jahr ist mit der in Abbildung 21 dargestellten Kostenstruktur eine Eigenverwertung wirtschaftlich nicht sinnvoll. Verzichtet man beispielsweise auf eine Zertifizierung der zur Verwertung eingesetzten Aschen oder/und erzielt höhere Erträge für die hergestellten Produkte, verbessert sich der wirtschaftliche Spielraum für eine Eigenverwertung.

Wirtschaftlichkeitsabschätzung von Verwertungsoptionen		
Menge Rostasche(t)	2.000	t/a
Variante A: Entsorgung auf Deponie		
Transportkosten Rostasche	20	€/t
Deponiekosten	60	€/t
Entsorgungskosten Rostasche (evtl. alternativ zu obigen Kosten)	0	€/t
Analysekosten pauschal	1.000	€/a
Summe Kosten Rostaschedeponierung	161.000	€/a
Variante B: Abgabe der Rost- und Kesselaschen an (externen) Verwerter		
Verwertungskosten Rostasche	30	€/t
Transportkosten Rostasche	30	€/t
Analysekosten pauschal	2.000	€/t
ggf. Kosten für Zertifizierung der Asche	5.000	€/a
Summe	127.000	€/a
Wirtschaftlicher Spielraum für eine eigene Ascheaufbereitung zur Verwertung im Vergleich zu Variante A		
Einsparung bisheriger Entsorgungskosten	161.000	
Analysekosten pauschal bei Eigenverwertung	5.000	€/a
ggf. Kosten für Zertifizierung der Asche	5.000	€/a
Sonstige Kosten (z.B. Transporte)	10	€/t
Erlös der hergestellten Produkte	5	€/t
Wirtschaftlicher Spielraum für Eigenverwertung	141.000	€
Wirtschaftlicher Spielraum für Eigenverwertung	71	€/t

Abbildung 21: Screenshot eines Exceltools zur Kostenabschätzung verschiedener Verwertungsoptionen von Rost- und Kesselaschen

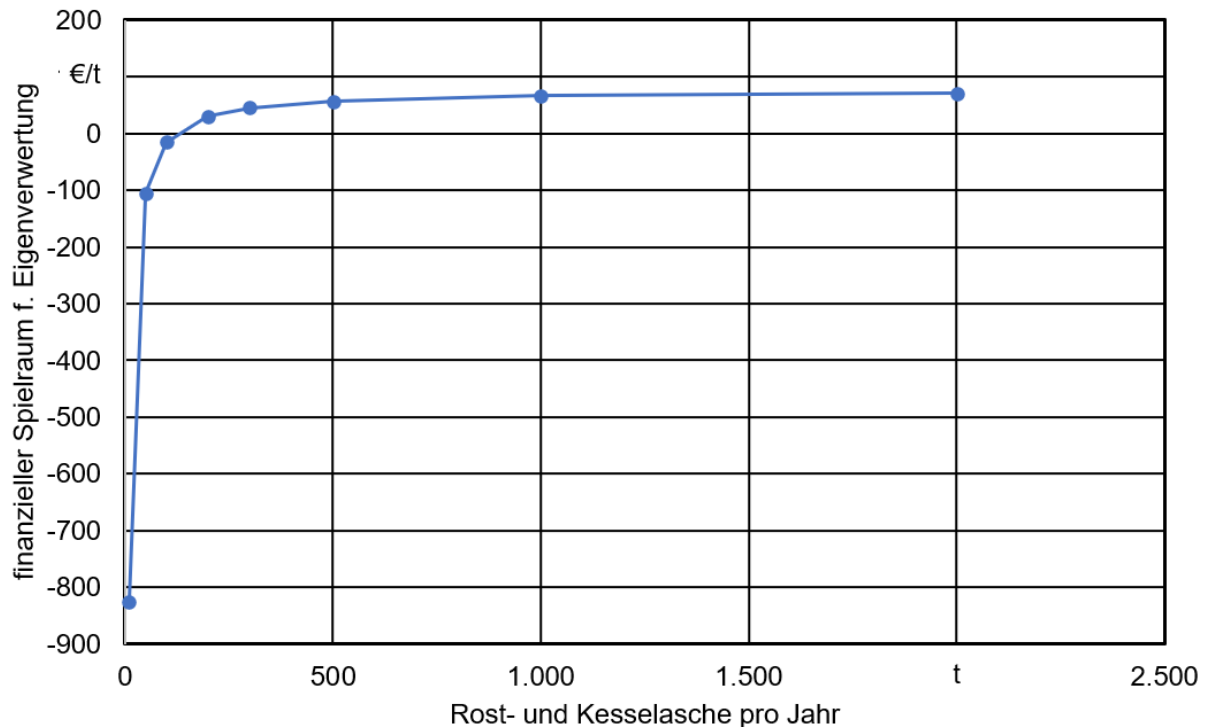


Abbildung 22: Entwicklung des finanziellen Spielraums für eine Ascheeigenverwertung in Abhängigkeit von der Aschemenge. Die Werte ergeben sich, wenn bei der in Abbildung 21 dargestellten Kostenstruktur nur die Aschemenge geändert wird.

6.2 Umweltauswirkungen der stofflichen Verwertung von Holzasche

Um die Nachhaltigkeit verschiedener Entsorgungs- und Verwertungswege von Rostaschen zu beurteilen, wurde anhand von Fallstudien realer Anlagen eine Abschätzung zur Treibhausgasbilanz der Ascheentsorgung vorgenommen.

Die Berechnung der Treibhausgasbilanz erfolgt auf Basis von Praxisdaten aus zehn Fallstudien im Rahmen des Projekts „AshUse 2“. Die Düngeprodukte aus Asche ersetzen mineralische Düngemittel. Für diesen Ersatz gewährt die Berechnung Gutschriften. Es wurde angenommen, dass die Nährstoffe in der Asche bei Verwertung im Kalkwerk zu 100 % mineralische Produkte ersetzen, da die mineralische Düngung oder Bodenverbesserung in der Praxis sehr gezielt zum Ausgleich von Defiziten eingesetzt wird. Für die Verwertung im Kompostwerk wurden Abschläge vorgenommen, da erstens die Nährstoffgehalte durch die Vermischung mit Organik stark verdünnt werden und Komposte nicht gezielt zum Ausgleich von Nährstoffdefiziten aufgebracht werden können, sondern dem Humusaufbau dienen. Es ist anzunehmen, dass die Kalkwirkung der Asche teilweise durch die organischen Säuren im Kompost neutralisiert wird. Für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium wurde daher im Fall der Verwertung im Kompostwerk eine Gutschrift in Höhe von 50 % der gleichen Menge an Mineraldünger angenommen. Für Kalk wurde eine Gutschrift in Höhe von 20 % im Vergleich zu konventionell hergestelltem Kalkdünger gewährt.

Die Ergebnisse dieser Bilanzierung zeigen, dass die Umweltwirkungen maßgeblich von folgenden Faktoren beeinflusst werden:

- Entfernung des Heizwerks vom Ort der Entsorgung,
- Art der Entsorgung,
- Qualität der Asche.

Die Deponierung von Asche verursacht die höchsten Emissionen, wobei 30 bis 50 Gramm CO₂-Äquivalent pro Kilogramm Asche freigesetzt werden. Im Gegensatz dazu führen die Kompostierung und das Recycling von Asche zu CO₂-Gutschriften, da sie mineralische Düngemittel ersetzen. Die Gutschriften für die Asche als Mischkomponente für Kompost führen zu Einsparungen zwischen 40 und 140 Gramm CO₂-Äquivalent pro Kilogramm Asche. Bei der Verwendung von Asche als rein mineralischer Dünger sind die Gutschriften höher und liegen zwischen 280 und 410 Gramm CO₂-Äquivalent pro Kilogramm Asche.

Asche mit hohem Calciumgehalt schneidet in der Ökobilanzierung besser ab, da die energieintensive Produktion von Branntkalk oder Löschkalk durch die Asche ersetzt werden kann und somit hohe Gutschriften erzielt werden. Da die Aschequalität bei der Deponierung keine Rolle spielt, ist der Transportweg zwischen Heizwerk und Deponie der entscheidende Faktor für die Umweltbilanz der Aschedeponierung.

Bei der Verwendung von Rostasche als Mineraldünger wurden die Treibhausgaseinsparungen höher bewertet, da die Nährstoffe in der Asche düngewirksam sind. Bei der Verwertung der Rostasche im Kompostwerk wurden aus oben genannten Gründen geringere Gutschriften für den Ersatz konventionell erzeugter Mineraldünger gewährt.

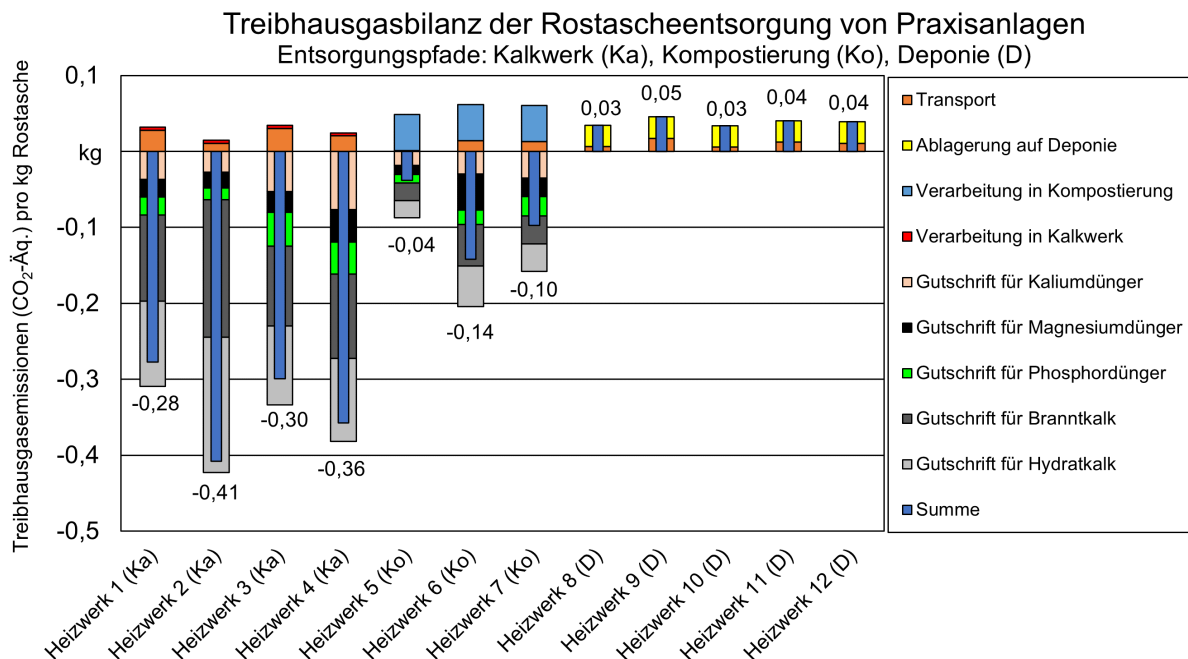


Abbildung 23. Treibhausgasbilanzen der Rostaschascheverwertung für Düngezwecke im Kalkwerk oder Kompostwerk und der Entsorgung auf einer Deponie anhand von Praxisbeispielen

7 Fallbeispiele zum Aschemanagement in bayerischen Heiz(kraft)werken

7.1 Erfahrungen und Herausforderungen bei der Ascheverwertung

Im folgenden Abschnitt zeigen Fallbeispiele aus der Praxis, wie unterschiedlich die Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Ascheverwertung und beim Management von Aschen sein können und welche Faktoren bei der Wahl des optimalen Verwertungswegs berücksichtigt werden müssen.

7.2 Beschreibung realer Fallbeispiele

Die erfolgreiche Umsetzung der Ascheverwertung erfordert eine sorgfältige Betrachtung der spezifischen Rahmenbedingungen jedes einzelnen Heiz(kraft)werks. Die Art der eingesetzten Brennstoffe, die technische Ausstattung der Anlage, das Aschemanagement im Heiz(kraft)werk selbst und die regionale Struktur potenzieller Abnehmer spielen entscheidende Rollen.

In diesem Kapitel werden praktische Beispiele vorgestellt, die die Vielfalt der Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Ascheverwertung veranschaulichen. Von der einfachen Befeuchtung der Asche zur Staubreduzierung bis hin zur Entwicklung innovativer Fördertechniken und der Zusammenarbeit mit regionalen Kompostwerken zeigen die Beispiele, wie Heiz(kraft)werkbetreiber die Ascheverwertung erfolgreich umsetzen können.

Die Fallstudien verdeutlichen, dass es keinen allgemeingültigen Weg zur Ascheverwertung gibt. Vielmehr muss jeder Betreiber seine individuellen Möglichkeiten und Herausforderungen analysieren, um eine maßgeschneiderte Lösung zu finden, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist.

7.2.1 Fall 1: Heizwerk für kommunales Wärmenetz

Das betrachtete Heizwerk wurde 2009 errichtet und verfügt über zwei baugleiche Biomassekessel mit je 3,5 MW thermischer Leistung. Als Brennstoff dient regional anfallendes Waldrestholz. Die Anlage liefert Wärme für ca. 500 Haushalte und einige Gewerbebetriebe in einer Gemeinde im Voralpenland. Es fallen zwei Aschefraktionen an: Rostasche und Elektrofilterasche. Beide Fraktionen werden logistisch günstig in separaten Containern zwischengelagert, die direkt vor dem Heizgebäude stehen. Die Zwischenlagerung vor dem Gebäude senkt die Staubbelastung im Gebäude und erspart weitere Arbeitsschritte im Vergleich zu Anlagen mit Aschecontainern im Heizhaus, wo die Behälter oft relativ aufwendig nach draußen bewegt werden müssen.

Die Rostaschen des Heizwerks werden trocken aus dem Feuerraum entascht. Ein Trogkettenförderer je Kessel befördert die Aschen aus dem Gebäude. Die Austragstechnik ist robust, seit der Inbetriebnahme des Heizwerks wurde die Entaschung nicht umgebaut.

In den Anfangsjahren des Heizwerkbetriebs wurden Versuche unternommen, die Rostasche an Landwirte abzugeben. Die fehlende Ascheaufbereitung und Ausbringtonik sowie die rechtlichen Hürden stellten sich jedoch als Hindernis heraus. Die Aschen werden nun an ein Kompostwerk weitergegeben, das daraus einen landwirtschaftlichen Kompost herstellt. Den Abtransport der Aschen übernimmt ein Entsorger, der die Aschen an ein ca. 60 km entferntes Kompostwerk liefert. Die Rostasche bereitet beim Empfänger der Asche (Kompostwerk) Probleme beim Abkippen, da es zu Staubentwicklung kommt. Der Versuch, die Rostasche im Container mit einer Lanze zu befeuchten, wurde als nicht erfolgreich beschrieben, da sich die Feuchtigkeit nicht gleichmäßig in der Asche verteilte. Einer Befeuchtung direkt am Abwurf in den Container steht der Betreiber kritisch gegenüber, da er befürchtet, dass die Asche aufgrund der relativ langen Lagerdauer im Behälter erhärtet und wegen des erhöhten Gewichts die Transportkosten steigen. Die Abgabe einer Tonne Rostasche an das Kompostwerk verursacht Kosten in Höhe von ca. 100 € zuzüglich Transportkosten.

Die Fraktion der Zyklonasche wird innerhalb der Heizkessel bauartbedingt der Rostasche beigemischt. Da der Zyklon, die „erste filternde Einheit“ im Rauchgasweg darstellt, ist eine Verwertung dieser Mischasche im Rahmen des deutschen Düngemittelrechts zulässig (Kapitel 2.3). Häufig wird bei Vermischung von Rost- und Zyklonasche eine Erhöhung der Schwermetallgehalte in der Mischasche beobachtet. Im vorliegenden Fall halten die Mischaschen jedoch die Qualitätskriterien für einen Ausgangsstoff für Düngemittel ein. Eine Vermischung der beiden Aschefraktionen innerhalb des Wärmeerzeugers ist zulässig, eine Vermischung von zwei getrennt gesammelten Aschefraktionen wäre nicht zulässig (Kapitel 2.2). Der Vorteil einer Beimischung zur Rostasche liegt im Einsparen einer Aschefraktion, die sonst separat entsorgt werden müsste. Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass separat gesammelte Aschefraktionen nicht vermischt werden dürfen, wenn sich dadurch die Verwertungsmöglichkeiten verschlechtern (Kapitel 2.2).

Die aus dem Elektrofilter stammende Filterasche wurde ursprünglich bei beiden Kesseln wie die Rostasche mit einem Trogkettenförderer in einen baugleichen, vor dem Heizhaus aufgestellten Container befördert. Aufgrund von Korrosion musste einer der Trogkettenförderer jedoch ausgetauscht werden. Die Ursache war wohl eine Luftführung oder Undichtigkeit, die zu Kondensatbildung und starker Korrosion in der Förderanlage führte. Bei der nun eingebauten Lösung handelt es sich um eine spezielle Förderspirale, die besser abgedichtet ist, keine „Luft zieht“ und deswegen nicht korrodiert. Die Filteraschen werden von einem spezialisierten Entsorger abgeholt und als Baustoff im Bergversatz von Kali-bergwerken verwertet. Als Bergversatz bezeichnet man das Ausfüllen untertägiger Hohlräume von Bergwerken zur mechanischen Stabilisierung. Der Bergversatz gilt als Maßnahme zur Abfallverwertung. Die Abgabe von Filterasche als Bergversatz kostet ca. 200 € pro Tonne. Dazu kommen die Transportkosten sowie eine Pauschale für das Befeuchten der Aschen beim Abladen. Im vorliegenden Fall erschwerten in manchen Proben hohe Zinkwerte eine Verwertung.

Sowohl die Rostaschen als auch die Filteraschen werden jährlich durch ein externes Labor analysiert, um deren Qualität zu überwachen.

Das anfallende Rauchgas wird durch eine Kondensationsstufe geleitet, um die Restwärme zu nutzen. Das anfallende Kondensat wird in einer Neutralisationsanlage behandelt, und wird in den Abwasserkanal geleitet. Die geringen anfallenden Mengen an Schlamm werden entsorgt.



Abbildung 24: Trogkettenförderer, der die Rostaschen von einem kleinen Keller unter dem Heizkessel zum Aschecontainer vor dem Gebäude fördert



Abbildung 25: Förderung der E-Filteraschen mit einer Transportspirale. Die Förderanlage ist speziell abgedichtet. Damit soll verhindert werden, dass eindringende kühle Luft zu Kondensation und Korrosion führt, wie beim vorher verbauten Trogkettenförderer.



Abbildung 26: Lagerbehälter für die E-Filterasche (Hintergrund) und die Rost- und Kesselasche. Die Aufstellung der Container zur Aschelagerung vor dem Gebäude trägt zu einer geringeren Staubbelastung im Heizhaus bei und erleichtert das Auswechseln der Behälter.

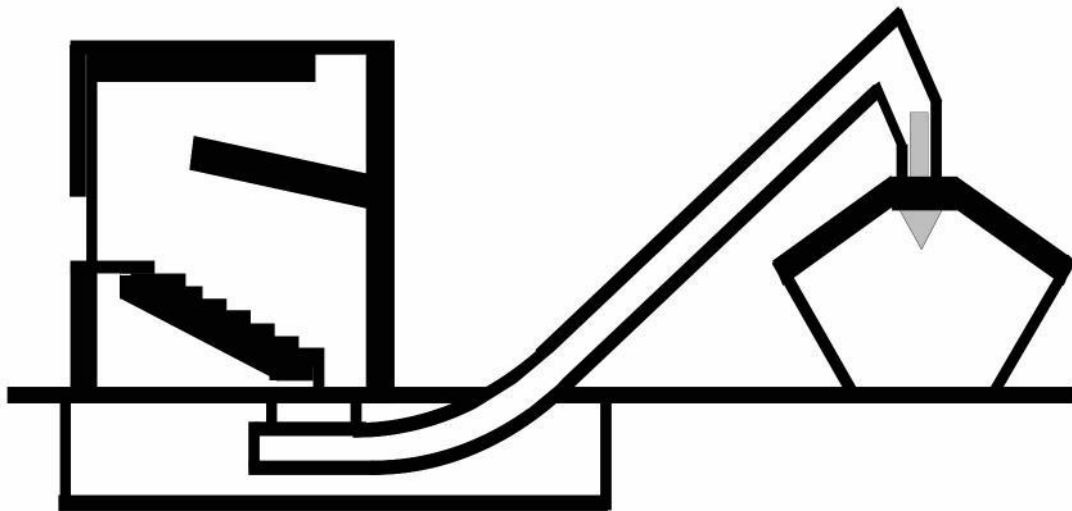


Abbildung 27: Schemazeichnung eines Biomassekessels mit Treppenrost und Austrag der Rostasche mittels Trogkettenförderer in einen Aschecontainer vor dem Gebäude

7.2.2 Fall 2: Einfache Aschebefeuchtung am Ascheaustrag

Das Heizwerk mit zwei baugleichen Kesseln und einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von 12 MW befindet sich im Bayerischen Wald und versorgt ein städtisches Wärmenetz. Als Brennstoff kommen überwiegend Waldhackschnitzel und geringe Mengen unbehandelte Resthölzer aus holzverarbeitenden Betrieben sowie Rinde und Landschaftspflegematerial zum Einsatz. Bei der Verbrennung entstehen etwa 90 Tonnen Rostasche und etwa fünf Tonnen Filterasche. Die Zyklonasche wird innerhalb der Anlage mit der Rostasche vermischt. Dadurch verschlechtert sich die Qualität der Rostasche durch Cadmiumeintrag so weit, dass eine landwirtschaftliche Verwertung nicht infrage kommt. Eine Verwertung ist auch nicht angedacht, da die Asche auf eine Deponie verbracht wird.

Der Austrag der Aschen erfolgt in einen unter dem Kessel aufgestellten Container. Dadurch ist für die Rostasche keine weitere Fördertechnik notwendig. Durch einen im Heizwerk installierten Kran lassen sich die Aschecontainer tauschen.

Staub stellt beim Umgang mit Aschen häufig ein Problem dar, vor allem auch bei den Verwertern, z. B. beim Abkippen der Container. Im betrachteten Heizwerk wurde diesem Problem durch den Einbau einer Befeuchtungsanlage begegnet. Dabei handelt es sich um eine Wasserzufuhr, die in der Steuerung mit dem Ascheaustrag gekoppelt ist. Sobald der Ascheschieber öffnet und die Rostasche nach unten in den Sammelbehälter fällt, öffnet sich automatisch für eine Sekunde eine Wasserleitung im Fallschacht und befeuchtet die Asche ausreichend, um einen Wassergehalt von ca. 10 % zu erreichen. Bei einer Ascheuntersuchung zeigte sich, dass mit dieser Feuchte bereits zuverlässig Chrom(VI) in der Asche reduziert wird. Die Wasserzugabe sollte so hoch wie nötig, aber so gering wie möglich sein, da ein höheres Gewicht höhere Transport- und Entsorgungskosten nach sich

zieht (siehe auch Kapitel 5.4). Die Wasserzugabe erfolgt technisch einfach, nicht über eine Düse, sondern über ein Metallrohr. Düsen würden im direkten Kontakt mit der Asche vermutlich rasch verstopfen.

Zukünftig wird die Zusammenführung von Zyklon- und Rostasche zurückgebaut und beide Aschefraktionen separat gesammelt. Das würde wieder die Möglichkeit eröffnen, die Aschen zu verwerten, anstatt sie zu auf einer Deponie zu beseitigen. Regional bestünde eventuell die Möglichkeit, die Asche an ein Kompostwerk abzugeben, das einen Asche-kompostdünger herstellt.

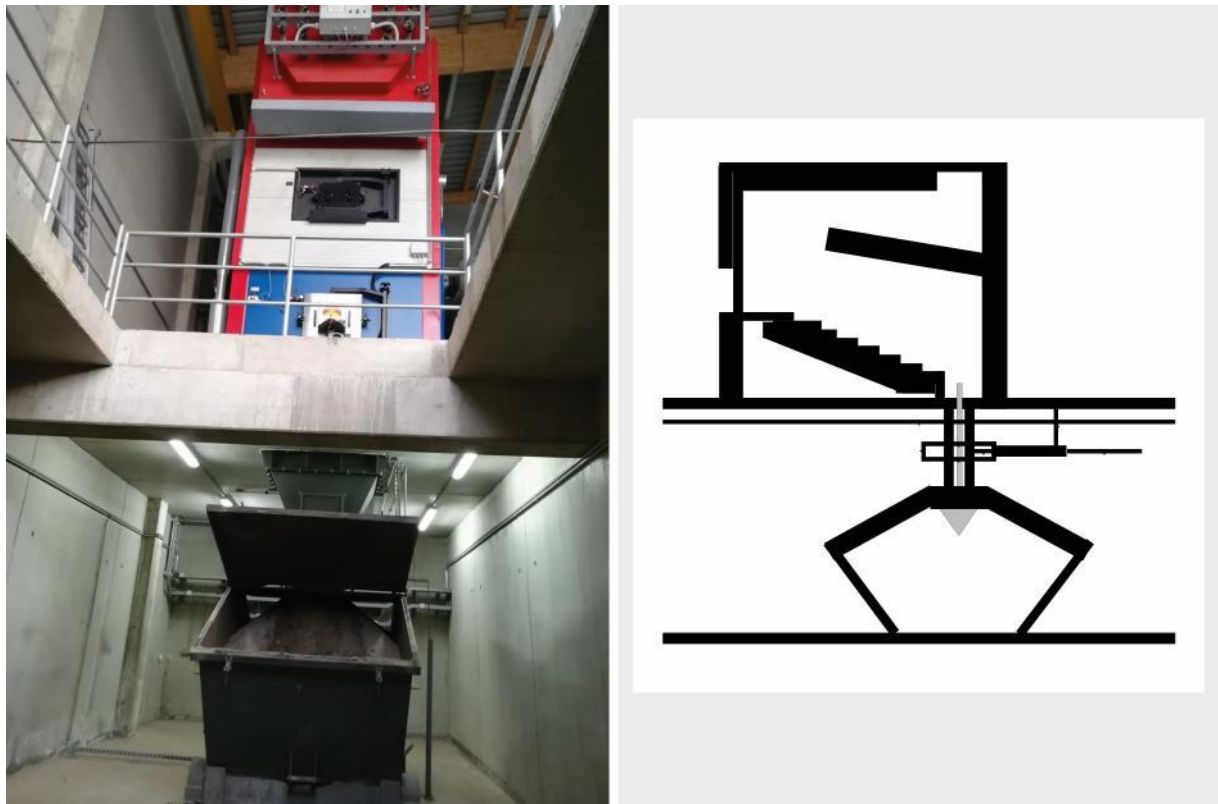


Abbildung 28: Heizkessel mit direkt darunter befindlichem Container für die Rost- und Kesselaschen



Abbildung 29: Oberhalb dieses Trichters befindet sich ein waagrechter Schieber. Wenn dieser geöffnet wird, fällt Asche in den Container. Die Leitung an der Verengungsstelle des Trichters dient der Wasserzugabe während des Ascheaustrags.



Abbildung 30: Detailaufnahme der Zuleitung für die Wasserzugabe. Im Vordergrund der Trichter, durch den die Asche in den Container fällt, im Hintergrund der Magnetschalter, der den Wasserhahn dann öffnet, wenn Asche in den Container fällt.

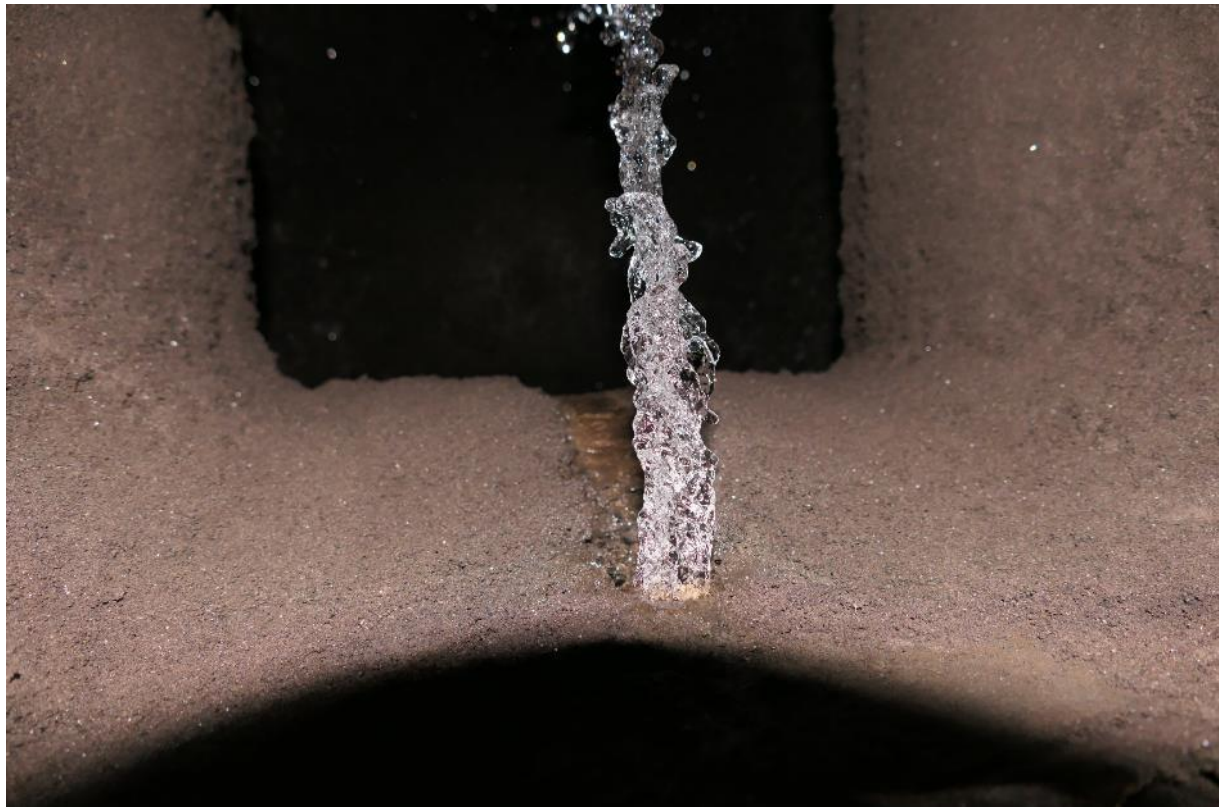


Abbildung 31: So sieht der Wasseraustritt an der Innenseite aus (der gleichzeitig stattfindende Ascheabwurf ist für das Foto deaktiviert). Das Wasser tritt nicht durch eine Düse aus, sondern trifft als Vollstrahl auf die Asche. Düsen wären unter den Bedingungen im Ascheabwurf vermutlich schnell verstopft. Wasser und Asche vermischen sich im Fallschacht homogen zu einem Gemisch mit etwa 10 % Wasseranteil.

7.2.3 Fall 3: Städtisches Heiz(kraft)werk mit Nassentaschung auf der Suche nach Möglichkeiten bei der Ascheverwertung

Das Heizkraftwerk im Norden Bayerns wurde 2010 in Betrieb genommen und erzeugt jährlich 11.000 MWh Strom und 25.000 MWh Wärme. Die Wärme wird über ein Wärmenetz verteilt und zu einem geringeren Teil auch zur Klärschlamm-trocknung eingesetzt. Als Brennstoff wird Landschaftspflegematerial eingesetzt.

Die Anlage mit Rostfeuerung verfügt über eine Nassentaschung, dabei fällt die Asche unter dem Kessel in ein Wasserbad und wird dann mit einem Trogkettenförderer nach draußen vor das Heizhaus befördert. Dort wird die Asche in einem Bunker gesammelt. Die Austragstechnik wird als sehr robust beschrieben. In der bisherigen 14-jährigen Laufzeit wurde die Förderkette zweimal gewechselt. Der Behälter mit dem Wasserbad wies bisher keine Undichtigkeit auf.

Die Entaschung verbraucht ca. 50 m³ Wasser pro Jahr, die ausgetragene Asche hat einen Trockenmassegehalt von 75 bis 80 %. Damit ist der Wasseranteil so hoch, dass im Aschebunker Wasser steht. Das ist für das Aschehandling ungünstig, viele Verwerter bevorzugen trockenere Aschen. Eventuell ließe sich der Wassergehalt durch eine Verlängerung

der Verweilzeit der Asche im Kettenförderer reduzieren. So könnte die Asche im schräg nach oben führenden allmählich Förderweg abtropfen, bevor sie in den Aschebunker fällt.

Die Heiz(kraft)werkbetreiber haben großes Interesse an einer Verwertung der Asche. Aus diesem Grund wird die Asche schon seit Jahren durch die Bundesgütegemeinschaft Holz- asche nach dem Gütezeichen RAL-Dünger oder als Ausgangsstoff für Dünger zertifiziert. Allerdings erweist sich die Verwertung als schwierig, da in der Region nur wenige Abnehmer für die Asche vorhanden sind. Manchmal ist es möglich, einen Teil der Rostasche für die Waldkalkung in Baden-Württemberg abzugeben. An Standorten mit Kalk- und Kaliumdefizit wird ein Gemisch aus Dolomitkalk und Holzasche eingesetzt. Es kam allerdings schon vor, dass die anfallende Asche wegen zu geringer Kaliumgehalte trotzdem nicht für eine Waldkalkung geeignet war. Räumlich anbieten würde sich eine Kooperation mit einem nahegelegenen, ebenfalls städtisch betriebenen Kompostwerk. Dort wurde bereits versuchsweise ein Agrarkompost als Mischung aus Asche und Kompost hergestellt und vermarktet. Die Asche muss dafür von Metallen und Störstoffen befreit und ggf. zerkleinert werden. Da der an Landwirte abgegebene Agrarkompost nur sehr gering vergütet wird, wäre es notwendig, dass das Kompostwerk für die Ascheabnahme entlohnt wird. Für das Heiz(kraft)werk könnte sich das trotzdem rechnen, da erhebliche Logistikkosten eingespart werden könnten. In den letzten Jahren mussten die eigentlich zur Verwertung zertifizierten Aschen mangels Abnehmer auch häufig auf Deponien entsorgt werden. Auch diese Kosten könnten bei einem etablierten lokalen Verwertungspfad eingespart werden.



Abbildung 32: Die Rost- und Kesselasche fällt in diese wassergefüllte Wanne unter dem Heizkessel und wird über einen robusten Trogkettenförderer durch die Gebäudeaußenwand zum Aschebunker gefördert.



Abbildung 33: Ascheabwurf der nassen Asche in den Aschebunker vor dem Heizhaus



Abbildung 34: Detailansicht vom oberen Ende des Trogkettenförderers. Trogkettenförderer sind sehr robust und für die Förderung abrasiver Materialien wie Aschen gut geeignet. Die Förderkette des hier gezeigten Trogkettenförderers musste in der bisher 14-jährigen Laufzeit zweimal ausgetauscht werden.

7.2.4 Fall 4: Flugaschenförderung im Heizwerk mit Zementpumpe

Das hier beschriebene Heizwerk steht in Franken und dient mit seinen 3,5 MW Feuerungswärmeleistung der Wärmeversorgung eines Klinikums. Die Rostasche wird an ein Kompostwerk zur Verwertung abgegeben. Die Einbausituation ist beengt, da ein bereits vorhandenes Heizhaus mit umgebender Bebauung für die Errichtung des Heizwerks genutzt wurde. Aufgrund der räumlichen Enge ist keine Lagerung der Hackschnitzel möglich, sondern diese werden direkt bei Anlieferung in den Bunker entleert. Die Hackschnitzel stammen von verschiedenen Lieferanten, vor allem die Wassergehalte können stark variieren. Eine Zwischenlagerung der Hackschnitzel zwischen Anlieferung und Beschickung würde es ermöglichen, diese Qualitätsunterschiede durch einfaches Mischen beim Befüllen des Bunkers auszugleichen. Diese Möglichkeit besteht aber nicht, was die Anlagenführung bei sehr unterschiedlichen Brennstoffen anspruchsvoll macht.

Bei diesem Heizwerk soll nicht die eigentliche Ascheverwertung im Fokus stehen, sondern das hier verwirklichte innovative System zum Transport von Flugaschen innerhalb der Anlage dargestellt werden: Der Elektroabscheider des Heizwerks wurde im Gebäude errichtet, eine einfache Förderung per Schnecke o. Ä. durch die Gebäudeaußenwand und die Sammlung der Flugaschen vor dem Gebäude war aus baulichen Gründen nicht möglich. Um die Staubbelastung im Gebäude und die Arbeitsbelastung gering zu halten, entschied man sich für den Einbau von Fördertechnik aus der Zementindustrie. Diese Anlage funktioniert wie ein Staubsauger, die Asche wird chargenweise vom E-Abscheider abgesaugt und vor dem Gebäude über einen Zyklon in einen Big-Bag abgeschieden. Jährlich werden so elf Tonnen Flugaschen abgesaugt. Nur sehr selten kommt es zu Verstopfungen. Aufgrund der eingebauten Wartungsöffnungen in der Saugleitung können diese einfach behoben werden. Die Verstopfungen treten auf, wenn sehr feuchtes Material verfeuert wird. Die in der Folge dann leicht feuchte Filterasche lässt sich schwieriger fördern. Pro Jahr fallen so ca. 14 Big-Bags Zyklonasche an. Alle 1,5 Jahre erfolgt der gesammelte Abtransport in eine Untertagedeponie in einem Salzbergwerk. Die folgenden Abbildungen zeigen die Übergabe der E-Filterasche an das Saugsystem (Abbildung 35), den Fliehkraftabscheider und die Sammlung der Asche in einem Big-Bag (Abbildung 36), das Saugaggregat (Abbildung 37) und die Zwischenlagerung der befüllten Big-Bags (Abbildung 38).



Abbildung 35: Übergabe der E-Filterasche über eine Zellradschleuse (1) und einen Schieber (2) an einen Trichter (3), der die Filterasche dem erzeugten Luftstrom beimischt. Direkt hinter dem Trichter befindet sich der Ansaugstutzen für die Förderluft (4).



Abbildung 36: Ein Fliehkraftabscheider trennt die E-Filterasche wieder vom Luftstrom. Die Filterasche wird hier direkt in einen Big-Bag gefüllt, der sich dann einfach transportieren lässt.



Abbildung 37: Das notwendige Vakuum für die stationäre Absauganlage wird mit diesem Saugaggregat erzeugt. Laut Herstellerangabe wird der Unterdruck durch eine oder mehrere Seitenkanal-Vakuumpumpen erzeugt.



Abbildung 38: Zwischenlagerung der mit Filterasche gefüllten Big-Bags

7.2.5 Fall 5: Umgang mit Aschen aus Heiz(kraft)werken mit Sägenebenprodukten als Brennstoff

Dieses Fallbeispiel umfasst die Erfahrungen aus mehreren Heiz(kraft)werken, die mit einem ähnlichen Mix aus Sägerestholz und Rinde von Nadelhölzern betrieben werden. Die Anlagen dienen der Bereitstellung von Trocknungswärme, in je einem Fall zusätzlich der Stromerzeugung über eine ORC-Anlage sowie der Produktion von Prozessdampf. Die Feuerungswärmeleistung der einzelnen Kessel liegt zwischen 6 und 22 MW, und die Anlagen laufen das ganze Jahr mit hoher Auslastung.

Die Heiz(kraft)werke entaschen die Rostaschen teilweise trocken, oder die Aschen werden beim Austrag aus der Anlage leicht angefeuchtet. Die größte Anlage nutzt eine Nasentaschung.

Einige Anlagen vermeiden eine abgetrennte Sammlung der Fraktion der Zyklonaschen. In einem Fall wird die anfallende Zyklonasche genehmigungskonform wieder dem Brennstoff zugegeben und mitverfeuert. In zwei weiteren Fällen gibt es keinen Zyklonabscheider, sodass hier nur Rostasche und Filterasche anfallen. Der Anteil an Filterasche ist in solchen Fällen höher als bei Anlagen mit zusätzlichem Zyklonabscheider. In einem weiteren Fall wird die Zyklonasche der Rostasche zugemischt, was bei der Verwertung insofern aber zu Problemen bei der Schadstoffbelastung der Mischasche führen kann, als im Vergleich zur reinen Rostasche erhöhte Cadmiumgehalte beobachtet wurden.

Die Lagerung der Aschen erfolgt in offenen Mieten, Lagerhallen und Containern, der Transport der offen gelagerten Aschen kostengünstig in Muldenkippern. Im Fall der Containerlagerung werden die Container ausgetauscht. Diese Art des Transports ist aber kostenintensiver, da weniger Nutzlast transportiert werden kann und die Behälter gewechselt werden müssen.

Die Aschen werden an einen Verwerter in ca. 100 km Entfernung abgegeben, der diese als Mineraldüngerkomponente oder zur Herstellung von Aschekompostmischung verwendet. Der Verwerter bevorzugt angefeuchtete Aschen, da sie aufgrund der geringen Staubemissionen einfacher zu handhaben sind. Aus einem Teil der Flugaschen werden in Eigenregie genehmigungskonform Betonbauteile hergestellt.

Die Befeuchtung von Filteraschen am Austrag aus dem Elektroabscheider bringt große Vorteile beim Umschlag der Aschen, da diese dann einfach mit Radlader und Muldenkipper verladen bzw. transportiert werden können. Technisch herausfordernd ist jedoch die Anfeuchtung der Aschen am Austrag aus dem Elektrofilter.



Abbildung 39: Lagerung feuchter Aschen in einem offenen Aschebunker. Diese Art der Lagerung ist kostengünstig. Die Anfeuchtung verhindert Staubemissionen. Die Asche wird in kurzen zeitlichen Abständen zum Verwerter transportiert, sodass sich die feuchte Asche nicht verfestigt.



Abbildung 40: Über einen Trichter fällt die trockene Rost- und Kesselasche in ein Wasserbad. Mittels Trogkettenförderer wird die Asche dann in den Aschebunker transportiert.

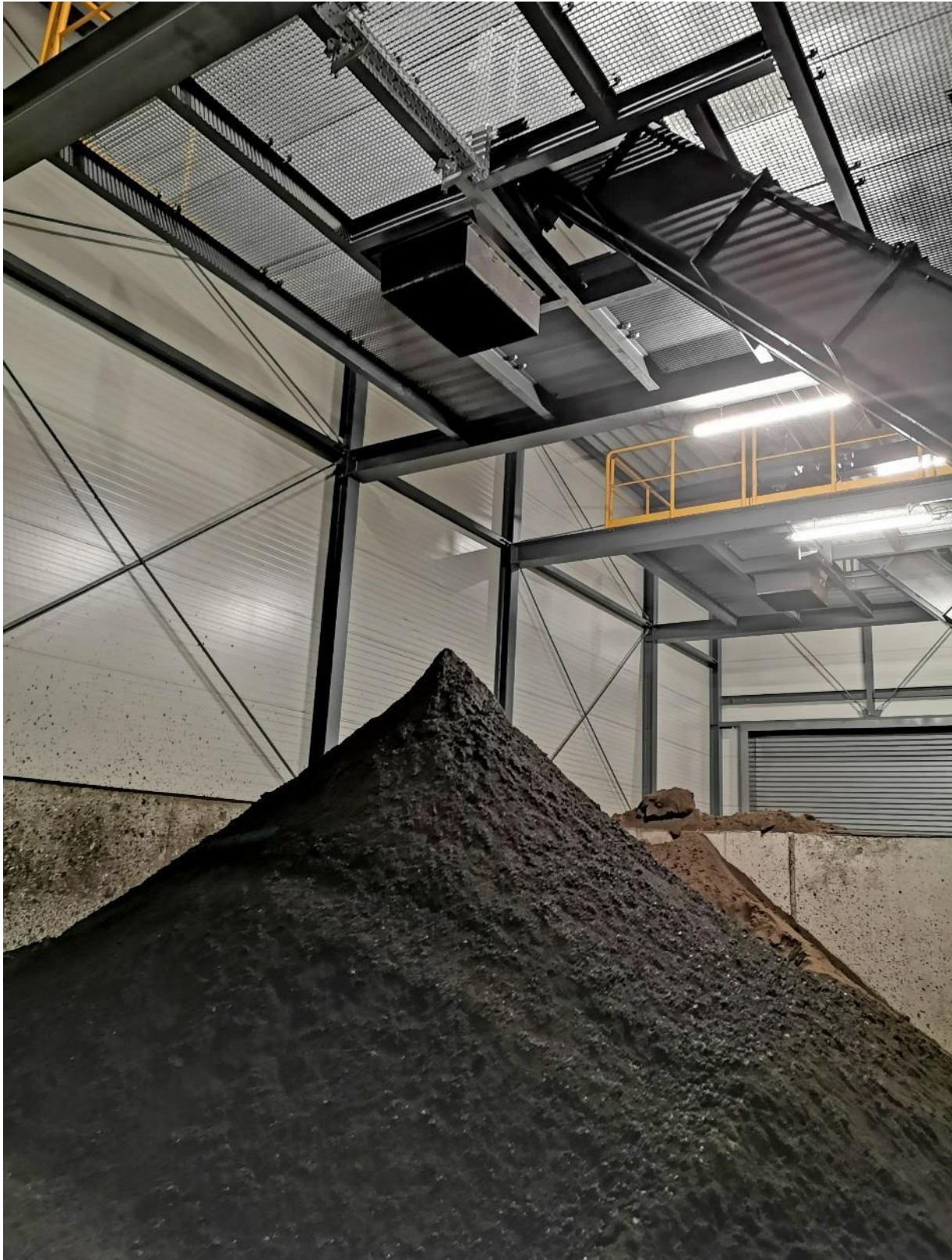


Abbildung 41: Lagerung feuchter Asche in einem überdachten Aschebunker. Die feuchte Asche kann ohne Staubentwicklung mit Radlader verladen werden. Auch der günstige Transport in Muldenkippern ist möglich.



Abbildung 42: Abrollbehälter für die Rost- und Kesselasche, die mittels Trogkettenförderer aus dem Heizhaus transportiert wird. Dieses System bietet sich für trockene Aschen an, da der geschlossene Container Staubbelastungen bei Befüllen und Transport verhindert.

7.2.6 Fall 6: TFZ-Heizwerk – kleines Heizwerk mit geringen Aschemengen

Dieses Heizwerk wird vom TFZ in Straubing betrieben und versorgt ein Nahwärmenetz zur Versorgung der Wärmeinsel rund um das Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Es besteht auch die Möglichkeit der Wärmeübergabe an ein angrenzendes lokales Wärmenetz der Stadtwerke Straubing. Das Heizwerk besteht aus zwei baugleichen Kesseln mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von 1,3 MW und einer Festbettfeuerung mit Treppenrost. Das Heizwerk nutzt Hackschnitzel aus Waldrestholz von Nadelbäumen und zu einem geringen Teil Hackgut aus Kurzumtrieb als Brennstoff.

Es fallen zwei trockene Aschefractionen an – Rostasche und Zyklonasche. Für die Anlage mit Baujahr 2007 war bei Errichtung noch kein Elektroabscheider für die Abscheidung feiner Flugaschen vorgeschrieben.

Die Qualität der Rostasche wurde umfangreich untersucht. Von der Zusammensetzung würde sich die Asche für eine Verwertung als Düngemittel oder Ausgangsstoff für Düngemittel eignen. Hackgut aus Kurzumtrieb führt zu deutlich höheren Nährstoffkonzentrationen in der Rostasche. Das liegt am hohen Rindenanteil im Brennstoff und vermutlich auch

an den Baumarten Weide und Pappel. Allerdings ist die anfallende Aschemenge mit insgesamt ca. fünf Tonnen pro Jahr zu gering, um den höheren Aufwand für eine Verwertung zu kompensieren. Daher gelangt die Asche über einen Entsorger auf eine Deponie.

Das Aschemanagement der Anlage ist aufwendig. Die beiden Kessel stehen im Kellergeschoss. Die Rostasche wird in fahrbaren Metallbehältern neben dem Kessel gesammelt. Die Aschebehälter werden dann mit einem Aufzug nach oben vor das Gebäude befördert. Dort müssen die Rostaschen mithilfe eines Radladers in einen größeren Container entleert werden. Dieser Vorgang wurde kürzlich durch neue Behälter, die am Boden über einen Schieber verfügen, deutlich vereinfacht. So muss der Aschebehälter zum Entleeren nicht mehr gekippt werden. Die Zyklonasche wird in staubdicht abgedichteten Behältern aufgefangen. Allerdings ist eine Entsorgung der Zyklonaschen nur möglich, wenn diese in Big-Bags verpackt werden. Dafür ist ein aufwendiges Umfüllen von Hand notwendig. Da die Asche aus dem Zyklon noch recht hohe Temperaturen aufweisen kann, ist eine direkte Befüllung eines Big-Bags aufgrund von Brandgefahr nicht möglich.



Abbildung 43: Heizkessel mit Rostascheaustrag per Schneckenförderer in einen Roll-container, der zum Entleeren aus dem Keller vor das Gebäude transportiert werden muss und dort mithilfe eines Laders in einen Container geleert wird



Abbildung 44: Neu beschaffte Klappbodenbehälter mit Einfahrtaschen für Staplergabeln machen das Entleeren der Aschebehälter in einen größeren Aschcontainer nun einfacher. Sobald der Behälter mittels Stapler positioniert ist, lässt sich der Boden öffnen und die Asche fällt in den Sammelcontainer.

8 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

8.1 Elf wichtige Tipps für die Planung einer Strategie zum Umgang mit den anfallenden Aschen

Folgende Tipps helfen bei der Planung einer Strategie zur Ascheverwertung

1. **Rechtliche Anforderungen:** Da Asche als Abfall eingestuft ist, unterliegen die Entsorgung und der Umgang mit den Aschen strengen gesetzlichen Vorgaben wie z. B. dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), der Düngemittelverordnung (DüMV), der Bioabfallverordnung (BioAbfV) oder der Deponieverordnung (DepV). Je nach Entsorgungspfad gelten unterschiedliche Vorgaben. Es ist sinnvoll, sich bereits in der Planungsphase eines Heiz(kraft)werks mit den einzuhaltenden Gesetzen auseinanderzusetzen (Kapitel 2) und ggf. die Anlagenausstattung nach möglichen Verwertungsanforderungen auszurichten.
2. **Wirtschaftliches Aschemanagement:** Der Arbeitsaufwand beim Aschemanagement lässt sich durch verschiedene Maßnahmen verringern. Die Wahl des richtigen Ascheaustragssystems, das auf die jeweilige Feuerungsanlage und die anfallenden Aschemengen abgestimmt ist, kann den manuellen Aufwand erheblich reduzieren. Systeme wie Trogkettenförderer oder Schneckenförderer ermöglichen einen automatisierten Austrag der Asche. Ein ideal konzipiertes System ermöglicht die direkte Förderung der Asche(n) aus dem Heizhaus in einen bereitstehenden Container oder ein Aschelager, ohne dass weitere Arbeitsschritte erforderlich sind. Dadurch wird nicht nur der Arbeitsaufwand minimiert, sondern auch das Risiko von Staubentwicklung und Kontamination reduziert, was wiederum die Arbeitssicherheit erhöht und die Aschequalität sichert.
3. **Arbeitsschutz:** Asche und Aschestäube sind gesundheitsgefährdend. Dementsprechend sollte bereits in der Planungsphase der Arbeitsschutz im Fokus stehen. Durch den Einsatz effizienter Ascheaustragssysteme und automatisierter Fördertechnik wird der manuelle Arbeitsaufwand minimiert und die Arbeitssicherheit erhöht. Gleichzeitig gewährleisten Staubreduktionsmaßnahmen, wie Befeuchtung oder geschlossene Fördersysteme, den Schutz der Mitarbeitergesundheit und die Sauberkeit der Anlage.
4. **Verwertungsoptionen prüfen:** Informieren Sie sich über verschiedene regional mögliche Verwertungsmöglichkeiten für Holzasche, wie z. B. die Verwendung als Düngemittel oder Ausgangsstoff für Düngemittel. Manchmal kann auch eine Verwendung als Zuschlagstoff im Straßenbau oder in der Baustoffindustrie infrage kommen. Berücksichtigen Sie dabei die spezifischen Eigenschaften Ihrer Asche und die regionalen Gegebenheiten. Da die Dichte an Ascheverwertern in Bayern nicht allzu hoch ist, werden die Logistikkosten immer eine wichtige Rolle spielen bei der Wahl der Entsorgungsoption.
5. **Wirtschaftlichkeit bewerten:** Führen Sie eine Kosten-Nutzen-Analyse durch, um die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verwertungswege zu vergleichen. Berücksichtigen Sie dabei alle relevanten Kostenfaktoren wie Transport, Aufbereitung, Zertifizierung und mögliche Einnahmen durch den Verkauf von Ascheprodukten (Kapitel 6.1).
6. **Kooperationen prüfen:** Prüfen Sie die Möglichkeit, mit anderen Akteuren wie Landwirten, Kompostwerken, Kalkwerken oder Baustoffherstellern zu kooperieren, um Synergien aufzubauen und zu nutzen und die Verwertung Ihrer Asche zu erleichtern.
7. **Effiziente Logistik:** Stellen Sie sicher, dass Sie über geeignete Lagermöglichkeiten und Transportkapazitäten verfügen, um die Asche sicher und effizient zu den Verwertungsanlagen zu transportieren. Eine enge und frühzeitige Zusammenarbeit mit Verwertungspartnern kann den logistischen Aufwand reduzieren. So können beispielsweise

Abholrhythmen und Transportwege optimiert werden. Auch die Zusammenarbeit mit anderen Heizwerkbetreibern kann sinnvoll sein und ggf. Einsparungen bei Logistik und Verwertung ermöglichen.

8. Aschequalität: Je nach Verbleib der Asche muss diese bestimmte Grenzwerte einhalten, um eine sichere Anwendung zu gewährleisten und Umweltschäden zu vermeiden. Der Betreiber ist dafür verantwortlich, dass die Asche diese Anforderungen erfüllt. Kennt er die Qualität nicht, riskiert er rechtliche Konsequenzen und hohe Entsorgungskosten. Die Aschen sollten daher regelmäßig auf ihre Zusammensetzung und Schadstoffbelastung analysiert werden, um festzustellen, ob sie den gesetzlichen Anforderungen für eine Verwertung entsprechen. Die erforderlichen Analysen variieren je nach Verwertungspfad (Kapitel 2.5). Damit die richtigen Analysen durchgeführt werden, ist eine Absprache mit dem Ascheentsorger sinnvoll.
9. Qualitätssicherungssystem etablieren: Implementieren Sie ein Qualitätsmanagementsystem, um die Qualität der Asche kontinuierlich zu überwachen und zu dokumentieren. Dies erhöht die Akzeptanz bei potenziellen Abnehmern und erleichtert die Vermarktung der Asche.
10. Aschebefeuchtung: Je nach Verwertungspfad sollte eine einfache Möglichkeit bestehen, die Asche bei Austrag aus der Anlage dosiert befeuchten zu können, da viele Verwerter aufgrund der Staubentwicklung beim Abladen der Aschen leicht angefeuchtete Aschen bevorzugen.
11. Weitere Aufbereitungstechnologien prüfen: Falls erforderlich informieren Sie sich über geeignete Technologien zur Aufbereitung der Asche, um unerwünschte Bestandteile zu entfernen und die Qualität für die jeweilige Verwertung zu optimieren.

8.2 Sechs häufige Fehler bei der Ascheverwertung

Um eine effiziente und rechtskonforme Ascheverwertung zu gewährleisten, sollten folgende Fehler vermieden werden:

1. Bei der Planung eines Heiz(kraft)werks das Management der Aschen vernachlässigen: Ein gutes Aschemanagement in Biomasseheiz(kraft)werken beginnt bereits in der Planungsphase. Effiziente Ascheaustragssysteme und automatisierte Fördereinrichtungen minimieren den manuellen Aufwand und erhöhen die Arbeitssicherheit. Gleichzeitig ist die Staubreduzierung durch Befeuchtung oder geschlossene Fördersysteme wichtig, um die Gesundheit der Mitarbeiter zu schützen und die Sauberkeit im Heiz(kraft)werk und bei einem möglichen Verwerter zu gewährleisten. Die Qualität der Asche ist entscheidend für ihre Verwendung. Daher sollten die Getrennthaltung verschiedener Aschefractionen, die Vermeidung von Fremdstoffen im Brennstoff und eine optimale Verbrennung von Anfang an berücksichtigt werden. Je nach geplanter Verwertung können auch Aufbereitungsschritte wie Metallabscheidung, Siebung oder Mahlung mitgeplant werden. Ausreichend Lagerfläche für die Asche ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt der Planung. Die Art der Lagerung, ob offen, überdacht oder in Containern, hängt von verschiedenen Faktoren wie Aschemenge, Witterung und Verwendungszweck ab. Eine vorausschauende Planung berücksichtigt auch mögliche Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen und Marktbedingungen für Ascheprodukte. Flexible Lösungen ermöglichen eine Anpassung an veränderte Bedingungen und sichern so die langfristige Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Ascheverwertung. Insgesamt ist ein gutes Aschemanagement ein ganzheitlicher Ansatz, der technische, wirtschaftliche, ökologische und rechtliche Aspekte berücksichtigt. Die Nichtberücksichtigung der Ascheverwertung in der Heizwerksplanung kann diverse

Probleme hervorrufen, die sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch den Betrieb des Heizwerks beeinträchtigen und Nachrüstkosten verursachen können.

2. Asche nicht als Abfall einstufen: Die Einstufung von Asche als Abfall ist im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) klar geregelt. Wer die Asche zur Verwertung nicht als Abfall einstuft, missachtet die mit der Abfallbehandlung und -verwertung verbundenen gesetzlichen Vorgaben und Pflichten und riskiert durch diesen Gesetzesverstoß rechtliche Konsequenzen. Zu den Vorgaben und Pflichten gehören beispielsweise:
 - Getrennthaltungspflicht: Unterschiedliche Aschefractionen müssen getrennt gehalten werden, um eine Kontamination und Wertminderung zu vermeiden.
 - Nachweispflicht: Die ordnungsgemäße Entsorgung oder Verwertung muss nachgewiesen werden können.
 - Einhaltung spezifischer Regelungen: Je nach Verwertungsstrategie der Asche müssen weitere Gesetze und Verordnungen beachtet werden, wie die Deponieverordnung, Düngemittelverordnung oder die Bioabfallverordnung.
3. Verzicht auf Qualitätssicherungsmaßnahmen: Der Verzicht auf Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Ascheverwertung kann schwerwiegende Folgen haben. Die Qualität der Asche, insbesondere hinsichtlich des Schadstoffgehalts, kann stark variieren. Ohne regelmäßige Kontrollen und Analysen besteht die Gefahr, dass die Asche Grenzwerte für Schwermetalle oder andere Schadstoffe überschreitet. Dies kann dazu führen, dass die Asche nicht mehr für die vorgesehene Verwertung geeignet ist und stattdessen teuer entsorgt werden muss. Im schlimmsten Fall kann eine unsachgemäße Verwertung schadstoffbelasteter Asche sogar zu einer Kontamination von Böden oder Gewässern führen und damit erhebliche Umweltschäden verursachen. Zudem kann der Verzicht auf Qualitätssicherungsmaßnahmen das Vertrauen potenzieller Abnehmer untergraben und die Vermarktung erschweren.
4. Wirtschaftliche Aspekte der Ascheentsorgung vernachlässigen: Die Ascheverwertung, obwohl ökologisch sinnvoll, muss nicht unbedingt wirtschaftlich die sinnvollste Option sein. Da die Ascheentsorgung für Heiz(kraft)werke einen erheblichen Kostenfaktor darstellt, sollten alle für den Standort möglichen Entsorgungsstrategien auf ihre Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden. Neben den Entsorgungskosten muss vor allem auch die jeweils notwendige Transportlogistik berücksichtigt werden. Bei der Ascheverwertung zu einem Düngemittel sollte man darüber hinaus mit höheren Kosten für die Ascheanalyse oder ggf. Zertifizierung rechnen.
5. Nur auf ein Pferd setzen bei der Ascheentsorgung: Bei der Ascheverwertung sollten mehrere Optionen verfügbar sein. Bei Aschen, die beispielsweise zum Düngemittel aufbereitet werden, kann es passieren, dass die Aschequalität nicht den Anforderungen entspricht, die Nachfrage nach Ascheprodukten kann schwanken oder Verwerter können kurzfristig die Annahme von Aschen stoppen. Um gegen derartige Vorkommnisse gewappnet zu sein, bietet es sich an, alternative Entsorgungsmöglichkeiten parat zu haben.
6. Kommunikation mit den Abnehmern der Asche: Eine unzureichende Kommunikation mit den Verwertern der Asche kann die Umsetzung einer erfolgreichen Ascheverwertungsstrategie behindern. Am besten Kontakt aufnehmen mit Ihrem Verwerter und z. B. erfahren, in welchem Zustand er die Asche am besten verarbeiten kann und was ihm bei der Aschebehandlung eventuell Probleme bereitet.

Quellenverzeichnis

- [1] BACHMAIER, H. (2023): Anfall und Qualität von Holzasche aus Bayerischen Biomasseheiz(kraft)werken. Vortrag auf der Fachtagung „Nutzung von Holzasche in Bayern“ am 12. Oktober 2023 in Straubing, 22 Seiten
- [2] BACHMAIER, H.; KUPTZ, D.; HARTMANN, H. (2021): Stoffliche Nutzung von Biomasseaschen als Baustein der Bioökonomie. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ). Berichte aus dem TFZ, Nr. 72, 113 Seiten, ISSN 1614-1008
- [3] Bezirksregierung Arnsberg (ohne Jahr): Technische Regeln für Abfälle (TRA). https://www.bra.nrw.de/system/files/media/document/file/tech_reg_abfaelle.pdf
- [4] BOHRN, G.; STAMPFER, K. (2014): Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. Croatian Journal of Forest Engineering, Jg. 35, Nr. 1, S. 81–89
- [5] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (2019): LAGA PN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien. Stand: Mai 2019. Berlin: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Nr. 32, 67 Seiten
- [6] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2022): FAQs zur Verordnung (EU) 2019/1009 mit Durchführungsbestimmungen (Stand 17.03.2022). Quelle: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Duengeprodukte/BLE_FAQs_zur_Verordnung_2019_1009.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (abgerufen am 11.10.2024)
- [7] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2022): Kompetenzverteilung und Notifizierung (Stand 17.03.2022). Quelle: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Duengeprodukte/BLE_Kompetenzverteilung_Notifizierung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 11.10.2024)
- [8] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2022): Module, Anwendbarkeit und Zuständigkeiten (Stand 17.03.2022). Quelle: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Duengeprodukte/Module_Anwendbarkeit_Zustaendigkeiten.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 11.10.2024)
- [9] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2017): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen – Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG, in der Fassung vom 20. Juli 2017). Quelle: <http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/index.html>, S. 1–47

- [10] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMEL) (2017): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) geändert worden ist (Düngemittelverordnung – DüMV, in der Fassung vom 1. Juni 2017). Bundesgesetzblatt, Teil I, Jg. 68, Nr. 32, S. 1305–1349
- [11] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMEL) (2020): Verordnung über die Düngemittel-Probenahme und -Analyse. Düngemittel-Probenahme- und Analyseverordnung (DüngMProbV) vom 17. November 2016 (BGBl. I S. 2542), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. September 2020 (BGBl. I S. 2141) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Jg. 73, Nr. 43, S. 2141–2157
- [12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (BMU) (2002): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 57, S. 4638–4658
- [13] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (BMU) (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 30, S. 1634–1670
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (BMU) (2007): Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – NachwV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 66, S. 2814–2841
- [15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2001): Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001
- [16] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU); BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BMELF); BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT (BMG) (2012): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Bioabfallverordnung – BioAbfV, in der Fassung vom 1. August 2012. Vorschriftenammlung der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg, Version 02/2012, S. 1–58
- [17] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMW) (2002): Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung – VersatzV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 57, S. 4659–4674.
- [18] BUNDESVERBAND MINERALISCHER ROHSTOFFE E. V. (MIRO) (2019): Deutscher Nachhaltigkeitspreis 2019 – Preisträger und Projekte. Die deutsche Gesteinsindustrie – modern, effizient, nachhaltig (Stand: 29.03.2019). Bundesverband Mineralischer Rohstoffe e. V. (MIRO) (Hrsg.). Mitarbeit: Rese, F. Duisburg, 39 Seiten
- [19] DIETZ, E.; KUPTZ, D.; BLUM, U.; SCHULMEYER, F.; BORCHERT, H.; HARTMANN, H. (2016): Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern. Gehalte ausgewählter Elemente, Heizwert und Aschegehalt. Straubing, Freising-Weihenstephan: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ); Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Berichte aus dem TFZ, Nr. 46, 141 Seiten, ISSN 1614-1008

- [20] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2019): Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 (Text von Bedeutung für den EWR). Amtsblatt der Europäischen Union, L 170/1, 25.06.2019
- [21] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (2014): Leitfaden feste Bio-brennstoffe. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich. Förderkennzeichen (FKZ) 22002410. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 208 Seiten, ISBN 9783000153891
- [22] GEISEN, B.; GIVERS, F.; KUPTZ, D.; PEETZ, D.; SCHMIDT-BAUM, T.; SCHÖN, C.; SCHREIBER, K.; SCHULMEYER, F.; THUDIUM, T.; ZELINSKI, V.; ZENG, T. (2023): Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holzhackschnitzeln. 2., überarbeitete Auflage. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 87 Seiten, ISBN 978-3942147-35-4
- [23] KALTSCHMITT, M.; HOFBAUER, H.; LENZ, V. (Hrsg.) (2024): Energie aus Biomasse. Thermochemische Konversion. 4. Auflage. 3 Bände. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Energie aus Biomasse, Band 2)
- [24] KEHRES, B. (2013): Verwertung von Holzaschen auf Flächen. 08.03.2013. 2., überarbeitete Fassung. Köln-Gremberghoven: Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (Hrsg.). BGK Thema Information, 14 Seiten
- [25] KEHRES, B. (2016): Holzaschen in der Kompostierung. H & K Humuswirtschaft & Kompost aktuell, Nr. 5, 2016. Ein Informationsdienst der BGK – Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. Köln-Gremberghoven, S. 1 – 3
- [26] KUPTZ, D.; HARTMANN, H.; MENDEL, A.; ÜBERREITER, J. (2017): Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ). TFZ-Berichte, Nr. 52, 88 Seiten, ISSN 1614-1008
- [27] LAZIK, P.-R. (2024): Holzasche im Beton. Vortrag auf dem Holzaschekongress am 10.04.2024 in Leinfelden-Stetten, 18 Seiten
- [28] OBERNBERGER, I.; SUPANCIC, K. (2015): FACT-SHEET: Einsatz von Holzasche als Bindemittel zur Bodenstabilisierung z. B. im Straßenbau. FFG-Branchenprojekt „Entwicklung von innovativen Verfahren zur Holzascheverwertung“. Fachverband der Holzindustrie Österreichs (Hrsg.). Wien, Graz: BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, 8 Seiten
- [29] REICHLE, E.; MÜLLER, R.; SCHMOECKEL, G.; MÜLLER, C.; WENDLAND, M.; GEIGER, H.; STETTER, U.; ZORMAIER, F. (2009): Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. Merkblatt. Stand: 01.08.2009. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.). Augsburg, 19 Seiten
- [30] SCHILLING, S. (2020): Steuerungsmöglichkeiten der Qualität und Eignung von Holzaschen für deren Einsatz bei der Waldkalkung. Masterarbeit am Institut für Forstwissenschaften. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

- [31] SUPANCIC, K.; OBERNBERGER, I.; KIENZL, N.; ARICH, A. (2014): Conversion and leaching characteristics of biomass ashes during outdoor storage. In: ÖSTERREICHISCHER BIOMASSE-VERBAND (ÖBMV); LANDWIRTSCHAFTSKAMMER STEIERMARK; BIOENERGY 2020+ GMBH; KLIMA- UND ENERGIEFONDS (Hrsg.): Tagungsband – Proceedings. 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz – 4. Central European Biomass Conference (CEBC). Graz, 15. bis 18. Januar. Wien: Österreichischer Biomasse-Verband (ÖBV), S. 1–9
- [32] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ) (2020): FRED Feste Regenerative Energieträger Datenbank. Straubing: Technologie- und Förderzentrum (TFZ), www.fred.bayern.de
- [33] TIEFENTHALER, W. (2023): Nutzung von Holzasche als Zuschlagstoff in der Baustoffindustrie. Vortrag auf der Fachtagung „Nutzung von Holzasche in Bayern“ am 12. Oktober 2023 in Straubing, 15 Seiten
- [34] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BMELF) (2012): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DÜV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 29, S. 1305–1349
- [35] WALTER, B.; MOSTBAUER, P.; KARIGL, B. (2016): Biomasse-Aschenströme in Österreich. Wien: Umweltbundesamt GmbH. Umweltbundesamt – Report, Nr. REP-0561, 56 Seiten

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

- 1 Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
- 2 Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
- 3 Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
- 4 Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
- 5 Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
- 6 Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
- 7 Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
- 8 Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
- 9 Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
- 10 Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
- 11 Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
- 12 Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
- 13 Getreidekörner als Brennstoff für Kleinf Feuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
- 14 Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmkraftstoff betriebenen Traktors
- 15 Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
- 16 Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
- 17 Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
- 18 Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
- 19 Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis

- 20 Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
- 21 Kleine Biomassefeuerungen – Marktbetrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
- 22 Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
- 23 Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
- 24 Charakterisierung von Holzbriketts
- 25 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
- 26 Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
- 27 Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
- 28 Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauszenarien
- 29 Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
- 30 Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
- 31 Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufen I und II
- 32 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstanduntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- 33 Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
- 34 Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
- 35 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstanduntersuchungen
- 36 Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
- 37 Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat
- 38 Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
- 39 Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
- 40 Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 41 Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605

- 42 Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
- 43 Brennstoffqualität von Holzpellets
- 44 Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
- 45 ExpRessBio – Methoden
- 46 Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
- 47 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
- 48 Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayerische Anbaubedingungen
- 49 Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
- 50 Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
- 51 Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
- 52 Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
- 53 Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
- 54 Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
- 55 Lagerung von Holzhackschnitzeln
- 56 Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
- 57 Optimierungspotenziale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
- 58 Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
- 59 Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsrerzeugung in Bayern
- 60 Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
- 61 Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen
- 62 Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
- 63 Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
- 64 Amarant als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien für bayerische Standorte
- 65 Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinfeuerungsanlagen – Verbrennungstechnische Optimierung durch Additivierung und Mischung
- 66 Einflussfaktoren auf die NO_x-Emissionen in Hackschnitzelheizwerken zwischen 1 und 5 Megawatt

- 67 Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL
- 68 Hanf zur stofflichen Nutzung – Stand und Entwicklungen
- 69 Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Zünd- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe V (EVOLUM)
- 70 Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 71 Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II
- 72 Stoffliche Nutzung von Biomasseaschen als Baustein der Bioökonomie
- 73 Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen
- 74 Erweiterte Holzpelletcharakterisierung – Einfluss bekannter und neuer Brennstoffparameter auf die Emissionen aus Pelletöfen und -kesseln
- 75 Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie
- 76 Mineralisch verschmutzte Holzbrennstoffe – Teil 1: Auswirkungen auf die Verbrennung
- 77 Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern – Thermische Verwertung
- 78 Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff
- 79 Realemissionen und Nutzungsgrade von kleinen automatisch beschickten Holz-Zentralheizungskesseln mittels Lastzyklus-Methode – Methodenentwicklung und Ergebnisse einer Serienprüfung
- 80 Klimafreundliche Landmaschinen im Feldtest
- 81 HVO-Diesel für Traktoren – Analyse zum Einsatz des paraffinischen Dieselskraftstoffs HVO auf Staatsbetrieben
- 82 Innovative Verfahrensketten für Holzbrennstoffe mit einem Duplex-Schneckenhacker
- 83 Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau
- 84 Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau
- 85 Konzeption von Agri-Photovoltaik-Anlagen
- 86 Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb – Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts
- 87 Künstliche Intelligenz und Drohnen: Automatisierte Beikrautidentifikation in Sorghumfeldern
- 88 Handreichung Ascheverwertung – Leitfaden für Betreiber von Biomasseheizwerken
- 89 Gärrestdüngung und umweltschonende Umbruchmethoden in Durchwachsener Silphie

