

Energie aus Restholz

Ein Leitfaden für
holzverarbeitende Betriebe



Impulsprogramm PACER
Bundesamt für Konjunkturfragen



Trägerschaft:

VSSM Verband Schweizerischer Schreinermeister
und Möbelfabrikanten

Patronat:

SZV Schweizerischer Zimmermeisterverband
VHe Schweizerische Vereinigung für Holzenergie
SHIV Schweizerischer Sägerei- und Holzindustrie-Verband
KSH Komitee Schweizer Holz

Projektleitung:

Andres Jenni, I/E/U/ AG, Liestal

Kursleitung:

Joseph Schmid, I/E/U/ AG, Liestal

Autoren:

Max Erny, I/E/U/ AG, Liestal
Andres Jenni, I/E/U/ AG, Liestal
Thomas Nussbaumer, VERENUM, Zürich
Philipp Steinmann, XYLON SA, Plan-les-Ouates
Armin Winkler, IReL AG, Liestal

Unter Mitarbeit von:

Ruedi Bühler, Ing.-Büro, Maschwanden
Kurt Meier, Basler und Hofmann, Zürich
Robert Uetz, INFOENERGIE, Tänikon

Projektbegleiter PACER-Projektleitung:

Arthur Wellinger, INFOENERGIE, Tänikon

Übersetzungen (französisch-deutsch):

Bruno Holenstein, Forst-Ingenieurbüro, Bern

Konzept, Ausarbeitung und Redaktion:

Joseph Schmid, I/E/U/ AG, Liestal

Gestaltung:

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, April 1994

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt.
Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale
(Best.-Nr. 724.238 d)

Form. 724.238 d 4.94 2000 U18176



Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL– Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/ Nutzenverhältnis fördern,
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln,
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) mit einbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem Ingenieure, Architekten, Installateure sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll Anreize geben bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement, auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenor-



ganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin, BfK) begleitet durch Eric Mosimann, BfK, verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die Dokumentation richtet sich in erster Linie an Besitzer, Betreiber und Verantwortliche holzverarbeitender Betriebe. Schreinermeister, Zimmerleute und Säger erhalten, auf der Grundlage dieses Handbuches in einem eintägigen Kurs, Anleitungen und Entscheidungshilfen für eine risikolose und wirtschaftliche Sanierung oder Umsetzung einer Holzfeuerungsanlage vermittelt.

Aber auch für den Anlageplaner oder für Schulen und Lehrstätten werden praxisbezogene Hinweise und Grundlagen der Restholzverbrennung aufgezeigt.

Der Aufbau des Handbuches gliedert sich in die drei Teile Hauptkapitel, Grundlagen und Anhang. Für das angesprochene Zielpublikum wird das Hauptkapitel und der Anhang von grösstem Interesse sein, während der Teil Grundlagen als Ergänzung und Information eher dem interessierten Anlageplaner von Nutzen sein wird.

Zu den allgemein verständlichen Fachartikeln werden jeweils die wichtigsten Merkmale und Stichworte als Marginalie oder durch Rahmen und Hintergrundfläche hervorgehobener Textteil zusammengefasst.

Beispiele und Berechnungsgrundlagen, Diagramme und Tabellen als Kopiervorlagen, sowie wichtige Hinweise und Kontaktadressen sind im Anhang aufgeführt.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei den praktischen Anwendungen ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Redaktor/Kursleiter entgegen (vgl. S. 2).

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

April 1994

Bundesamt für Konjunkturfragen
Dr. B. Hotz-Hart
Vizedirektor für Technologie



Inhalt

| | | |
|-----------|---|------------|
| 1 | Übersicht und Zielsetzung | 7 |
| 2 | Wie kann Restholz genutzt werden? | 9 |
| 2.1 | Restholzsortiment | 9 |
| 2.2 | Restholzaufbereitung und Lagerung | 11 |
| 2.3 | Restholzhandel | 20 |
| 2.4 | Energetische Nutzung von Restholz | 21 |
| 2.5 | Entsorgung von Restholz | 22 |
| 3 | Soll die bestehende Anlage saniert werden? | 23 |
| 4 | Die Auswahl einer Holzfeuerungsanlage | 27 |
| 4.1 | Feuerungssysteme | 27 |
| 4.2 | Einfache Feuerungsauswahl | 34 |
| 4.3 | Vertragliche Regelungen mit Anlagenherstellern | 45 |
| 5 | Was schreibt das Gesetz vor? | 47 |
| 5.1 | Luftreinhalte-Verordnung (LRV) | 47 |
| 5.2 | Technische Verordnung über Abfälle (TVA) | 51 |
| | Grundlagen | 53 |
| 6 | Wie kann Restholz sauber verbrannt werden? | 55 |
| 6.1 | Verbrennungsvorgang von Holz | 55 |
| 6.2 | Schadstoffe bei der Verbrennung von Restholz | 58 |
| 6.3 | Feuerraumgestaltung | 59 |
| 6.4 | Betrieb und Regelung von Restholzfeuerungen | 61 |
| 6.5 | Abgasreinigung | 64 |
| 7 | Wie kann der Energieverbrauch reduziert werden? | 67 |
| 7.1 | Stromverbrauch | 67 |
| 7.2 | Wärmerückführung | 72 |
| | Anhang | 77 |
| A1 | Abschätzen von Betriebsdaten für eine Anlagenauslegung | 79 |
| A2 | Fallbeispiel Kleinbetrieb | 83 |
| A3 | Fallbeispiel mittlerer Betrieb | 87 |
| A4 | Siloustragungssysteme | 91 |
| A5 | LRV-Grenzwerte für Holzbrennstoffe | 95 |
| A6 | Diagramme und Tabellen (Kopiervorlagen) | 97 |
| A7 | Wichtige Adressen | 99 |
| A8 | Literaturverzeichnis | 101 |
| | Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER | 103 |

HAUPTKAPITEL

GRUNDLAGEN

ANHANG

1 Übersicht und Zielsetzung

Neben dem Brennholz aus dem Wald bildet das Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben einen wesentlichen Anteil des verfügbaren Energieholzpotentials. Dazu gehören Schwarten, Spreissel, Rinde und Sägemehl aus Sägereien sowie Verschnittstücke und Sägemehl aus Zimmereien und Schreinereien.

Das Inkrafttreten der Luftreinhalte-Verordnung 92 (LRV) hat in vielen holzverarbeitenden Betrieben für Verunsicherung gesorgt. Bezüglich der Staubemissionen enthält die LRV eine Lockerung, während ein Grenzwert für Kohlenmonoxid eingeführt wurde, der bei Kleinf Feuerungen erhöhte Anforderungen verlangt.

Die vorliegende Dokumentation sowie die fachlichen und betrieblichen Kenntnisse des Zielpublikums bilden die Grundlage für den praxisorientierten Kurs. Dieses Handbuch gibt Antworten auf die Fragen: Ist die energetische Nutzung des Restholzes überhaupt noch wirtschaftlich und sinnvoll? Welche Konsequenzen haben die Grenzwerte der LRV auf eine mögliche energetische Nutzung eines spezifischen Restholzsortiments? Oder soll die bestehende Heizung saniert werden und welche Feuerungstechnik steht zur Verfügung?

Den Besitzern und Verantwortlichen holzverarbeitender Betriebe gibt dieser Leitfaden eine Anleitung für die Vorauswahl eines wirtschaftlichen Anlagekonzeptes. Dem Anlageplaner werden praxisbezogene Hinweise sowie Grundlagen der Restholzverbrennung vermittelt.

Schreinermeister, Zimmerleute und Säger sowie allgemein Besitzer, Betriebsleiter und Fachleute aus den holzverarbeitenden Betrieben.

Die eintägige Weiterbildung zeigt dem Zielpublikum grundsätzlich auf, welche Zusammenhänge bei der energetischen Nutzung von Restholz zu beachten sind.

Der Kurs will im Detail die Auswirkungen der LRV 92 aufzeigen, die Grenzwerte für ein spezifisches Restholzsortiment erläutern sowie die Grundkenntnisse über dessen emissionsarme Verbrennung und den technischen Stand von Holzfeuerungsanlagen vermitteln.

Anhand der Referate und Diskussionen, der Fallbeispiele sowie der übersichtlich strukturierten Kursunterlage soll der Teilnehmer

- die Auswirkungen der LRV 92 auf sein Restholzsortiment beurteilen können,
- die Entscheidungsgrundlagen für eine risikolose Sanierung oder Umsetzung einer Holzfeuerungsanlage zur Verfügung haben,
- für seine Betriebsgrösse und das spezifische Restholzsortiment die Zusammenhänge für ein sinnvolles Anlagekonzept erkennen können,
- angeleitet werden, in einer Vorauswahl einen – in bezug auf Energie und LRV – optimalen Kessel auszuwählen,
- problematische Restholzsortimente kostengünstig und ökologisch einwandfrei entsorgen können.

Die genaue Dimensionierung einer neuen Feuerungsanlage muss durch entsprechende Fachleute erfolgen!

Ausgangslage

Welche Fragen beantwortet dieses Handbuch?

Zielpublikum

Zielsetzung

Handbuchaufbau

Das Handbuch ist in drei Hauptteile gegliedert.

Erster Teil: **Hauptkapitel 1 bis 5**
Für das Zielpublikum wichtig!

Zweiter Teil: **Grundlagen Kapitel 6 und 7**
Für das Zielpublikum informativ!

Dritter Teil: **Anhang mit Beispielen und Arbeitsgrundlagen**
(Diagramme/Tabellen)

Der Begriff «Restholz»

Wir verweisen am Anfang dieses Handbuches klar darauf hin, dass der Begriff «Restholz» nur im Sinne der LRV 92 verwendet wird. Die Verbrennung von Altholz und übrige Abfälle wird andersweitig behandelt.

Für den Besitzer eines holzverarbeitenden Betriebes ist es wichtig zu wissen, dass die Wortkonstruktion «Restholz» nach LRV 92, Anhang 5 nicht mit den landläufigen Begriffen Holzresten, altes Holz usw. gleichzusetzen ist (detaillierte Angaben siehe Kapitel 5).

2 Wie kann Restholz genutzt werden?

2.1 Restholzsortiment

Durch die Formgebung von Holz mit Werkzeugen und Bearbeitungsmaschinen entstehen Reste, welche zumeist nicht mehr zu Produktionszwecken verwendet werden können. Dieses Restholz fällt in unterschiedlicher Form und Grösse an.

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| Schwarten/Spreissel | Längen von mehreren Metern |
| Verschnittstücke | Einige cm bis über einen Meter |
| Schnitzel | Längen bis zu 5 cm |
| Späne | Korngrößen ab 0.5 mm |
| Holzstaub | Korngrößen kleiner als 0.5 mm |

Die Feinheit von Restholz ist zur Hauptsache abhängig von:

- der Bearbeitungsart (schleifen, sägen, fräsen, hobeln usw.),
- den Bearbeitungsmaschinen, beziehungsweise von deren Werkzeugform und Schnittgeschwindigkeit,
- dem verarbeiteten Holzsortiment (Massivholz, Holzwerkstoffplatten).

| | MDF-Platten | Spanplatten | Massivholz |
|------------------|-------------|-------------|------------|
| Schleifen | Staub | Staub | Staub |
| Sägen | Staub | Staub/Späne | Späne |
| Fräsen | Staub/Späne | Späne | Späne |
| Hobeln | Späne | Späne | Späne |
| Hacken | Schnitzel | Schnitzel | Schnitzel |

Die Zusammensetzung des Restholzes ist von dem jeweils bearbeiteten Holzsortiment abhängig. Dieses kann zum einen aus verschiedenen Massivholzarten und Holzwerkstoffplatten bestehen und zum anderen aus holzfremden Stoffen wie Farben, Beschichtungen, Leimen und Bindemitteln.

Typische Wassergehalte im Restholz von Holzverarbeitenden Betrieben:

| | |
|---------------|-------------------|
| Schreinereien | x = 7 % bis 15 % |
| Zimmereien | x = 10 % bis 25 % |
| Sägereien | x = 30 % bis 50 % |

$$\text{Wassergehalt } x = \frac{\text{Gewicht des Wassers} \times 100}{\text{Gewicht des feuchten Holzes}} [\%]$$

$$\text{Holzfeuchte } u = \frac{\text{Gewicht des Wassers} \times 100}{\text{Gewicht des trock. Holzes}} [\%]$$

Wie und in welcher Form entsteht Restholz?

Wovon hängt die Feinheit des Restholzes ab?

*Tabelle:
Anfallendes Restholz aus
Schreinereien*

Wie setzt sich Restholz zusammen?

Hinweis:

Der Wassergehalt (x) ist nicht zu verwechseln mit der Holzfeuchte (u). In diesem Handbuch wird immer mit dem Wassergehalt (x) gerechnet.

Energieinhalt von Restholzsortimenten

Der Energieinhalt von Restholz ist zur Hauptsache abhängig vom Wassergehalt und von der Holzart. Je feuchter Restholz ist, desto kleiner ist bei gleicher Masse sein Energieinhalt.

Tabelle:
Energieinhalt von Restholz

Schreinereien und Zimmereien

| Restholzsortiment [Wassergehalt ca. 10–15%] | Energieinhalt | |
|---|---------------|---------|
| | [kWh] | [l Öl] |
| Massivholz [1 m ³] | 2250–2950 | 225–295 |
| Holzwerkstoffplatten [1 m ³] | 3000–4400 | 300–440 |
| Briketts [1 m ³] | 4400–7700 | 440–770 |
| Hackschnitzel aus Massivholz [1 Sm ³] | 900–1150 | 90–115 |
| Hackschnitzel aus HWK [1 Sm ³] | 1200–1750 | 120–175 |
| Späne/Staub aus Massivholz [1 Sm ³] | 650–850 | 65–85 |
| Späne/Staub aus HWK [1 Sm ³] | 1000–1400 | 100–140 |

Sägereien

| | | |
|---|-----------|---------|
| Massivholz [1 fm ³] | 1850–2450 | 185–245 |
| Schnitzel, Rinde zerkleinert [1 Sm ³] | 850–1100 | 85–110 |
| Spreissel, Schwarten [1 m ³] | 1400–1850 | 140–185 |
| Sägemehl [1 Sm ³] | 600–800 | 60–80 |

Hinweise:

HWK = Holzwerkstoffplatte
 fm³ = Festmeter (1 Kubikmeter feste Holzmasse)
 Sm³ = Schnitzelkubikmeter
 m³ = Kubikmeter
 (für gesägtes Holz)

2.2 Restholzaufbereitung und Lagerung

Sortieren

Auf Grund der gesetzlichen Vorschriften zur Luftreinhaltung kann es sinnvoll oder sogar notwendig sein, Holzreste aus bestimmten Verarbeitungen gesondert zu sammeln.

Vor allem in kleineren Holzfeuerungsanlagen dürfen in vielen Fällen bestimmte Restholzsortimente nicht verfeuert werden. Gesetzliche Angaben dazu siehe Kapitel 5. Die Trennung von spanförmigem und stückigem Restholz stellt kein besonderes Problem dar. Die separate Absaugung von naturbelassenem Restholz und von solchem aus der Bearbeitung von Holzwerkstoffplatten durch Späneabsaugungen gestaltet sich hingegen wesentlich schwieriger. Patentrezepte gibt es in diesem Bereich nicht; die folgenden beiden Beispiele stellen klassische Lösungen aus der Praxis dar.



Aufbereitung

PVC und Imprägniermittel

PVC- oder druckimprägniermittelhaltige Holzreste müssen separat gehandhabt werden, da sie nicht in Restholzfeuerungen verbrannt werden dürfen. Solches Restholz ist in Kehrichtverbrennungsanlagen zu entsorgen.

SUVA-Vorschriften

Obwohl in dieser Publikation nicht im Detail aufgeführt, müssen die einschlägigen SUVA-Vorschriften bei allen Maschinen, Einrichtungen und Räumen beachtet werden.

Abbildung 2.1:
Späneabsaugaggregat für
eine einzelne Maschine

Beispiel 1:

Ein Stückholzkessel erfüllt die Luftreinhalte-Verordnung nur bei der Verbrennung von naturbelassenem Restholz. Die Erneuerung der Heizanlage kann vermieden werden, indem die Holzwerkstoff-Plattenreste (Späne, Schnitzel, Verschnittstücke) separat gesammelt und andersweitig verwertet oder entsorgt werden.

Beispiel 2:

Zum einen fallen in einem Betrieb zuviele spanförmige Holzresten für den Eigenbedarf an und zum anderen besteht die Möglichkeit, naturbelassene Holzbriketts an Private zu verkaufen. Die Späneabsaugung muss in diesem Fall zweifach geführt werden, einmal zur Absaugung von naturbelassenem Restholz und einmal von solchem aus der Bearbeitung von Holzwerkstoffplatten.

Bei Maschinen, welche sowohl Massivholz wie auch Holzwerkstoffplatten verarbeiten, ist eine saubere Trennung durch eine separate Absaugung von der Zuverlässigkeit des jeweiligen Mitarbeiters abhängig. Mit zu häufig wechselnden Verhältnissen ist kaum eine saubere Trennung zu realisieren.

Zerkleinern

Durch Hacken können Verschnittstücke zu Schnitzeln zerkleinert werden. Dieser Vorgang kann direkt während der Verarbeitung des Holzes erfolgen, indem die Verschnittstücke automatisch durch die Maschine geführt werden. Am meisten eingesetzt werden Profilerspaner und spezielle Kreissägeblätter. Das separate Zerkleinern von Verschnittstücken kann mit Hilfe eines separaten Zerkleinerers erfolgen. In den Holzverarbeitenden Betrieben kommen zwei Maschinentypen häufig zum Einsatz:

- Trommelhacker mit Einzugswalzen
- Trommel-Langsamläufer.

Die **Trommelhacker** mit Einzugswalzen haben einen mit Messern bestückten Rotor.

Vorteile:

- geeignet für lange, dünne Restholzstücke
- produzieren gleichmässige Schnitzel.

Nachteile:

- empfindlich gegen harte Fremdkörper (Nägel)
- die Messer sind regelmässig zu schärfen
- Lärmemissionen
- hoher Stromanschluss.

Trommel-Langsamläufer schneiden das Holz nicht, sondern sie zerquetschen es mit Hilfe von Nocken (Scherzähne).

Vorteile:

- geeignet für flächiges und klobiges Restholz
- unempfindlich gegenüber harten Fremdkörpern
- verursachen weniger Lärm als Trommelhacker
- kleinerer Stromanschluss
- weniger Bedienungsaufwand.

Nachteile:

- produzieren unregelmässige Schnitzel (ausreichende Qualität für moderne Feuerungen).

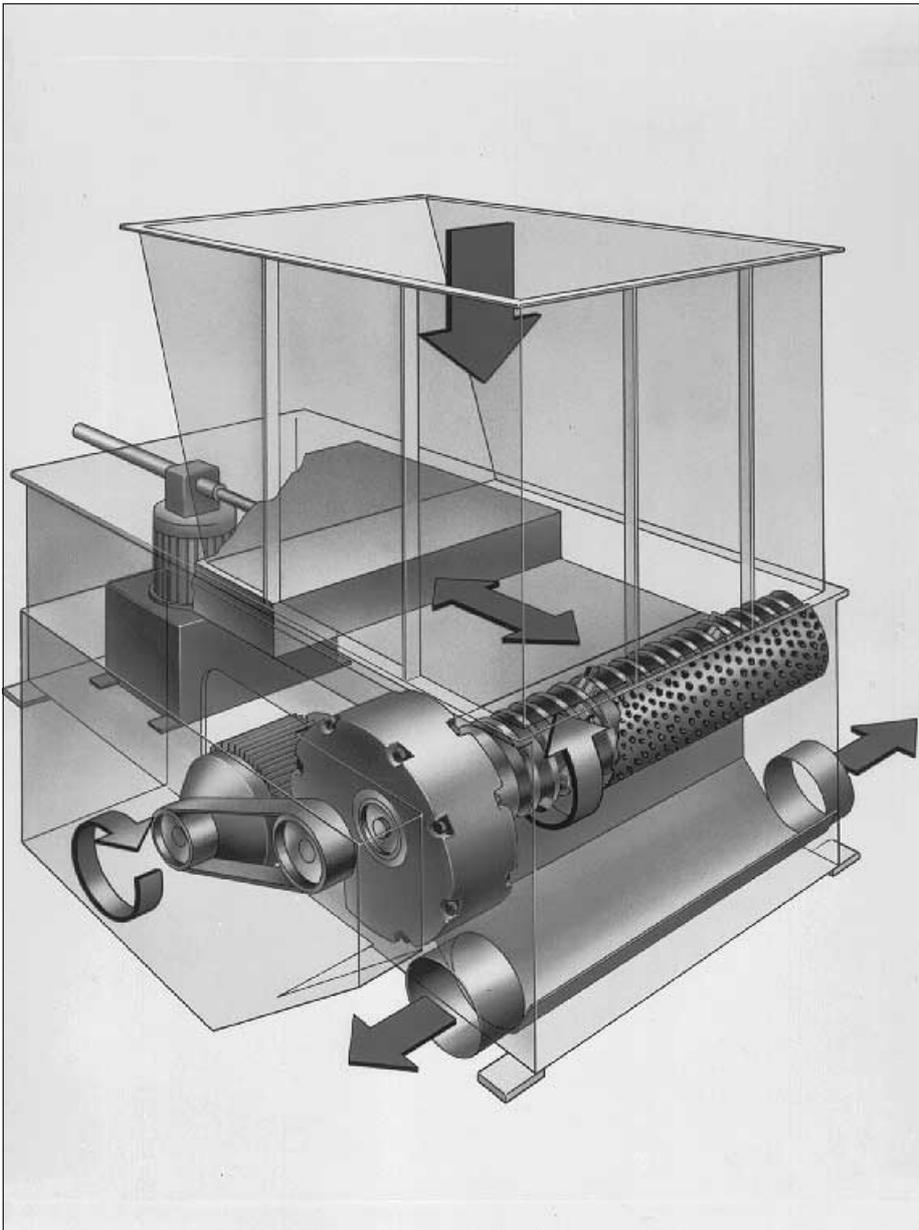


Abbildung 2.2:
Prinzip Trommel-Langsam-
läufer
Preis: Fr. 25'000.– bis 50'000.–
Leistung: 2–5 m³ Schnitzel/h

Brikettieren

Die Herstellung von Briketts oder Presslingen aus Holzstaub, Sägemehl, Spänen und Schnitzeln erfolgt durch hohen Druck und in der Regel ohne Beifügung von Bindemitteln. Der maximal zulässige Wassergehalt des Ausgangsmaterials beträgt ca. 20 Prozent. Holz mit höherem Wassergehalt muss vorgängig getrocknet werden.

Vorteile:

Briketts sind einfacher zu verkaufen als Späne und Sägemehl, da sie auch in kleinen Hausöfen verwendet werden dürfen (gilt jedoch nur für naturbelassenes Restholz). Im weiteren benötigen Briketts weniger Platz als lose Späne und Sägemehl. Dadurch ergibt sich eine Lagerraum-Einsparung zwischen Faktor vier und sieben. Die Beschickung von Feuerungen erfolgt wie bei Schnitzeln mit Förderschnecken, womit eine Automation von Heizungsanlagen gewährleistet bleibt. Wenn das Restholz viel Holzstaub enthält, wird durch eine Brikettierung bei einigen Feuerungstypen eine Einhaltung der LRV-Feststoffgrenzwerte erreicht.

Nachteile:

Eine Verfestigung von Spänen, Holzstaub und Schnitzeln erfordert zusätzliche Investitionen und Unterhaltskosten.

Um eine wirtschaftliche Auslastung einer leistungsfähigen Presse zu gewährleisten, ist nach einer Verbundlösung zu suchen:

- Gemeinsame Anschaffung einer Presse (z.B. auf einem Fahrgestell) durch mehrere Betriebe, sowie deren Nutzung nach einem vereinbarten Turnus.
- Lohn-Brikkettierung durch einen entsprechend ausgerüsteten Betrieb.

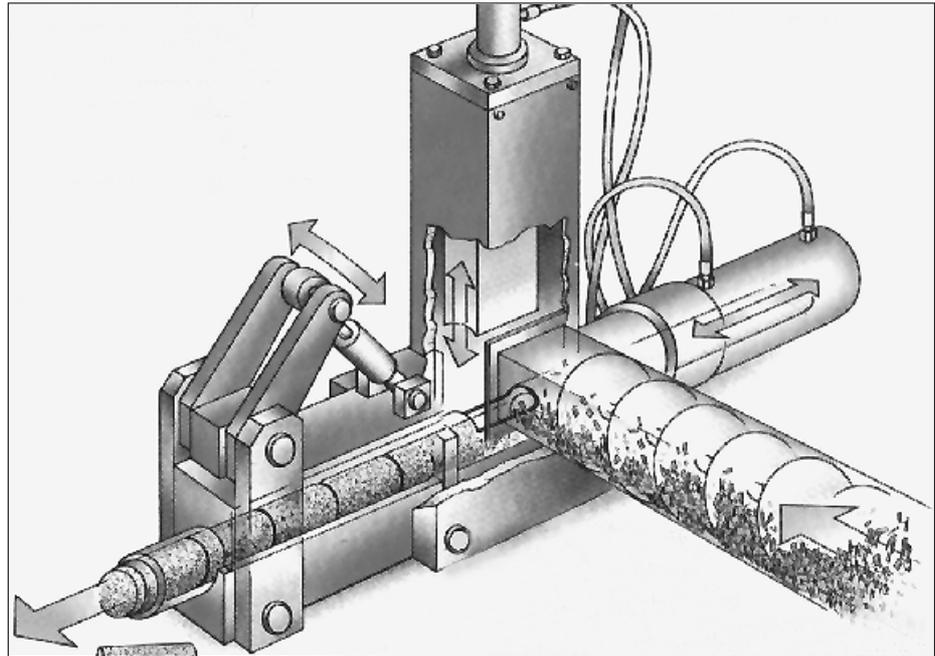


Abbildung 2.3:
Prinzip Brikkettierpresse
Preis: Ab Fr. 40'000.–
Leistung: 0.3–0.6 m³ Späne/h

In den meisten Fällen kann das anfallende Restholz in einem Betrieb nicht direkt energetisch genutzt werden; es wird eine Lagerung notwendig:

Lagerung

Handbediente Zwischenlager für

- Verschnittstücke und Briketts am «Haufen», offen gestapelt oder in Gebinden wie Drahtgitterkörbe, Säcke, Netze, Paletten usw.,
- Späne und Holzstaub in Säcken,
- Schnitzel sowie Späne und Holzstaub in separaten Schnitzel- oder Späneräumen.

Handbeschickte Brennstoffbehälter zu automatischen Kleinf Feuerungen für

- Schnitzel und Briketts in Behältern bis max. 10 m³
- Späne und Holzstaub in Behältern bis max. 3 m³

Automatische Silos zu automatischen Feuerungen für

- Schnitzel und Briketts (Schnitzelsilos)
- Späne und Holzstaub (Spänesilos)

Die wichtigsten Kriterien für die Wahl der Lagerungsart sind:

- Restholzform und Wassergehalt
- Anlagengrösse
- Lagervolumen
- Vorhandende bauliche Situation
- Gesetzliche Auflagen:
 - kantonale feuerpolizeiliche Vorschriften
 - Brandschutzvorschriften der VKF
 - Sicherheitsvorschriften der SUVA

Beispiele zu Lagerungsarten

Lagerung von stückigem Restholz

Für **Verschnittstücke** und **Briketts** aus Zimmereien und Schreinereien besteht die Möglichkeit, nebst der Aufbewahrung in einem Zwischenlager, bis max. 10m³ in einem F60-gebauten Heizraum zu lagern.

Hinweis:

nbb = nicht brennbar (aus Brandschutzvorschriften der VKF)

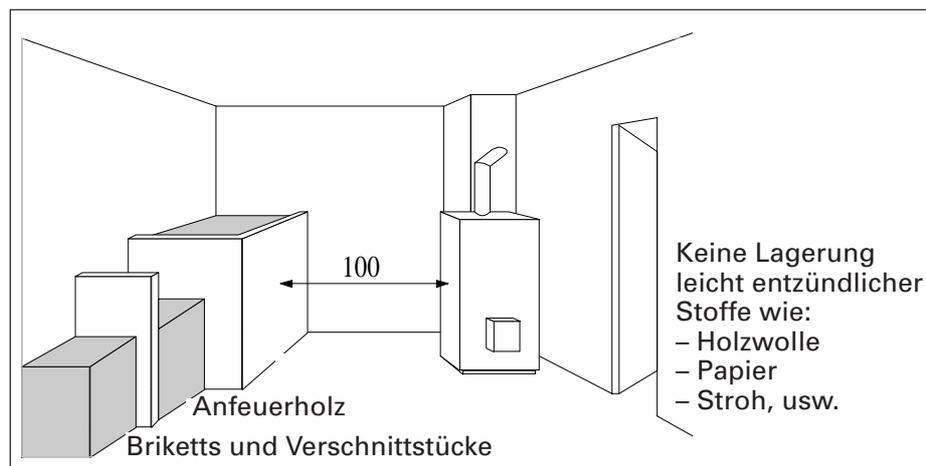


Abbildung 2.4: Lagerung in F60-Heizraum

Lagerung von Schnitzeln

Bei halbautomatischen Kleinfeuerungen würde ein separater Siloraum, aus welchem der Brennstoff automatisch ausgetragen und zur Feuerung gefördert wird, zu erhöhten Kosten führen. Wesentlich tiefere Investitionskosten werden möglich, wenn die Feuerung ab einem Brennstoffbehälter beschickt wird. Ein solcher Behälter ist periodisch meist aus einem Zwischenlager nachzufüllen.

Schnitzel und **Sägespäne** aus Sägereien sowie **Schnitzel** und **Briketts** aus Schreinereien und Zimmereien können in einem separaten Schnitzelraum gelagert werden. Von diesem können sie bei Bedarf manuell in einen Brennstoffbehälter geschüttet werden. Die Feuerung wird daraus automatisch beschickt.

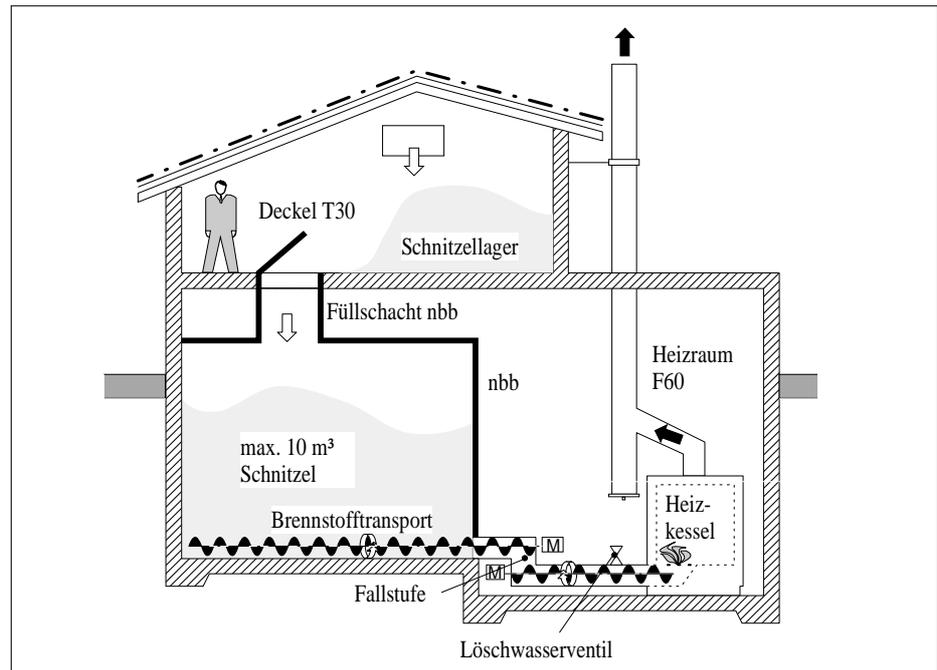


Abbildung 2.5:
Schnitzelraum mit Einfüllung von innen

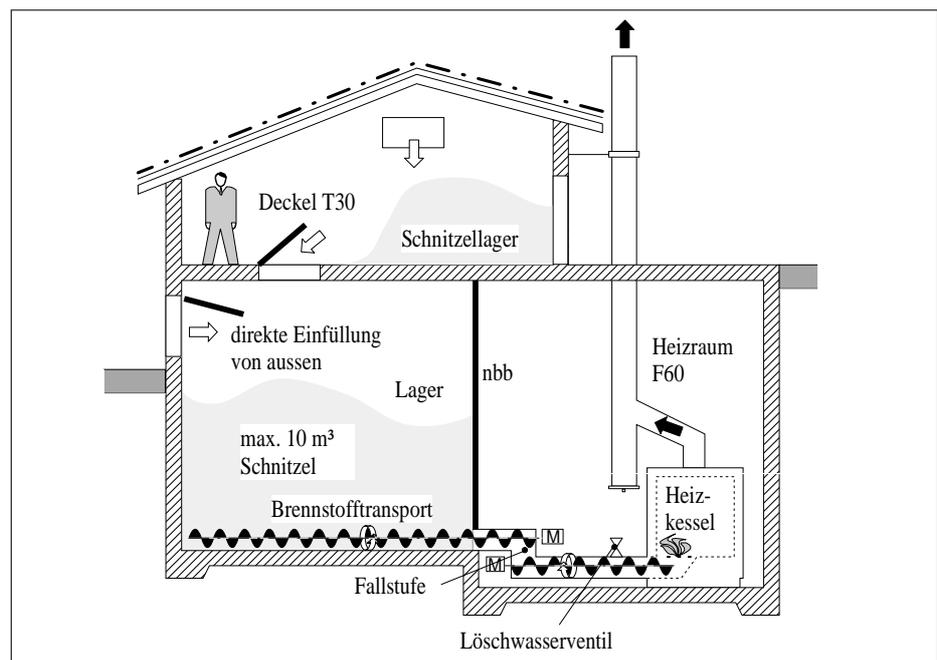


Abbildung 2.6:
Schnitzelraum mit direkter Einfüllung von aussen

Bei automatischen Feuerungen wird der Brennstoff aus einem separaten Silo ausgetragen und zur Feuerung gefördert.

Schnitzel und **Sägespäne** aus Sägereien sowie **Schnitzel** und **Briketts** aus Schreinereien und Zimmereien können in einem zumeist unterirdisch gebauten Schnitzelsilo zwischengelagert und bei Bedarf automatisch ausgetragen und der Feuerung zugeführt werden.

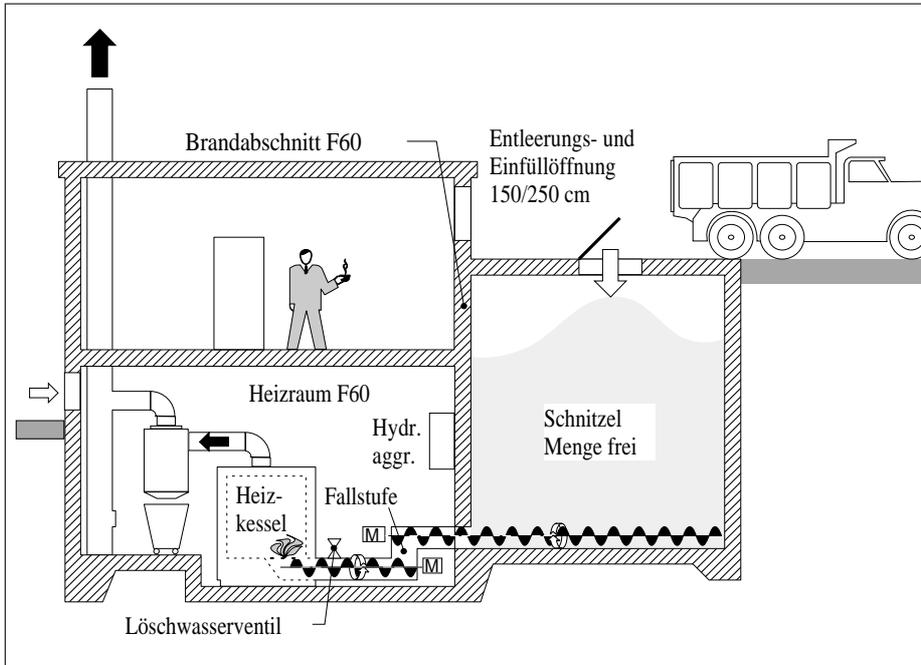


Abbildung 2.7:
Unterirdisches Schnitzelsilo
mit automatischer Beschickung

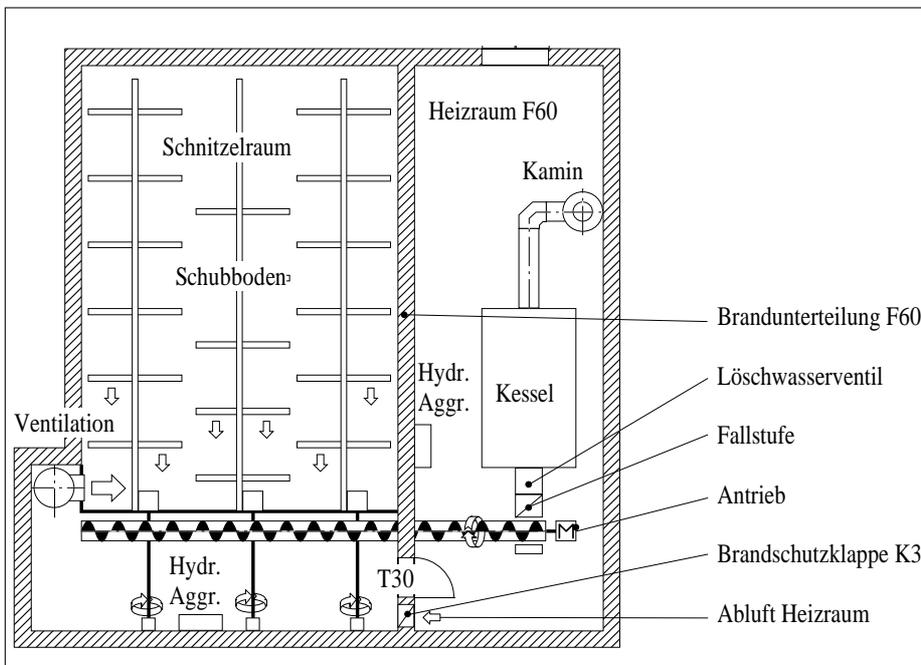


Abbildung 2.8:
Grundriss: Verbindung
Schnitzelraum/Heizung

Lagerung von Spänen

Bei halbautomatischen Feuerungen besteht für Späne und Holzstaub aus Schreinereien und Zimmereien die Möglichkeit der Zwischenlagerung in einem separaten Spänerraum. Von dort können sie bei Bedarf manuell in einen Brennstoffbehälter geschüttet werden. Die Feuerung wird von diesem automatisch beschickt.

Bei automatischen Feuerungen kann das Restholz auch in zumeist überirdisch gebauten Spänesilos automatisch zwischengelagert, ausgetragen und der Feuerung zugeführt werden.

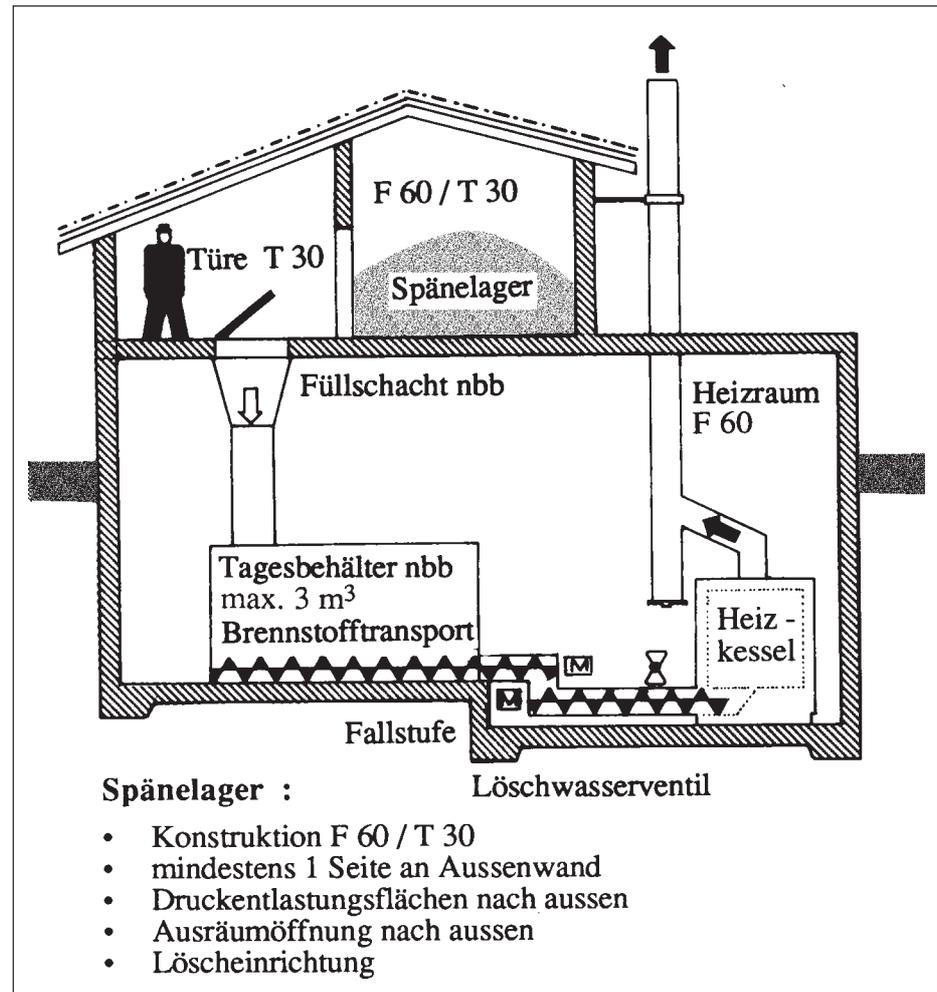


Abbildung 2.9:
Spänerraum

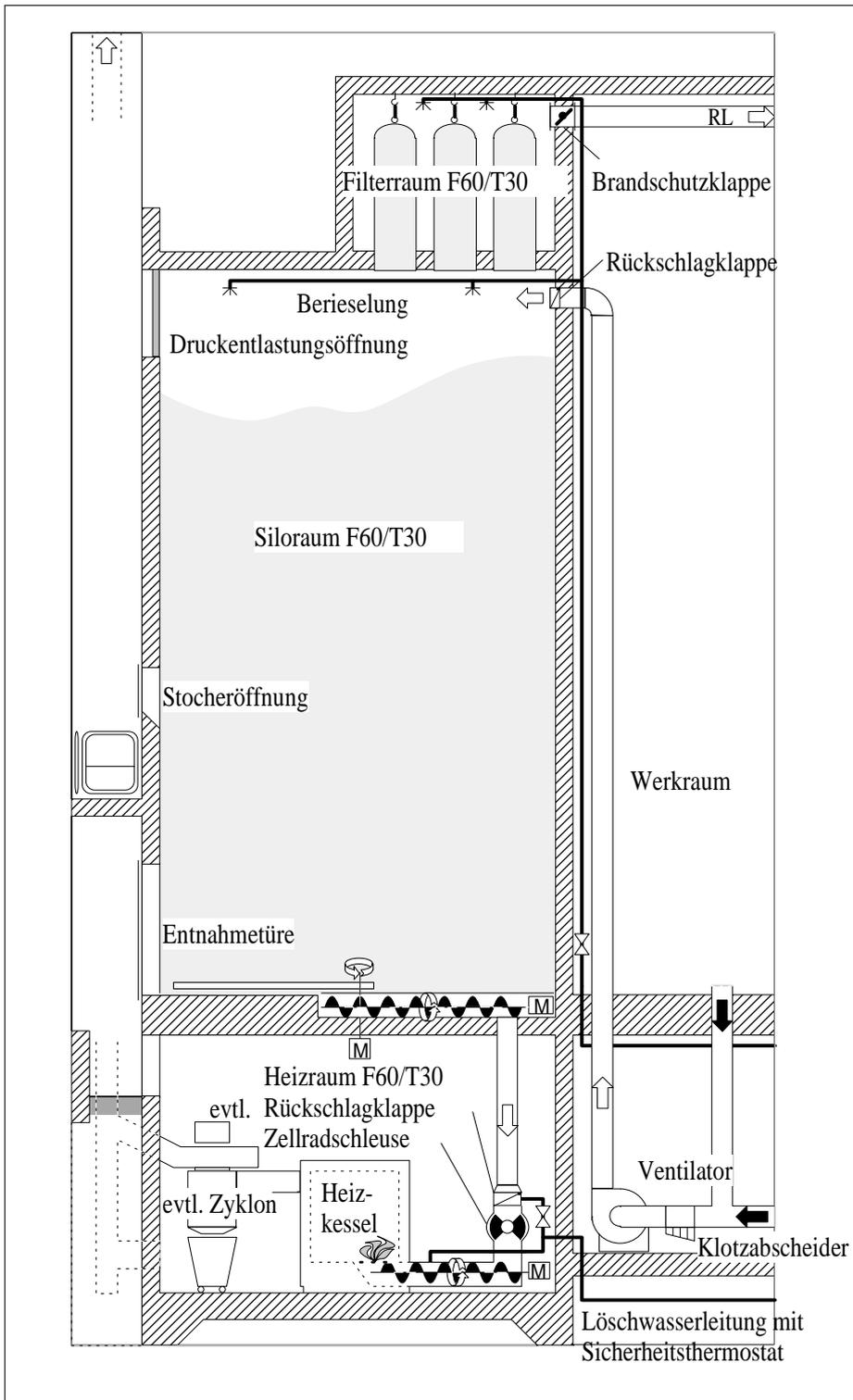


Abbildung 2.10:
Überirdisches Spänesilo mit
automatischer Beschickung

2.3 Restholzhandel

Die Preise und die Nachfrage zur Vermarktung von Restholz können, je nach regionalen Bedingungen und Restholzarten, stark variieren. Es sind dabei mehrere Märkte zu unterscheiden.

Industrie-Rohstoff

Diese Verwertungsmöglichkeit ist insbesondere in Sägereien bekannt. Die Nachfrage und die Preise auf dem Markt sind jedoch sehr unterschiedlich. Sie sind von der allgemeinen Versorgung der Industrie abhängig. Die wichtigsten Handelssortimente sind:

- Schwarten / Spreissel in langer Form
- TMP-Hackschnitzel (hochwertiges Sortiment für die Papierindustrie)
- Hackschnitzel
- Sägemehl

Industrieller Brennstoff

Der Verkauf von Restholz als Brennstoff für Holzschmelzeheizungen ist in den Sägereien sehr verbreitet. Dieses Restholz ist dem Wald-Energieholz – betreffend gesetzlichen Vorschriften – gleichgestellt.

Die Betriebe der zweiten Verarbeitungsstufe können ihre Reste von Holzwerkstoffplatten ebenfalls an Betreiber solcher Heizanlagen verkaufen. In diesem Fall müssen die einschlägigen Vorschriften bezüglich Luftreinhaltung und Brandschutz beachtet werden (siehe dazu Kapitel 2.2 u. 5).

Haushalt-Brennstoff

Der Verkauf von Restholz an Haushaltungen für Kochherde, Zimmeröfen, Cheminées usw. ist nur möglich, wenn es sich dabei um naturbelassenes stückiges Holz handelt. Restholz aus der Bearbeitung von Holzwerkstoffplatten und beschichtetem Massivholz darf in solchen Feuerungen nicht verbrannt werden.

Verschiedene Formen sind möglich:

- Verschnittstücke unterschiedlicher Grösse
- kleines Anfeuerholz (zugeschnittene Spreissel)
- Holzbriketts

An Stelle von Restholz kann auch Wärme produziert und verkauft werden (gemäss Kapitel 2.4).

Preise auf dem Energieholzmarkt

Frische Schnitzel aus naturbelassenem Holz (z.B. aus Sägereien) und Waldholzschnitzel:

Laubholz: 35.– bis 43.– Fr./m³ Schnitzel
Nadelholz: 26.– bis 34.– Fr./m³ Schnitzel

Preise franko Benutzersilo
Quelle: Preisempfehlung SHIV-WVS,
Oktober 1993

Kleines Anmachholz, naturbelassen, trocken
5-kg-Netz: Fr. 8.50
Detailpreise in Warenhäusern!

Frisches Sägemehl aus naturbelassenem Holz (z.B. aus Sägereien):

5.– Fr./m³ geschüttet, franko Werk.
Dieser Preis ist enormen Schwankungen unterworfen. In Regionen ohne Abnehmer kann er negativ werden.

Hobel-, Frässpäne und Sägemehl aus der zweiten Verarbeitungsstufe (z.B. Schreinereien):

0.– Fr./m³
Es gibt Transportunternehmer, die solches Material holen. Nur in günstigen Fällen wird der Preis positiv ausfallen.

2.4 Energetische Nutzung von Restholz

Wärme aus Restholz für den Eigenbedarf

Nebst dem Wärmebedarf für die Raumheizung während der Winterperiode besteht in vielen Holzverarbeitenden Betrieben das ganze Jahr hindurch ein Wärmebedarf für verschiedene Prozesse wie Trockenkammer, Dämpfgrube, Spritzkabine, Furnierpresse usw.

Wärmeverkauf an Dritte (Nahwärmeverbund)

Wärmeabnehmer

Falls nach Abdeckung des eigenen Wärmebedarfs noch immer ein Überschuss an Restholz besteht, kann abgeklärt werden, ob für dessen energetische Nutzung im eigenen Betrieb weitere geeignete Wärmeabnehmer in unmittelbarer Nähe vorhanden sind. Geeignete Wärmeabnehmer sind:

- benachbarte Betriebe
- öffentliche Bauten
- private Liegenschaften

Wärmeversorgung und Verkauf

Die Versorgung von solchen externen Wärmeabnehmern geschieht über Fernwärmeleitungen. Der Wärmeverkauf erfolgt anhand direkter Messungen mit Wärmezählern bei den Kunden. Aufgrund der langen Amortisationszeiten und der hohen Investitionen von Fernwärmeleitungen sollte der Wärmeverkauf vertraglich über eine längere Zeitdauer geregelt werden.

Wirtschaftlichkeit von Nahwärmeverbunden

Die Wirtschaftlichkeit einer Fernwärmeleitung hängt sehr stark von der jeweiligen örtlichen Situationen ab:

- Höhe der Investitionen für den Wärmetransport (Fernwärmeleitung)
- Verminderung der Investitionen und Betriebskosten seitens der Bezüger (z. B. durch andersweitig nutzbare Tank- und Heizungsräume usw.)
- Entsorgungspreis und Menge des genutzten Restholzes
- Kosten des ersetzten Energieträgers (z.B. Öl).

Finanzielle Unterstützung

Es ist bei den Kantonalen Energiefachstellen abzuklären, ob für die Feuerungsanlage und für die Fernwärmeleitung von Bund oder Kanton eine finanzielle Unterstützung erhältlich ist (siehe Adressen im Anhang A7).

Richtwerte für die Wirtschaftlichkeit von Nahwärmeverbunden

Definition spezifischer Wärmepreis

Preis pro kWh Wärme an Wärmeabgabesystem.

Berücksichtigt sind Kapitalkosten und Betriebskosten (Energie- und Unterhaltskosten).

Nahwärmeverbund

Wärmeerzeugung ca. 5 bis 7 Rp./kWh

Fernwärmeverteilung 3 bis 5 Rp./kWh

Fernwärmeleitung

Max. Distanz bei Einfamilienhaus ca. 30 bis 50 m

Max. Distanz bei Mehrfamilienhaus ca. 50 bis 100 m

Einzelheizungen

Der spez. Wärmepreis beläuft sich heute bei einer konventionellen Wärmeerzeugung durch einen Ölkessel für

- ein Einfamilienhaus auf ca. 12 Rp./kWh
- ein Mehrfamilienhaus auf ca. 10 Rp./kWh

Heizwertvergleich Holz-Öl

Im Vergleich zu Heizöl extra-leicht besitzt Holz einen tieferen Heizwert.

1 Tonne luftgetrocknetes, naturbelassenes Holz entspricht ca. 350 kg Heizöl.

1 m³ naturbelassene Holzschnitzel entsprechen ca. 100 kg Heizöl.

2.5 Entsorgung von Restholz

Grundsätzlich muss Restholz genutzt und nicht entsorgt werden. Wenn keine Feuerungsanlage zur Verfügung steht oder wenn die Produktion die momentane Nutzungskapazität überschreitet, muss eine Möglichkeit gefunden werden, das Restholz an einen fremden Betrieb weiterzugeben. Siehe dazu auch Kapitel 2.3.

PVC-beschichtetes und druckimprägniertes Restholz sowie Altholz

Wenn das Restholz Substanzen wie PVC oder Druckimprägniermittel enthält, muss eine Entsorgung über den offiziellen Weg der Abfallbehandlung erfolgen. Solches Holz wird wie Siedlungsabfälle gehandhabt und muss in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) verbrannt werden. Wo dies nicht möglich ist, kann eine Entsorgung in einer Reaktordeponie in Betracht gezogen werden.

Altholz (aus Abbruch, Renovationen usw.) ist in geeigneten Feuerungen mit einer entsprechenden Abgasreinigung energetisch zu nutzen. Ist dies nicht möglich, ist eine Entsorgung in einer KVA vorgeschrieben.

Verboten sind:

- Verbrennung im Freien
- Ablagerung auf einer Inertstoffdeponie (Schutt und Aushub)
- Unkontrollierte oder wilde Ablagerung.

Vorgeschrieben sind:

- Verbrennung in Kehrichtverbrennungsanlagen (Altholz ist in einer geeigneten Feuerungsanlage energetisch zu nutzen)
Abweichung: Ablagerung in einer Reaktordeponie möglich.

3 Soll die bestehende Anlage saniert werden?

Können die Luftreinhaltgrenzwerte trotz fachmännischem Einregulieren der Feuerungsanlage nicht eingehalten werden, so stellt sich die Frage, ob die bestehende Anlage saniert oder ersetzt werden soll. Eine Sanierung lohnt sich meistens nur bei grösseren, automatischen Anlagen, bei welchen teure Heisswasser- oder Dampfkessel installiert sind.

Vorgehen

Grundsätzlich sind bezüglich der Frage Sanieren oder Ersetzen folgende Punkte zu prüfen:

1. Überschreitung des Feststoffgrenzwertes (Staub)

Zuerst ist die Brennstoffzusammensetzung bezüglich der Überschreitung des LRV-Feststoffwertes zu überprüfen. Liegt der Feststoffwert deutlich über dem LRV-Grenzwert und werden Holzwerkstoffplatten verbrannt, ist als erstes der Brennstoff bezüglich Chlorverbindungen zu untersuchen, bevor weitere Abklärungen vorgenommen werden (siehe Kapitel 6).

2. Überschreitung des Kohlenmonoxidgrenzwertes (CO)

Liegen die Kohlenmonoxidwerte deutlich über dem LRV-Wert, ist zu überprüfen, ob die Brennstoffqualität für die bestehende Feuerungsanlage ungeeignet ist. So kann z.B. ein zu feuchter Brennstoff in einer nicht dafür geeigneten Feuerung nur eine schlechte Verbrennungsqualität erreichen und somit hohe Kohlenmonoxidwerte verursachen (siehe Kapitel 6).

3. Kesselzustand

Der Kessel ist bezüglich Dichtigkeit, Korrosions- und anderen Schäden zu untersuchen. Kann nicht mit Bestimmtheit davon ausgegangen werden, dass der bestehende Kessel die nächsten 10 Jahre betrieben werden kann und hat sich nach Überprüfung des maximal erforderlichen Wärmeleistungsbedarfs ergeben, dass die Kesselleistung sehr stark überdimensioniert ist (grösser Faktor 1,5), so ist auf eine Sanierung zu verzichten.

Feuerraum

Bei gutem Kesselzustand und richtiger Dimensionierung ist der Feuerraum darauf hin zu überprüfen, ob genügend Platz für einen entsprechenden Umbau vorhanden ist, um die geforderten LRV-Grenzwerte (Feststoff und Kohlenmonoxid) einhalten zu können. Mit einer neuen Feuerraumgestaltung sollte beim ungekühlten Feuerraum eine optimale Durchmischung mit Sekundärluft und eine genügend grosse ungekühlte Nachverbrennungszone realisiert werden können.

Dies kann z.B. durch Einbau eines Gewölbes mit horizontalem Ausbrand realisiert werden oder einer ungekühlten Nachverbrennungszone, die speziell bei Rostfeuerungen zu empfehlen ist.

Diese Feuerraumumbauten sind durch den Feuerungshersteller auszuführen, damit auch die Verantwortung bezüglich einer anderen Feuerraum- und Kesselbelastung und eventuell reduzierter Kesselleistung klar geregelt ist.

Bei kleineren Anlagen ist meistens der Platz für eine solche Sanierungsmassnahme nicht vorhanden und im Verhältnis zu einer Neuanlage beste-

hen kostenmässig wesentlich ungünstigere Verhältnisse als bei einer Grossanlage. Bei bestehenden Stückholzfeuerungen ist in seltenen Fällen nachträglich ein Feuerraumbau möglich, bei dem eine optimale Sekundärluftdurchmischung mit einer ungekühlten Nachverbrennungszone realisiert werden kann.

4. Regelung

Soll eine bestehende automatische Anlage saniert werden, so ist darauf zu achten, dass auch eine Verbrennungs- und Lastregelung eingebaut wird, damit die Anlage in jedem Lastbereich emissionsarm und mit gutem Nutzungsgrad betrieben werden kann.

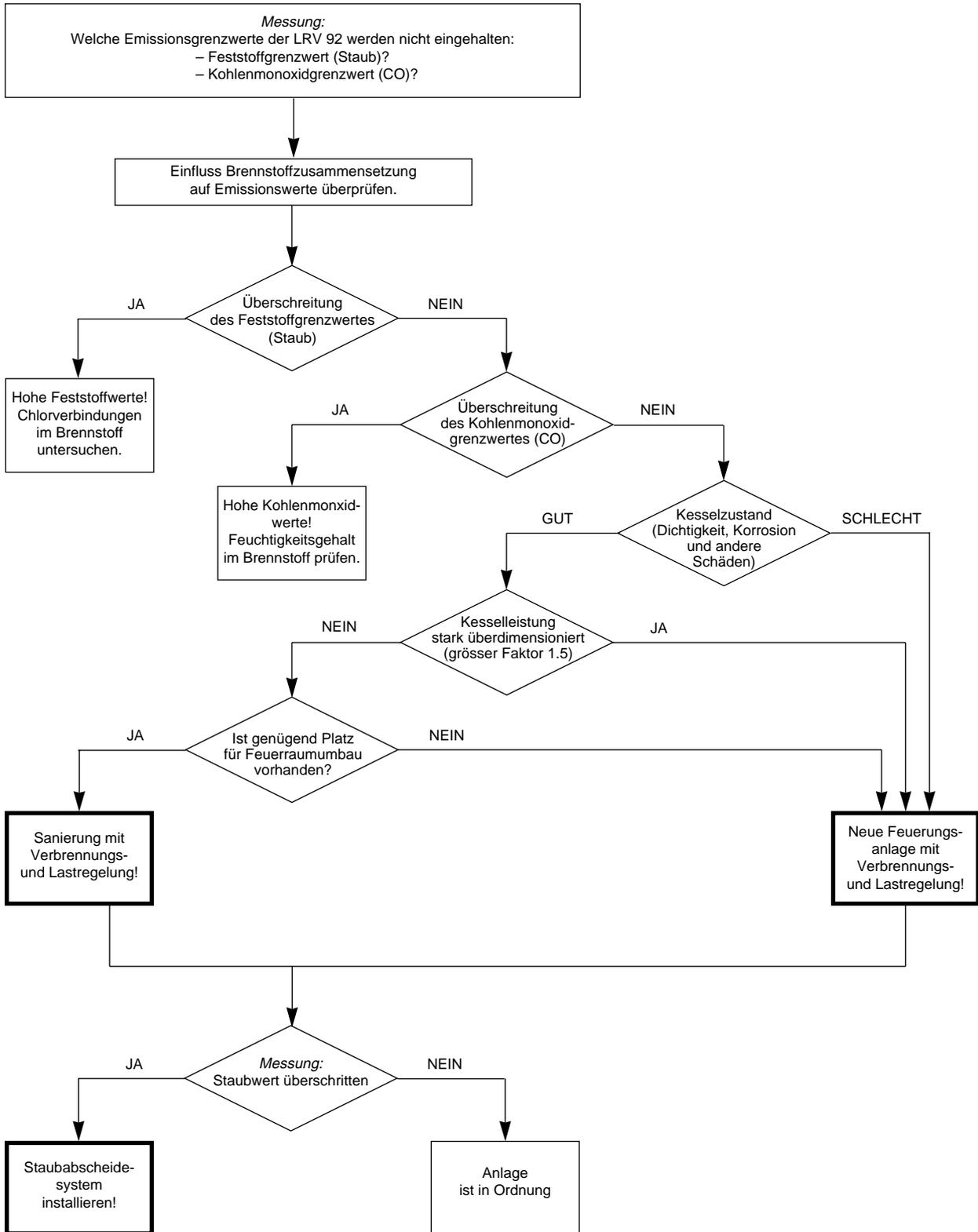
5. Staubwert nach Sanierung

Liegt trotz Einhaltung des Kohlenmonoxidgrenzwertes der Staubmesswert über dem Grenzwert der LRV, so ist ein zusätzliches Staubabscheidesystem zu installieren.

Filtersysteme

Allgemein kann mit dem Einbau eines Staubabscheidesystems (Multizyklonabscheider, Filtersystem) der Staubgehalt in den Abgasen reduziert werden. Die Verbrennungsqualität kann jedoch nicht verbessert werden, d.h. es erfolgt keine Reduktion der Kohlenmonoxidemissionen (Filtersysteme siehe Kapitel 6).

Entscheidungsdiagramm Sanierung Holzfeuerungsanlage



4 Die Auswahl einer Holzfeuerungsanlage

4.1 Feuerungssysteme

Generell ist beim Einsatz von Holzfeuerungen darauf zu achten, dass für das anfallende Restholzsortiment nur geeignete Systeme eingesetzt werden, welche auch die Emissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) sicher einhalten können. Vor allem bei Klein-Holzfeuerungen ist dazu in vielen Fällen eine zusätzliche Restholzaufbereitung wie Zerkleinern und Brikettieren notwendig.

Übersicht Feuerungssysteme

(Detaillierter Beschrieb siehe folgende Seiten)

- Unterabbrandkessel
- Tunnelbrenner-Feuerung
- Rostfeuerungen
- Unterschubfeuerung
- Vorfeuerungen

Unterabbrandkessel

Der Unterabbrandkessel ist mit einem Füllraum versehen. Der Brennstoff durchwandert im Füllraum die Trocknungs-, Schwel- und Verbrennungszone. Es steht nur die unterste Schicht des Holzes im Feuer. Im Glutbett findet unter Zuführung von Primärluft die Aufspaltung der Schwelgase in brennbare Gase statt. Unmittelbar nach dem Verlassen der Brennkammer werden die Schwelgase mit Sekundärluft vermischt und der Nachbrennkammer zugeführt. Erst wenn der Verbrennungsvorgang vollständig abgeschlossen ist, gelangen die Abgase in den eigentlichen Kesselteil (Wärmetauscher), wo sie ihre Energie an die Heizflächen abgeben.

Betriebsdaten zu Unterabbrandkessel

Feuerungsleistung:

- 40 bis 100 kW
- Die Feuerungsleistung ist ungefähr auf den zweifachen max. Wärmeleistungsbedarf auszulegen. Dadurch ist der Kessel höchstens zweimal pro Tag zu bedienen.

Betriebsweise:

- Ungeregelte Kessel sind auf Nennlast zu betreiben
- Geregelte Kessel können bis auf eine Teillast von ca. 50% gefahren werden
- Ein Warmwasser-Speicher ist notwendig
- Nur wenige Kesselhersteller bieten Verbrennungsregelungen an; einige sind zur Zeit dabei, solche zu entwickeln, respektive zu verbessern.

Beschickung des Feuerraums:

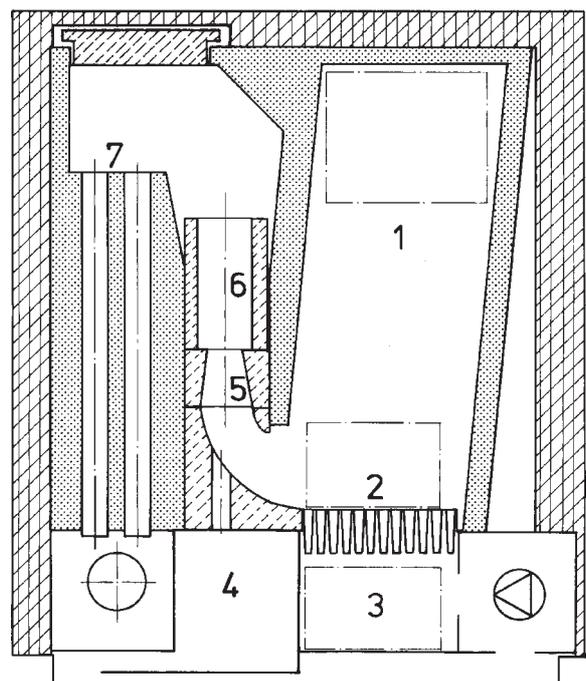
- Der Füllschacht ist von Hand zu füllen.

Entaschung / Kesselreinigung:

- Eine Entaschung erfolgt nach jedem Abbrand von Hand; eine Kesselreinigung ist etwa jede Wochen ebenfalls manuell notwendig.

Restholzanforderungen:

- Naturbelassen; der Volumenanteil an beschichtetem Massivholz und an Holzwerkstoffplatten muss deutlich unter 10% sein
- Staub und Späne sind unbedingt zu brikettieren
- grosse Verschnittstücke, vor allem Plattenabschnitte, sind in gleichmässige Stücke aufzusägen
- Wassergehalt $x < 20\%$.



- 1 Füllraum
- 2 Rost
- 3 Primärluft
- 4 Sekundärluft
- 5 Mischkammer
- 6 Ausbrandzone
- 7 Wärmetauscher

Abbildung 4.1:
Unterabbrandkessel

Tunnelbrenner-Feuerung

Bei einer Tunnelbrenner-Feuerung laufen die Prozesse der Trocknung, Verschmelzung und Verbrennung kontinuierlich unter Zuführung von geregelter Primär- und Sekundärluft in einem runden oder rechteckigen Rohr, das vor oder im Kessel montiert ist, ab. Die Wärmeabgabe erfolgt im Heizkessel. Durch die Zerkleinerung des Stückholzes vor der Feuerung entstehen erhöhte Lärmemissionen.

Betriebsdaten zu Tunnelbrenner-Feuerungen

Feuerungsleistung:

- 25 bis 110 kW

Betriebsweise:

- Regelbare Leistungsabgabe von 10–100%
- Verbrennungsregelung vorhanden

Beschickung des Feuerraums:

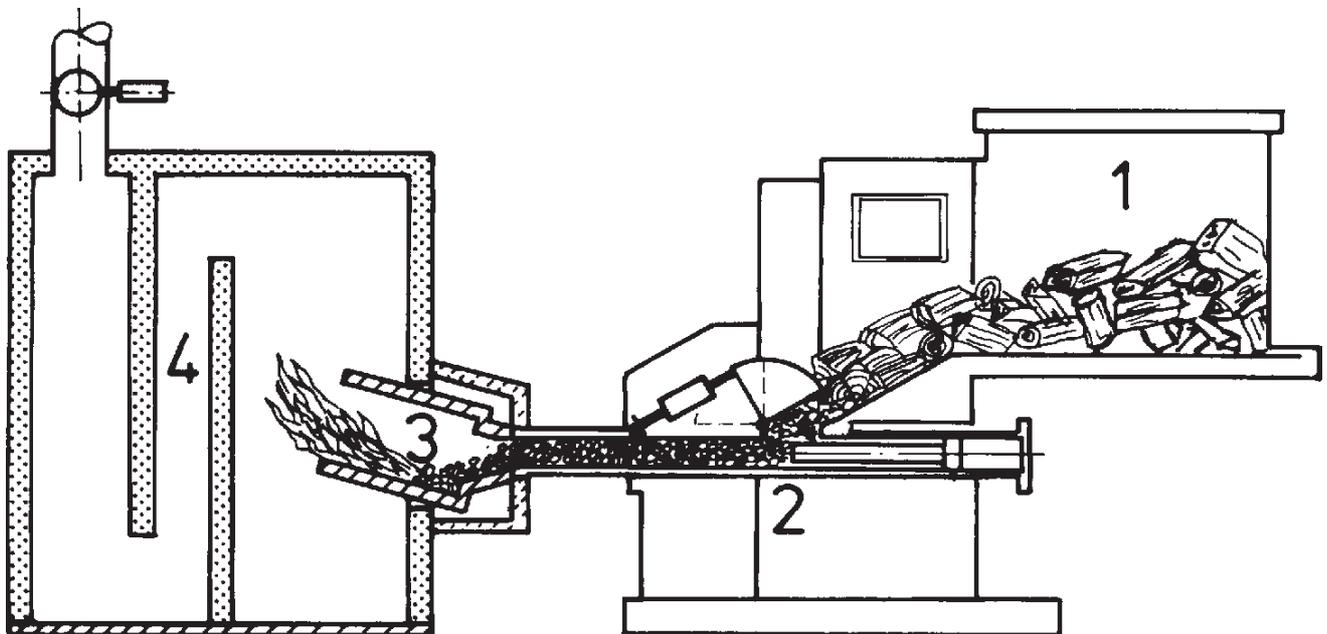
- Automatisch

Entaschung / Kesselreinigung:

- Eine Entaschung kann manuell oder automatisch erfolgen; eine Kesselreinigung ist von Hand alle 4 Wochen notwendig.

Restholzanforderungen:

- Holzstaub und Späne sind zu brikettieren; kleine Mengen an Spänen können zusammen mit Briketts und Verschnittstücken verbrannt werden
- Verschnittstücke sind auf eine Länge von < 30 cm aufzusägen
- Wassergehalt $x < 30\%$



- 1 Behälter
- 2 Dosierung
- 3 Tunnelbrenner mit Primärluft- und Sekundärluft-Zuführung
- 4 Heizkessel

Abbildung 4.2:
Tunnelbrenner-Feuerung

Rostfeuerungen

Bei Rostfeuerungen wird aus einem Silo oder einem Behälter das Brennmaterial zumeist mit Schneckenförderer auf einen festen oder bewegten Rost geschoben. Unter Zuführung von Primärluft durch den Rost und Sekundärluft über dem Brennstoffbett durchläuft der Brennstoff die Stationen der Trocknung, Vergasung und Verbrennung.

Betriebsdaten zu Rostfeuerungen

Feuerungsleistung:

- Ab 150 kW

Spezielles:

- Regelbare Lastabgabe von 30–100%
- Verbrennungsregelung

Beschickung des Feuerraums:

- Automatisch

Entaschung / Kesselreinigung:

- Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung ist von Hand etwa alle 2 bis 4 Wochen notwendig.

Restholzanforderungen:

- Speziell geeignet für aschereiches Restholz wie Rinde und Holzwerkstoffplatten mit hohem Inertstoffanteil
- Verschnittstücke sind zu zerkleinern
- Wassergehalt $x < 60\%$

- 1 Brennstoffzufuhr
- 2 Rost
- 3 Primärluft
- 4 Sekundärluft
- 5 Wärmetauscher
- 6 Zyklonabscheider

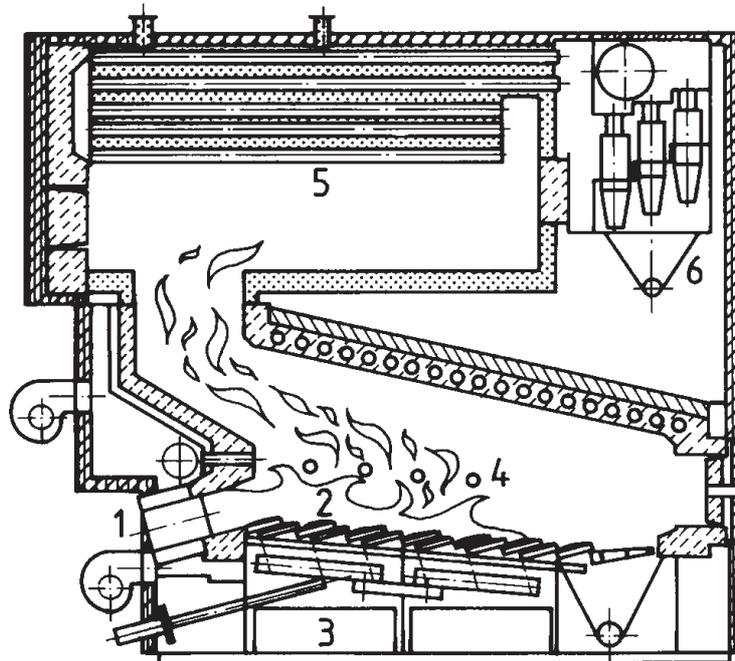


Abbildung 4.3:
Rostfeuerung

Unterschubfeuerung

Der Brennstoff wird mit einem Förderaggregat aus einem Silo oder Behälter von unten in die Feuermulde (Retorte) eingeschoben, in welcher die Verbrennung stattfindet. Die Verbrennungsluft wird durch Ventilatoren am Boden der Feuermulde als Primärluft und über der Feuermulde als Sekundärluft zugeführt. In der folgenden Ausbrandzone verbrennen die Schwelgase. Erst nach der vollständigen Verbrennung werden sie zu den Wärmetauscherflächen des Kessels geführt.

Unterschubfeuerung mit festem Zerkleinerer

Nach einem Brennstoffbehälter folgt ein fest montierter Zerkleinerer, von welchem der Brennstoff automatisch zur Unterschubfeuerung weitertransportiert wird. Das ganze Restholzsortiment kann ohne vorherige Aufbereitung manuell in den Brennstoffbehälter gegeben und verbrannt werden. Erhöhte Lärmemissionen entstehen durch den Zerkleinerer.

Betriebsdaten zu Unterschubfeuerungen

Feuerungsleistung:

- 20 kW–2,5 MW

Betriebsweise:

- Regelbare Leistungsabgabe von 30–100%
- Verbrennungsregelung vorhanden

Beschickung des Feuerraums:

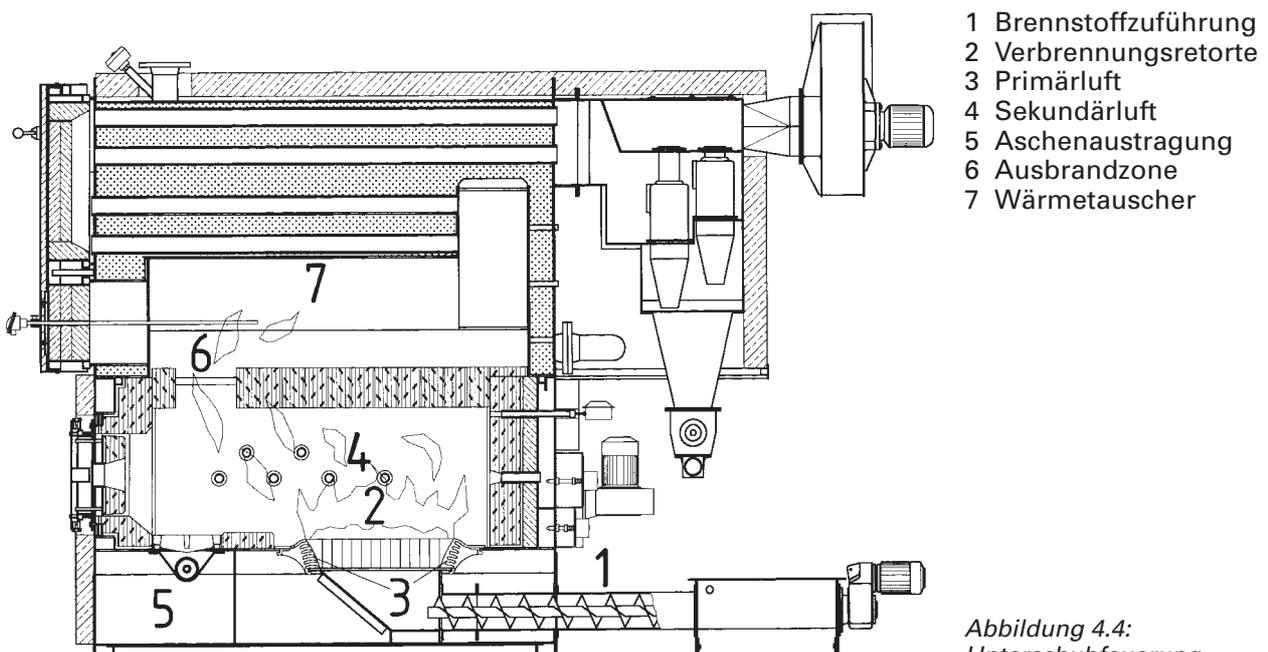
- Automatisch

Entaschung / Kesselreinigung:

- Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung ist von Hand etwa alle 2 Wochen notwendig.

Restholzanforderungen:

- In der Regel ist keine Brikettierung von Holzstaub und Spänen notwendig
- Verschnittstücke sind zu Hackschnitzeln zu zerkleinern
- Wassergehalt $x < 45\%$



- 1 Brennstoffzuführung
- 2 Verbrennungsretorte
- 3 Primärluft
- 4 Sekundärluft
- 5 Aschenaustragung
- 6 Ausbrandzone
- 7 Wärmetauscher

Abbildung 4.4:
Unterschubfeuerung

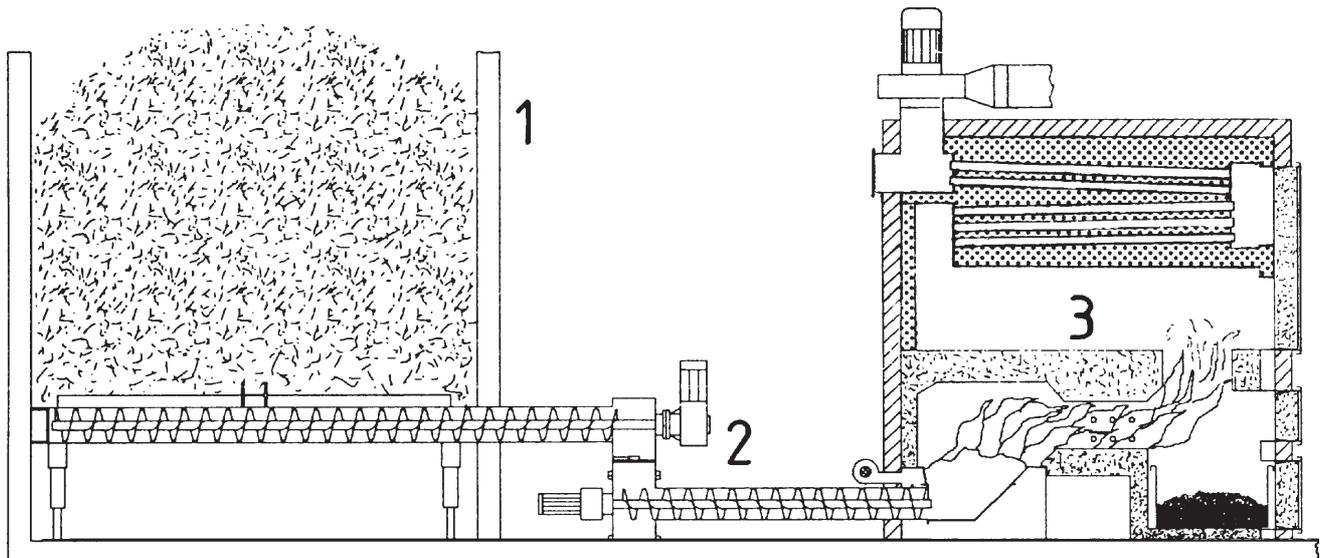


Abbildung 4.5:
Unterschubfeuerung mit
Behälter

- 1 Behälter
- 2 Brennstoffzuführung
- 3 Heizkessel

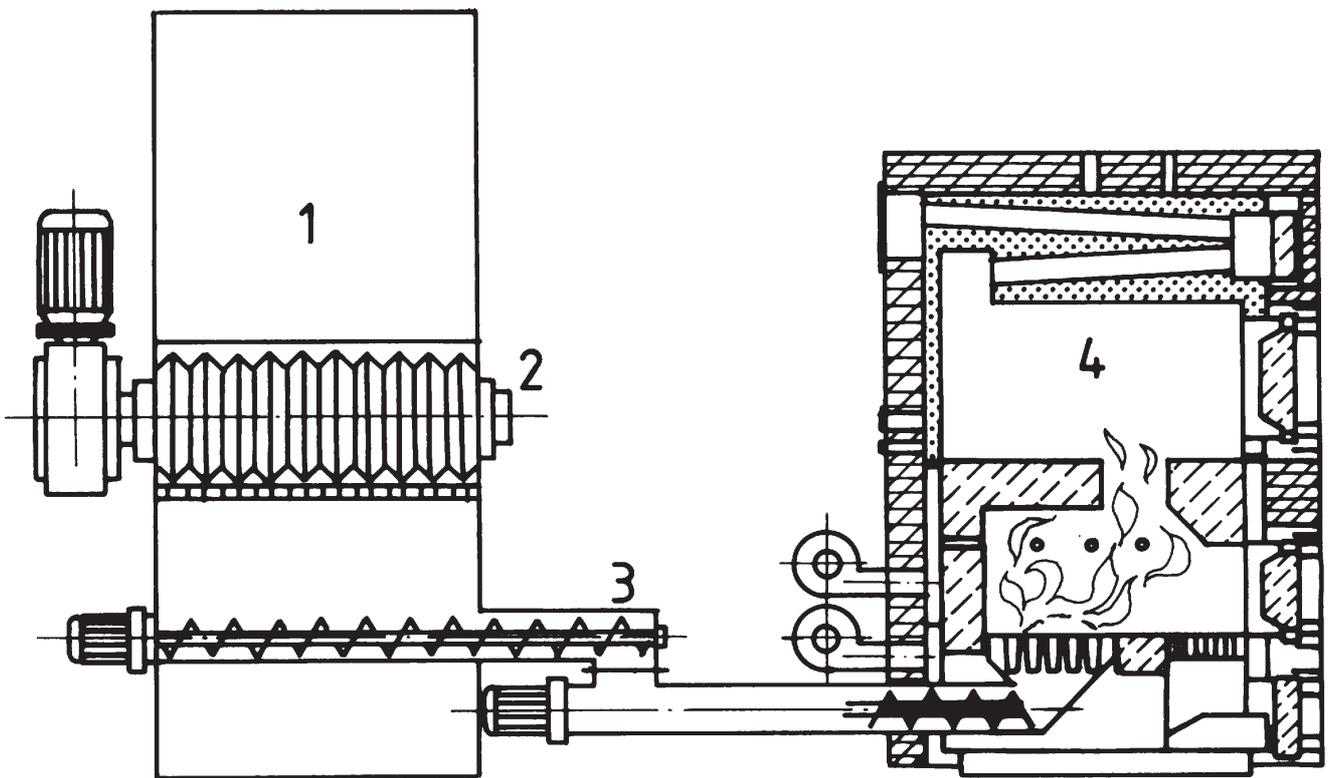


Abbildung 4.6:
Unterschubfeuerung mit
festem Zerkleinerer

- 1 Behälter
- 2 Hacker
- 3 Brennstoffzuführung
- 4 Heizkessel

Vorfeuerungen

Als Vorfeuerungen werden vom Kessel getrennt betriebene Feuerungssysteme bezeichnet. Ein Teil der Verbrennungsluft wird durch Ventilatoren oder Naturzug am Boden einer Feuermulde oder eines Feuerrostes als Primärluft zugeführt. Über einen Gashals werden unter Beimischung der restlichen Verbrennungsluft (Sekundärluft) die brennbaren Schwelgase der Brennkammer des Kessels zugeführt. Dort findet die Nachverbrennung und die Wärmeabgabe an das Heizungswasser statt.

Betriebsdaten zu Vorfeuerungen

Feuerungsleistung:

- 20 kW–2 MW

Betriebsweise:

- Regelbare Lastabgabe von 30–100%
- Verbrennungsregelung

Beschickung des Feuerraums:

- Automatisch

Entaschung / Kesselreinigung:

- Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung ist von Hand etwa alle 2 Wochen notwendig.

Restholzanforderungen:

- Je nach verwendetem Feuerungstyp (siehe dazu Angaben Unterschub- und Rostfeuerungen).

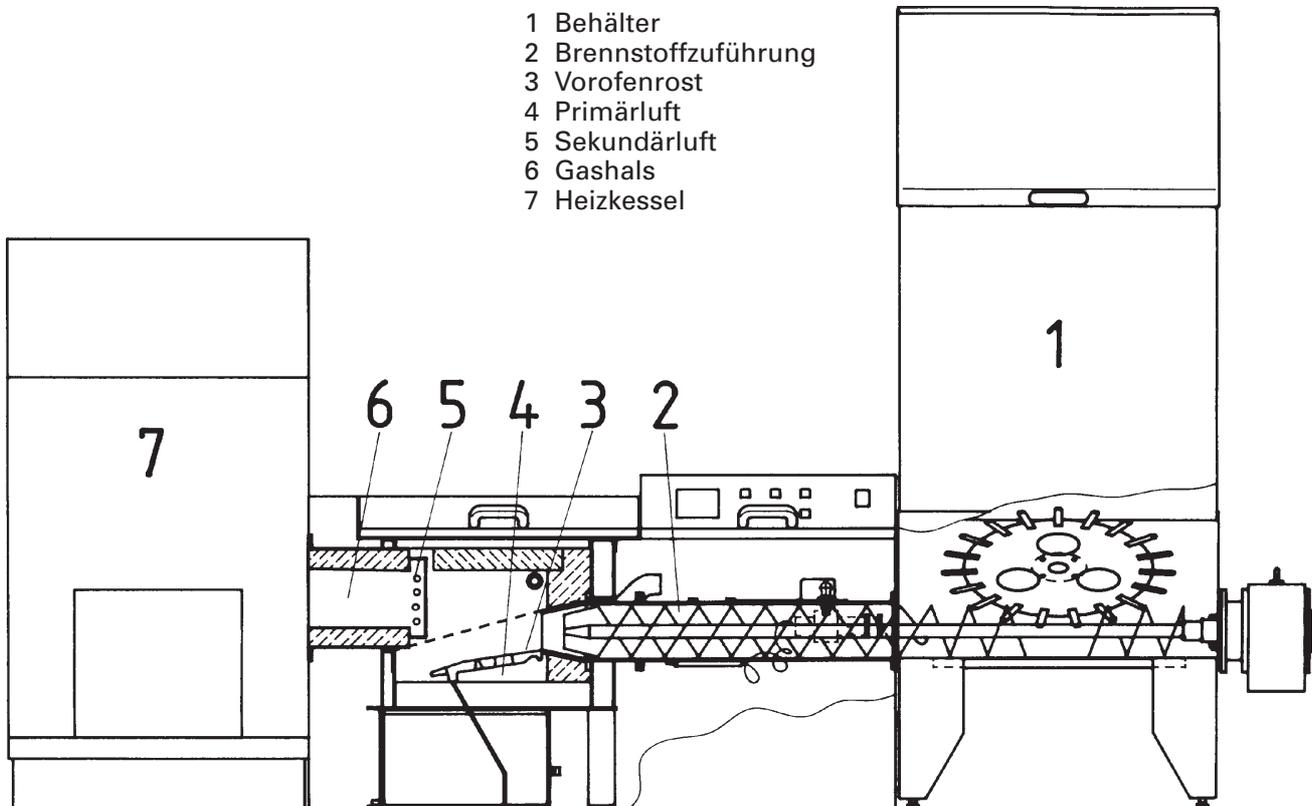


Abbildung 4.7:
Vorfeuerung mit Rost

4.2 Einfache Feuerungsauswahl

Von den folgenden Anlagenvarianten sind für die meisten Betriebe eine oder sogar mehrere geeignet. Ob die jeweils betrachtete Variante grundsätzlich geeignet ist oder nicht, kann bereits in einer ersten groben Beurteilung (Vorauswahl) entschieden werden. Stehen nach dieser Abschätzung mehrere Anlagen zur Auswahl, kann anhand weiterer Kriterien die geeignetste durch Abklärungen folgender Punkte ausgewählt werden:

- Ist-Zustand im eigenen Betrieb erfassen (Anlagenkomponenten, Platz für Feuerung und Restholzlager)
- Einholen von Feuerungsangeboten bei verschiedenen Anlagenherstellern
- Beurteilung und Beratung durch neutrale Fachleute.

Übersicht Anlagenbeispiele

(Detaillierter Auswahlkatalog siehe folgende Seiten.)

| | [kW] | manuell | halbautomatische Anlagen | | | | | automatische Anlagen | | | |
|--|--------|---------|--------------------------|----|----|----|----|----------------------|----|----|----|
| | | A | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | C1 | C2 | C3 | C4 |
| Unterabbrandkessel mit Speicher | 40–100 | | | | | | | | | | |
| Tunnelbrenner-Feuerung mit Behälter und Zerkleinerer | 25–110 | | | | | | | | | | |
| Unterschubfeuerung mit Behälter und Zerkleinerer | 30–120 | | | | | | | | | | |
| Unterschubfeuerung mit Behälter | 20–120 | | | | | | | | | | |
| Unterschubfeuerung | ab 50 | | | | | | | | | | |
| Rostfeuerung | ab 120 | | | | | | | | | | |
| Vorfeuerung | ab 20 | | | | | | | | | | |

Schreinereien
 Zimmereien
 Sägereien

Einsatzgebiet:

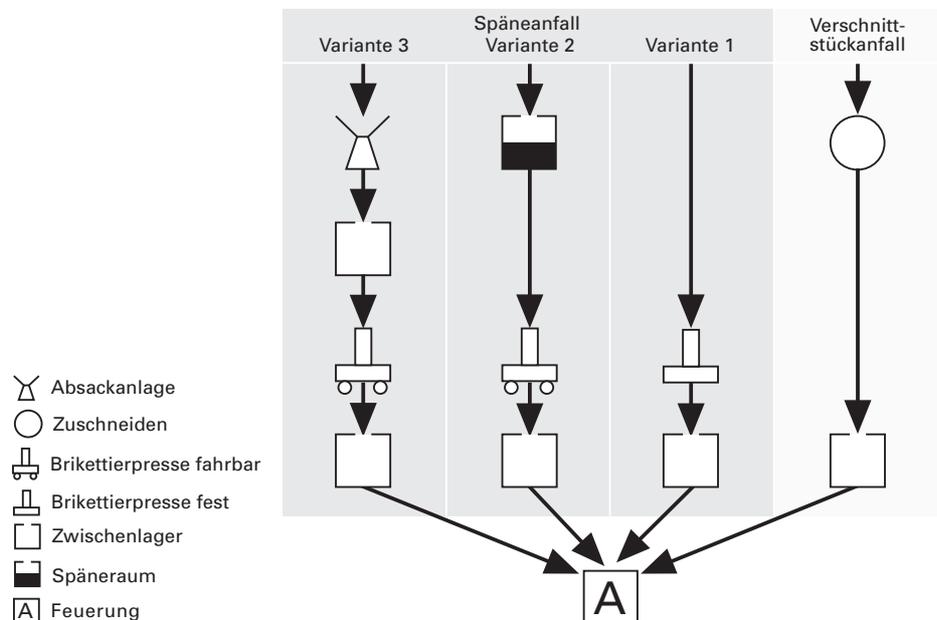
Kleine **Zimmerei- und Schreinereibetriebe**, welche fast ausschliesslich naturbelassenes und trockenes Massivholz verarbeiten.

**A
Manuelle Anlage****Anlagenbeschreibung:**

Die aus der Produktion anfallenden Späne werden in einer fest installierten Presse verfestigt und von Hand oder automatisch in ein Zwischenlager oder Heizraum gefördert. Die zugeschnittenen Verschnittstücke sind manuell ebenfalls entweder in ein Zwischenlager oder direkt in den Heizraum einzubringen.

Beim Einsatz einer fahrbaren Presse sind die Späne erst in einem Zwischenlager zu deponieren, bevor sie zu einem späteren Zeitpunkt brikettiert werden. Sind Späne in Säcken aufbewahrt (Absackanlage), kann auf einen separaten Späneraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen verzichtet werden.

Der Kessel ist manuell vom Zwischenlager oder direkt vom Heizraum aus zu beschicken.

**Kommt die Anlage A für den Betrieb in Frage?***Vorauswahl:*

Alle vier folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Feuerungsleistung 40 bis 100 kW (entspricht einem Wärmeleistungsbedarf von 20 bis ca. 50 kW)
- Anteil an beschichtetem Massivholz und Holzwerkstoffplatten < 10%
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Bedienungsaufwand bis zu zwei Stunden pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

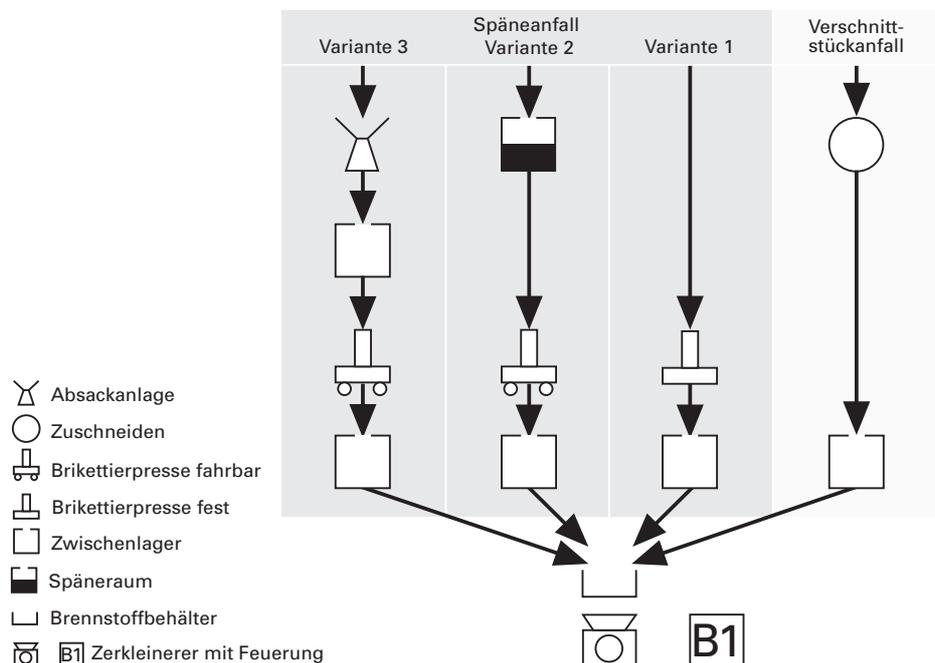
- Vorteile:**
- Kein Zerkleinerer notwendig
 - Einfache Zwischenlagerung für Verschnittstücke und Briketts genügt
 - Niedrige Kosten für eine handbeschickte Feuerung inkl. Speicher von ca. Fr. 30'000.– bis 50'000.–
- Nachteile:**
- Brikettierpresse erforderlich; Preise ab ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–
 - Verschnittstücke sind in geeignete Grössen abzulängen.

B1 Halbautomatische Anlage

Einsatzgebiet:
Kleinere **Schreinerei- und Zimmereibetriebe.**

Anlagenbeschreibung:
Die aus der Produktion anfallenden Späne werden in einer fest installierten Presse verfestigt. Briketts sowie zugeschnittene Verschnittstücke sind von Hand entweder in ein Zwischenlager oder direkt in den Brennstoffbehälter im Heizraum zu bringen.

Beim Einsatz einer fahrbaren Presse sind die Späne erst in einem Zwischenlager zu deponieren, bevor sie zu einem späteren Zeitpunkt brikettiert werden. Sind Späne in Säcken gelagert (Absackanlage), kann auf einen separaten und teureren Spänerraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen verzichtet werden.



Kommt die Anlage B1 für den Betrieb in Frage?

Vorauswahl

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 25 bis 110 kW
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Bedienungsaufwand von 0,5 bis 1 Stunde pro Tag ist akzeptabel

Weitere Kriterien

Vorteile:

- Kein Zerkleinerer notwendig
- Brennstoffbehälter mit einem max. Volumen bis 10 m³ ist im Heizraum gestattet
- Zwischenlagerung für Verschnittstücke und Briketts genügt (falls beim Einsatz einer fahrbaren Presse keine Säcke für die Spänelagerung verwendet werden, erhöhen sich die Kosten für einen Spänerraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen).

Nachteile:

- Brikettierpresse ist erforderlich; Preise ab ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–
- Kosten für Tunnelbrenner-Feuerung von ca. Fr. 60'000.– bis 90'000.–
- Lärmemissionen durch die Restholzzerkleinerung vor dem Feuerraum
- Verschnittstücke sind auf Längen < 30 cm abzuschneiden.

Einsatzgebiet:

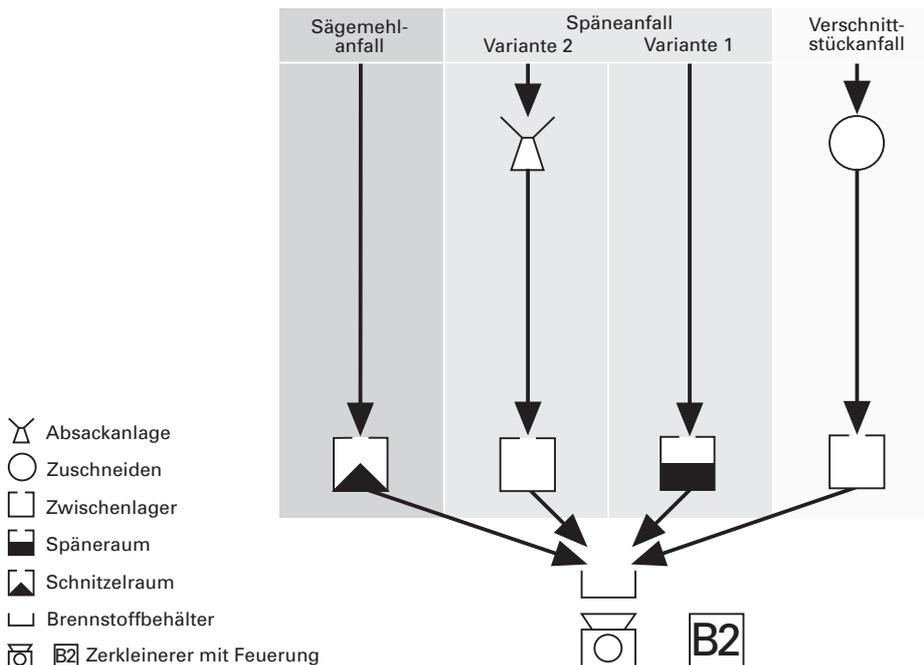
Kleinere **Schreinerei-, Zimmerei- und Sägereibetriebe.**

Anlagenbeschreibung:

Die aus Schreinereien und Zimmereien anfallenden Späne sind in einem Späneraum oder bei der Verwendung von Säcken in einem Zwischenlager zusammen mit den zugeschnittenen Verschnittstücken aufzubewahren. Sägemehl aus Sägereien ist in Schnitzelräumen zu lagern. Es kann auf Späneräume mit erhöhten Brandschutzmassnahmen verzichtet werden.

Entweder kann Restholz direkt aus der Produktion oder aus dem Zwischenlager dem Brennstoffbehälter vor der Schnitzelfeuerung zugeführt werden.

B2 Halbautomatische Anlage

**Kommt die Anlage B2 für den Betrieb in Frage?***Vorauswahl*

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 30 bis ca. 120 kW
- Wassergehalt $x < 45\%$
- Bedienungsaufwand von 0,5 bis 1 Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Kein Zerkleinerer notwendig
 - Keine Brikettierpresse erforderlich
 - Zwischenlagerung für stückiges Restholz (Verschnittstücke usw.) und Spänesäcke; bei Sägereien genügt ein Schnitzelraum. Falls in Schreinereien und Zimmereien keine Säcke für die Spänelagerung verwendet werden, erhöhen sich die Kosten für einen Späneraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen.

- Nachteile:**
- Brennstoffbehälter fasst nur ein Volumen von 1,5 bis 3 m³
 - Höhere Kosten für eine automatische Stückholzfeuerung von ca. Fr. 70'000.– bis 90'000.–
 - Stückiges Restholz (Verschnittstücke usw.) sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen
 - Lärmemissionen durch die Restholzzerkleinerung vor dem Feuerraum.

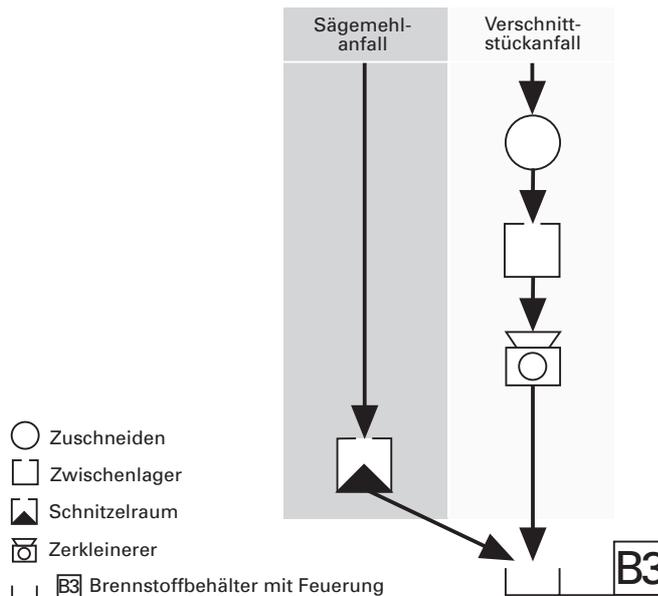
B3 Halbautomatische Anlage

Einsatzgebiet:

Sägereien mit kleinem Leistungs- und Wärmebedarf.

Anlagenbeschreibung:

Das aus der Produktion anfallende Sägemehl wird entweder in einem Schnitzelraum zwischengelagert, oder direkt in einen Brennstoffbehälter vor der Klein-Schnitzelfeuerung gegeben. Das zugeschnittene stückige Restholz ist in einem Zwischenlager zu deponieren, bevor dieses in einem Zerkleinerer gehackt und dem Brennstoffbehälter bei Bedarf zugeführt wird.



Kommt die Anlage B3 für den Betrieb in Frage?

Vorauswahl

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 20 bis 120 kW
- Wassergehalt x ca. 20% bis 45%
- Bedienungsaufwand von 0,5 bis 1 Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Keine Brikettierpresse erforderlich
 - Brennstoffbehälter mit einem Volumen bis 10 m³ ist gestattet
 - Zwischenlagerung für stückiges Restholz sowie ein Raum für Schnitzel genügt
 - Kosten für eine automatische Klein-Schnitzelfeuerung mit Brennstoffbehälter von ca. Fr. 40'000.– bis 60'000.–.

- Nachteile:**
- Zerkleinerer ist notwendig, wenn stückiges Restholz energetisch genutzt werden soll
 - Stückiges Restholz ist auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

Einsatzgebiet:

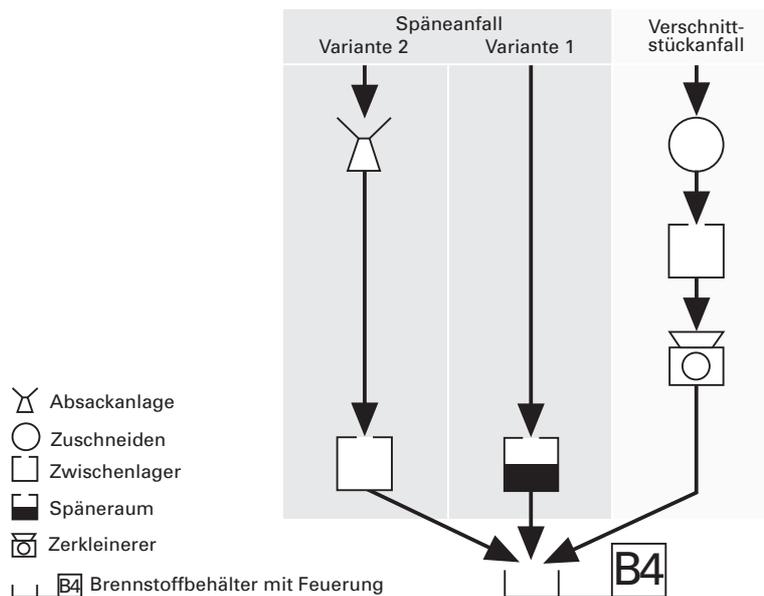
Kleinere **Schreinerei- und Zimmereibetriebe.**

Anlagenbeschreibung:

Die aus der Produktion anfallenden Späne werden in einem separaten Späneraum zwischengelagert. Die zugeschnittenen Verschnittstücke sind in einem Zwischenlager zu deponieren, bevor diese bei Bedarf in einem Zerkleinerer zerkleinert und ebenfalls dem Brennstoffbehälter zugeführt werden.

Falls die anfallenden Späne in Säcken aufbewahrt werden (Absackanlage), genügt an Stelle eines Späneraums mit erhöhten Brandschutzmassnahmen ein kostengünstigeres Zwischenlager.

B4 Halbautomatische Anlage

**Kommt die Anlage B4 für den Betrieb in Frage?***Vorauswahl*

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 20 bis 70 kW
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Bedienungsaufwand von 0,5 bis 1 Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Keine Brikettierpresse erforderlich
 - Zwischenlagerung für Verschnittstücke und Säcke genügt (falls keine Säcke für die Spänelagerung verwendet werden, erhöhen sich die Kosten für einen Späneraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen)
 - Kosten für eine halbautomatische Klein-Schnitzelfeuerung mit Brennstoffbehälter von ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–.

- Nachteile:**
- Zerkleinerer ist notwendig; Preise ab Fr. 40'000.– bis 50'000.–
 - Brennstoffbehälter mit einem Volumen von max. 3 m³ möglich
 - Verschnittstücke sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

**B5
Halbautomatische
Anlage**

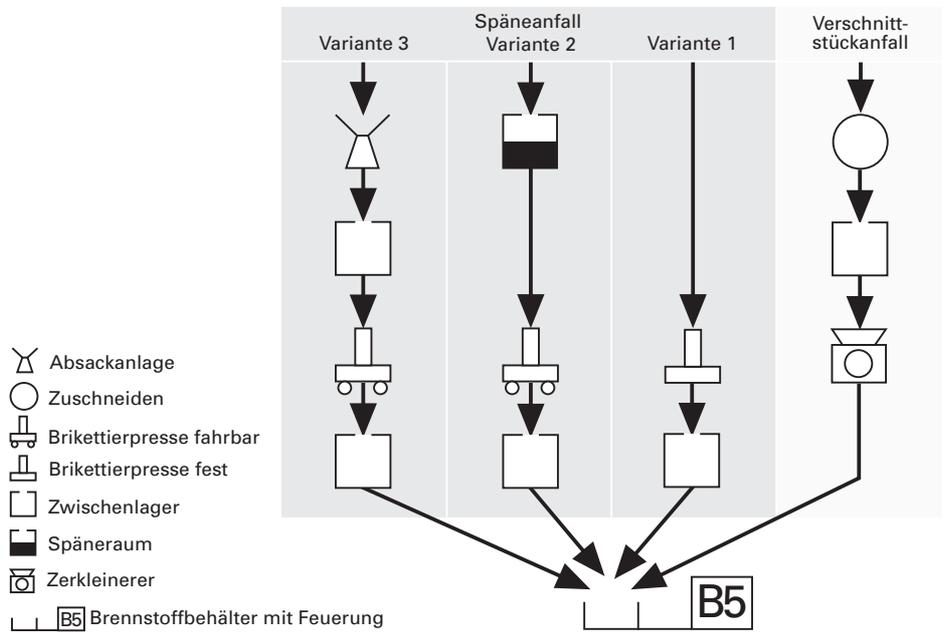
Einsatzgebiet:

Kleinere **Schreinerei- und Zimmereibetriebe**, welche bestehende Räume ohne zusätzliche Brandschutzmassnahmen zur Restholzlagerung nutzen wollen.

Anlagenbeschreibung:

Die aus der Produktion anfallenden Späne werden in einer fest installierten Presse verfestigt. Die Briketts sind anschliessend von Hand oder automatisch in ein Zwischenlager zu bringen. Die zugeschnittenen Verschnittstücke sind ebenfalls in einem Zwischenlager zu deponieren, bevor diese bei Bedarf in einem Zerkleinerer gehackt und direkt dem Brennstoffbehälter zugeführt werden.

Beim Einsatz einer fahrbaren Presse sind die Späne erst in einem Spänerraum zu deponieren, bevor sie zu einem späteren Zeitpunkt brikettiert werden. Sind Späne in Säcken aufbewahrt (Absackanlage), kann auf einen Spänerraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen verzichtet werden. Es genügt ein einfaches und kostengünstiges Zwischenlager.



Kommt die Anlage B5 für den Betrieb in Frage?

Vorauswahl

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 20 bis 120 kW
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Bedienungsaufwand von 0,5 bis 1 Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Brennstoffbehälter mit Volumen bis 10 m³ ist im Heizraum zulässig
 - Zwischenlagerung für Verschnittstücke und Briketts genügt (falls beim Einsatz einer fahrbaren Presse keine Säcke für die Spänelagerung verwendet werden, erhöhen sich die Kosten für einen Spänerraum mit verschärften Brandschutzmassnahmen)
 - Kosten für eine halbautomatische Klein-Schnitzelfeuerung mit Brennstoffbehälter von ca. Fr. 40'000.– bis 60'000.–.

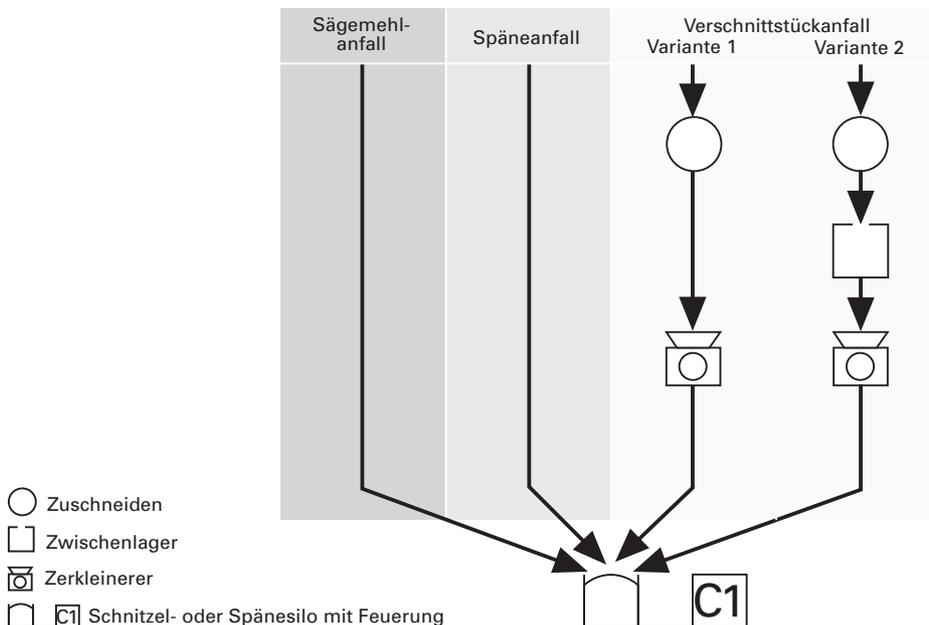
- Nachteile:**
- Zerkleinerer ist notwendig; Preise ab ca. Fr. 40'000.– bis 50'000.–
 - Brikettierpresse ist erforderlich; Preise ab ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–
 - Verschnittstücke sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

Einsatzgebiet:

Mittlere bis grössere **Schreinerei-, Zimmerei- und Sägereibetriebe**, welche zum Bau eines neuen Schnitzel- beziehungsweise Spänesilos genügend Platz zur Verfügung haben.

Anlagenbeschreibung:

Späne aus Schreinereien und Zimmereien werden automatisch in Spänesilos gefördert. Sägemehl aus Sägereien wird zumeist mit Pneuladern in Schnitzelsilos eingebracht. Das zugeschnittene stückige Restholz ist direkt in einem Zerkleinerer zu hacken und ebenfalls dem Silo zuzuführen. Falls Verschnittstücke usw. vor der Zerkleinerung zwischengelagert werden, kann das erforderliche Silovolumen reduziert werden. Die Beschickung der Schnitzelfeuerung aus dem Silo erfolgt automatisch.

**C1
Automatische
Anlage****Kommt die Anlage C1 für den Betrieb in Frage?***Vorauswahl*

Alle vier folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung ab 50 kW
- Wassergehalt $x < 45\%$
- Platz für den Bau eines freistehenden Spänesilos oder eines unterirdischen Schnitzelsilos
- Bedienungsaufwand bis zu einer halben Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

Vorteile:

- Keine Brikettierpresse erforderlich
- Kosten für automatische Schnitzelfeuerungen von ca. Fr. 60'000.– bis 170'000.–.

Nachteile:

- Zerkleinerer ist erforderlich; Preise ab ca. Fr. 40'000.– bis 50'000.–
- Späne- oder Schnitzelsilo zur Restholzlagerung notwendig; für Sägereien ein unterirdisches Schnitzelsilo mit spezifischen Kosten von ca. 500 bis 1000 Fr./m³; für Schreinereien und Zimmereien ein freistehendes, oberirdisches Spänesilo inklusive Heizraum mit spezifischen Kosten von ca. 300 bis 500 Fr./m³
- Stückiges Restholz (Verschnittstücke usw.) sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

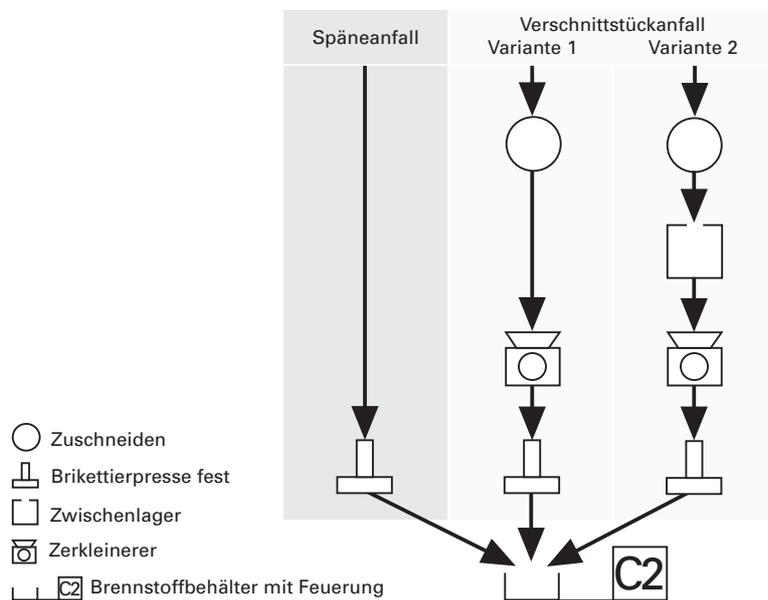
C2 Automatische Anlage

Einsatzgebiet:

Kleinere **Schreinerei- und Zimmereibetriebe**, welche bestehende Räume ohne zusätzliche Brandschutzmassnahmen zur Restholzlagerung nutzen wollen, ohne auf eine hohe Automatisierung verzichten zu müssen.

Anlagenbeschreibung:

Die aus der Produktion anfallenden Späne werden durch eine fest installierte Presse brikettiert und automatisch in einem Brennstoffbehälter vor einer Klein-Schnitzelfeuerung gelagert. Die zugeschnittenen Verschnittstücke werden zerkleinert und brikettiert und ebenfalls dem Brennstoffbehälter zugeführt. Falls das Behältervolumen von 10 m³ (maximales Volumen für in Heizräumen aufgestellte Behälter) nicht ausreicht, kann ein Teil der anfallenden Verschnittstücke vor der Zerkleinerung resp. Brikettierung in einem Zwischenlager aufbewahrt werden. Die Klein-Schnitzelfeuerung wird automatisch vom Brennstoffbehälter aus beschickt.



Kommt die Anlage C2 für den Betrieb in Frage?

Vorauswahl

Alle drei folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung 20 bis ca. 70 kW
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Bedienungsaufwand bis zu einer halben Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

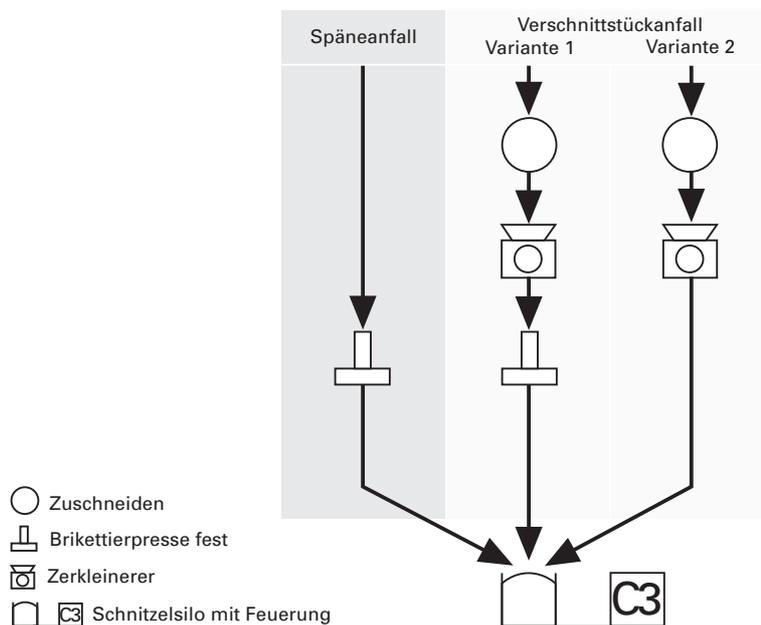
- Vorteile:**
- Zwischenlager für Verschnittstücke und ein im Heizraum bis max. 10 m³ grosser Brennstoffbehälter für Briketts genügt.
 - Kosten für automatische Kleinfeuerung mit Brennstoffbehälter 10 m³ von ca. Fr. 40'000.– bis 55'000.–.
- Nachteile:**
- Brikettierpresse ist erforderlich; Preise ab ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–
 - Zerkleinerer ist notwendig; Preise ab ca. Fr. 40'000.– bis 50'000.–
 - Verschnittstücke sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

Einsatzgebiet:

Mittlere und grössere **Schreinerei- und Zimmereibetriebe**, welche bestehende Kellerräume aus Platzgründen zur Restholzlagerung nutzen müssen.

**C3
Automatische
Anlage****Anlagenbeschreibung:**

Die aus der Produktion anfallenden Späne werden durch eine fest installierte Presse brikettiert und automatisch in ein Schnitzelsilo weitertransportiert. Zugeschnittene Verschnittstücke sind zu zerkleinern und ebenfalls ins Schnitzelsilo einzubringen. Falls nur Platz für ein kleineres Schnitzelsilo zur Verfügung steht, können die Schnitzel vorgängig brikettiert werden. Die Beschickung der Schnitzelfeuerung mit Briketts und Schnitzeln aus dem Silo geschieht automatisch.

**Kommt die Anlage C3 für den Betrieb in Frage?***Vorauswahl*

Alle vier folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung ab 50 kW
- Wassergehalt $x < 20\%$
- Kein Platz für den Bau eines freistehenden Spänesilos vorhanden
- Bedienungsaufwand bis zu einer halben Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Kostengünstiges Schnitzelsilo genügt; die spezifischen Silokosten bei einem Kellerumbau betragen ca. 500 bis 700 Fr./m³
 - Kosten für automatische Schnitzelfeuerung von ca. Fr. 60'000.– bis 170'000.–.

- Nachteile:**
- Brikettierpresse ist erforderlich; Preise ab ca. Fr. 35'000.– bis 45'000.–
 - Zerkleinerer ist notwendig; Preise ab ca. Fr. 40'000.– bis 50'000.–
 - Verschnittstücke sind auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

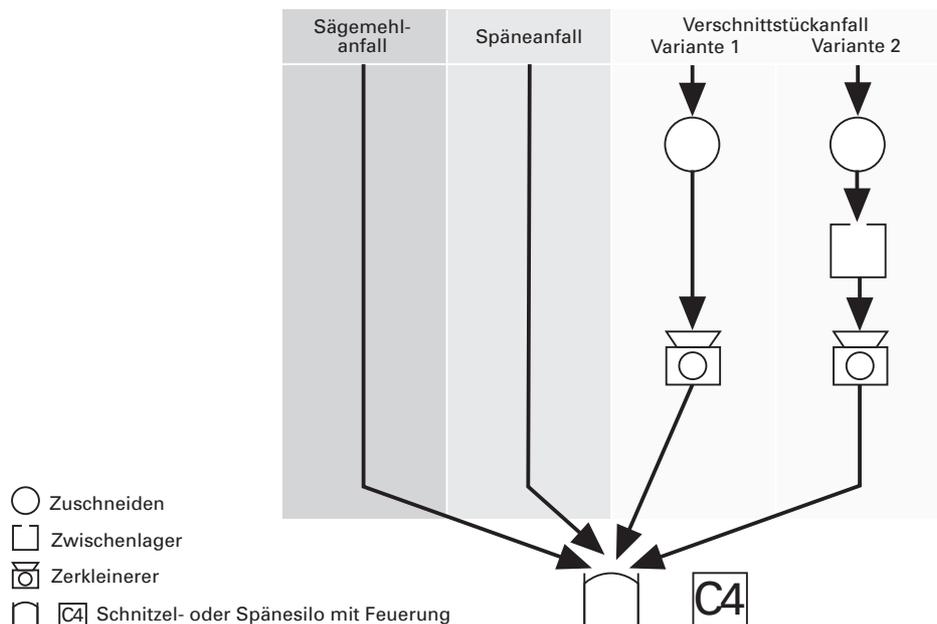
C4 Automatische Anlage

Einsatzgebiet:

Mittlere und grössere **Schreinereien und Sägereien**, in welchen aschereiches Restholz wie z. B. Holzwerkstoffplatten mit hohem Inertstoffanteil (Mineralstoffe usw.) oder auch Holz mit hohem Rindenanteil anfällt.

Anlagenbeschrieb:

Die aus Schreinereien anfallenden Späne werden automatisch in Spänesilos und das Sägemehl aus Sägereien in Schnitzelsilos gelagert. Dasselbe geschieht mit stückigem Restholz, welches zuvor in einem Zerkleinerer zu hacken ist. Falls Verschnittstücke usw. vor der Zerkleinerung zwischengelagert werden, kann das erforderliche Silovolumen reduziert werden. Die Beschickung der Rostfeuerung mit Brennstoff aus dem Silo geschieht automatisch.



Kommt die Anlage C4 für den Betrieb in Frage?

Vorauswahl

Alle vier folgenden Kriterien müssen erfüllt sein!

- Kesselleistung ab 150 kW
- Wassergehalt $x < 60\%$
- Aschereicher Restholzanfall
- Bedienungsaufwand bis zu einer halben Stunde pro Tag akzeptabel

Weitere Kriterien

- Vorteile:**
- Einzige Anlagenvariante, mit der aschereiches Restholz energetisch problemlos genutzt werden kann.
 - Keine Brikettierpresse erforderlich.
- Nachteile:**
- Schnitzel- oder Spänesilo zur Restholzlagerung notwendig; für Sägereien ein unterirdisches Schnitzelsilo mit spezifischen Kosten von ca. 500 bis 1000 Fr./m³; für Schreinereien und Zimmereien ein freistehendes, oberirdisches Spänesilo inkl. Heizraum mit spezifischen Kosten von ca. 300 bis 500 Fr./m³
 - Kosten für automatische Rostfeuerungen von ca. Fr. 100'000.– bis 200'000.–
 - Zerkleinerer ist notwendig; Preise ab ca. Fr. 40'000.– bis 50'000.–
 - Stückiges Restholz (Verschnittstücke usw.) ist auf ca. 70 bis 160 cm abzulängen.

4.3 Vertragliche Regelungen mit Anlagenherstellern

Die Einhaltung der LRV kann erst nach Inbetriebnahme der Anlage kontrolliert werden. Der Vertrag für den Anlagenkauf muss somit eine besondere Klausel enthalten, die eine Garantie für die Einhaltung der LRV seitens des Herstellers vorsieht.

Um Missverständnisse und Möglichkeiten zur Umgehung der Garantie zu verhindern, müssen drei Punkte klar umschrieben sein:

1. Der verwendete Brennstoff muss genau beschrieben werden, denn er variiert stark von einem Betrieb zum andern und wirkt sich somit auf das Betriebsverhalten des Heizkessels aus.
2. Wenn nicht alle Elemente des Heizsystems vom gleichen Hersteller stammen, müssen die entsprechenden Verantwortlichkeiten genau festgehalten werden.
3. Die im Vertrag definierte Garantie muss mit einer Sanktionsklausel versehen sein, für den Fall der Nichteinhaltung. Die übliche Form ist ein Abzug bei der Zahlung, bis der Messtest der LRV mit Erfolg durchgeführt worden ist.

Definition des zu verarbeitenden Brennstoffes

Material

- Massivholz
- Holzspanplatte, Holzfaserverplatte, MDF, usw.
- Oberflächenveredelung, Melamine, Furniere usw.

Herkunft

- Sägen, Hobeln, Schleifen, Fräsen
usw.

Mittlerer Wassergehalt und Variationen

Körnigkeit

- Schnitzelgröße, Feinanteil in Prozent

Elemente, die der Verantwortung verschiedener Lieferanten unterliegen können

- Aufbereitung, Transport und Lagerung des Brennstoffes
- Wärme-Produktion
- Abgasbehandlung
- Energiebewirtschaftung und -verteilung

5 Was schreibt das Gesetz vor?

5.1 Luftreinhalte-Verordnung (LRV)

Die Luftreinhalte-Verordnung legt die Grenzwerte von Emissionen und die maximal zulässigen Konzentrationen von Schadstoffen in der Atmosphäre fest. Die Holzverarbeitenden Betriebe sind ebenfalls durch diese Verordnung betroffen, da die LRV mehrere Vorschriften, speziell über die Klassifizierung der Holzreste und die Emissionsbegrenzung für entsprechende Feuerungsanlagen enthält.

Die 1985 entstandene LRV basiert auf dem Umweltschutzgesetz von 1983. Geändert wurde sie am 20. November 1991 und am 1. Februar 1992 ist eine neue Version in Kraft gesetzt worden.

Klassierung der Holzreste

Für die energetische Nutzung von Holz kennt die LRV verschiedene Kategorien mit unterschiedlichen Abgasvorschriften.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Holzreste (inkl. Spanplatten und lasierte Hölzer) aus der Holzverarbeitung als Brennstoffe gelten und dementsprechend für die Energiegewinnung zu nutzen sind. Es existieren zwei Ausnahmen:

1. Holzreste, mit **PVC**-Beschichtungen (z.B. Tür- und Fensterkanten usw.)
2. **Druckimprägnierte** sowie **intensiv** mit Holzschutzmitteln **behandelte Hölzer** (z.B. Eisenbahnschwellen, Telefonstangen, Zäune usw.)

Sie gelten nicht als Holzbrennstoffe. Mit PVC oder Druckimprägnierungsmittel behandelte Holzreste müssen in der Kehrrichtverbrennungsanlage verbrannt werden.

Naturbelassener Holzbrennstoff, d.h. 100%iges Massivholz ohne jede Behandlung, Lackierung oder Beschichtung, unterliegt den gleichen Vorschriften wie frisches Waldholz. Für Hölzer mit z.B. Spanplatten- oder Melaminresten wird, vor allem bei kleineren Anlagen, eine bessere Verbrennungsqualität verlangt.

Mischungen von zwei Kategorien müssen immer den strengeren Vorschriften genügen. Eine Sortierung der Holzreste kann sich daher in gewissen Fällen als gewinnbringend erweisen.

Das Altholz, d.h. Holz aus Abbrüchen und Renovationen sowie verbrauchte Holzgegenstände wie Möbel und Verpackungen darf nur in speziellen, dafür konzipierten Anlagen und in KVA's verbrannt werden.

Naturbelassener Holzburnstoff

- Holz, direkt aus dem Wald, wie Spalten, Rugeln, Schnitzel
- naturbelassene Holzreste
 - Ablängstücke aus Massivholz
 - Schwarten und Spreissel
 - Hobelspäne
 - Sägemehl und Schleifstaub aus Massivholz
 - Restholzschnitzel aus Massivholz

Nicht naturbelassener Holzburnstoff (gem. LRV: Restholz)

- Verarbeitungsreste aus Holzwerkstoffplatten
 - Span-, Faserplatten
 - MDF-Platten
 - Sperrholz
- Beschichtete Verarbeitungsreste (ohne PVC)
 - Furniere
 - Melamin-Beschichtungen
- Behandelte Verarbeitungsreste
 - Lacken, Lasuren
- Holzreste aus Baustellen (Montagearbeiten)
 - Schalungen, Gerüste
 - Montageresten im Innenausbau

Altholz

- Holzreste aus Abbruch und Renovationen
 - alte Täfer, Balken, Fenster, Türen
 - alte Inneneinrichtungen
- Verbrauchte Holzgegenstände
 - alte Möbel
 - alte Verpackungen
 - alte Holzgegenstände
 - Paletten

Nicht als Altholz gilt:

PVC-beschichtetes, mit Druckimprägniermittel sowie mit Pentachlorphenol behandeltes Holz! Diese Stoffgemische sind zusammen mit den Siedlungsabfällen in KVA's zu vernichten.

Abgasvorschriften

Die LRV definiert Grenzwerte für bestimmte Stoffe im Abgas der Feuerungsanlagen. Bei der Verbrennung von Holzburnstoffen, wie sie vorher definiert worden sind, betreffen diese Vorschriften den Staubgehalt, das Kohlenmonoxid (CO) und die Stickoxide (NO_x). Diese Grenzwerte sind von der Anlagegrösse abhängig (Feuerungswärmeleistung).

Maximaler Staubgehalt (Feststoffgehalt)

Der maximale Staubgehalt beträgt 150 mg/m³ Abgas bei Anlagen von 70 kW bis 5 MW. Es existieren keine Vorschriften bei Anlagen unter 70 kW. Bei Anlagen über 5 MW sind neu noch 50 mg/m³ toleriert.

Grenzwert Kohlenmonoxid

Der Grenzwert für das Kohlenmonoxid (Indikator für die Verbrennungsqualität) ist stark von der Anlageleistung abhängig. Bei der Verbrennung von nicht naturbelassenen Holzresten sind die Vorschriften strenger als für

naturbelassenes Holz. Dieser Unterschied macht sich vor allem bei Anlagen unter 200 kW bemerkbar.

Grenzwerte für Stickoxide

Die Grenzwerte für Stickoxide kommen in der Regel nur ab einer Anlagenleistung von 1,5 MW zum Tragen; bei naturbelassenem Holz ab 4 MW.

Emissionsmessung

Der Vollzug der LRV obliegt den Kantonen. Sie bestimmen die für die Messungen ermächtigten Personen.

Die Messung der Abgase ist obligatorisch und kann nicht zurückgewiesen werden. Der Besitzer der Anlage muss diese nach den Erfordernissen der Messungen zugänglich machen. Eine Messung wird bei der Inbetriebsetzung einer neuen Anlage oder nach einer Sanierung ausgeführt und wird periodisch wiederholt. Bei Verdacht auf Nichteinhaltung der LRV kann eine Messung verordnet werden.

Wenn die gemessene Anlage der LRV nicht entspricht, muss diese entweder saniert oder ausser Betrieb gesetzt werden. Die zuständige Behörde setzt eine Frist an, welche der Situation angepasst ist (Grad der Grenzwertüberschreitung, Bedeutung der notwendigen Investitionen). Die übliche Frist beträgt 5 Jahre.

Hinweis:

Die geltenden Abgaswerte bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen sind aus der Tabelle im Anhang A5 ersichtlich.

Handbeschickte Anlagen

Handbeschickte Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung bis 40 kW sowie Cheminées dürfen nur mit naturbelassenem stückigem Holz beschickt werden. Die Verwendung von Resten aus nicht naturbelassenem Holz (wie Spanplatten) ist nicht gestattet. Schnitzel, Späne und Sägemehl, selbst aus naturbelassenem Holz, sind untersagt.

Diese Anlagen müssen die Emissionsvorschriften auch bei Teillastbetrieb erfüllen. Sonst müssen die neuen handbeschickten Heizkessel mit einem Wärmespeicher ausgerüstet sein, der mindestens die Hälfte der von einer Ladung bei Normallast produzierten Wärmemenge speichern kann.

Holzbriketts

Bindemittelfreie Holzbriketts aus naturbelassenem Holz gelten als stückiger Holzbrennstoff und können uneingeschränkt verwendet werden.

Bindemittelfreie Holzbriketts aus nicht naturbelassenem Holz (d.h. mit Spanplattenresten und dergleichen) dürfen nur in automatischen Anlagen und in handbeschickten Anlagen über 40 kW verbrannt werden. Sie sind also bei Cheminées und Zimmeröfen verboten.

Abgasmessung bei Anlagen unter 70 kW

Bei Anlagen unter 70 kW, welche fachgerecht und ausschliesslich mit naturbelassenem Holz betrieben werden, kann auf eine Messung verzichtet werden.

Bei der Verbrennung von Restholz aus der Bearbeitung von Holzwerkstoffplatten ist eine Abgasmessung erforderlich.

Spezialfälle

Die Behörde kann eine kontinuierliche Messung und Registrierung einzelner Schadstoffe verlangen, sofern die Emissionen der Anlage für die Umgebung von besonderer Bedeutung sind (vor allem bei Grossanlagen oder speziellen Brennstoffen).

**Definition der
Holzbrennstoffe**

nach LRV 92, Anhang 5
Ziff. 3

Als Holzbrennstoffe gelten:

- a. naturbelassenes, stückiges Holz einschliesslich anhaftender Rinde, z.B. in Form von Scheitholz oder bindemittelfreien Holzbriketts, sowie Reisig und Zapfen;
- b. naturbelassenes, nicht stückiges Holz, beispielsweise in Form von Hackschnitzeln, Spänen, Sägemehl, Schleifstaub oder Rinde;
- c. Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie und dem Holzverarbeitenden Gewerbe sowie von Baustellen, soweit das Holz nicht druckimprägniert ist und keine Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen enthält.

Nicht als Holzbrennstoffe gelten:

- a. Altholz aus Gebäudeabbrüchen, Umbauten, Renovationen und Altholz aus Verpackungen oder alte Holzmöbel sowie Gemische von Altholz mit Holzbrennstoffen nach Absatz 1;
- b. alle übrigen Stoffe aus Holz, wie:
 1. Altholz oder Holzabfälle, die mit Holzschutzmitteln nach einem Druckverfahren imprägniert wurden oder Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen aufweisen;
 2. mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol intensiv behandelte Holzabfälle oder Altholz;
 3. Gemische von solchen Abfällen mit Holzbrennstoffen nach Absatz 1 oder Altholz nach Buchstabe a.

5.2 Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

Die Technische Verordnung über Abfälle regelt die Behandlung und Verminderung von Abfällen, sei es durch Verwertung oder Vernichtung.

Eines der Grundprinzipien ist die **Verwertungspflicht** für Abfälle. Dieses Prinzip kommt überall dort zum Tragen, wo dies technisch und finanziell möglich ist. Das Restholz aus den Holzverarbeitenden Betrieben muss also in erster Linie genutzt (z.B. als Rohstoff für Spanplatten) oder energetisch verwertet werden. Die Vernichtung in Form einer Verbrennung ohne Energiegewinnung oder durch Deponierung kommt nur dann in Frage, wenn keine Nutzung möglich ist.

Ein anderes Grundprinzip untersagt die Vermischung von Abfällen, wenn dieses dazu dient, den Schadstoffgehalt der darin enthaltenen Substanzen zu verdünnen. Die Vermischung von zwei Abfällen, welche verschiedenen Klassen angehören, muss den Anforderungen der strengeren Klasse entsprechen. Daraus leitet sich die Quasi-Verpflichtung ab, Abfälle, wie z.B. das Holz, auszusortieren.

Die Vermischung von Abfällen ist verboten, wenn dies zur Folge hat, dass der Schadstoffgehalt der darin enthaltenen Substanzen verdünnt wird.

Die Mischung von zwei Abfällen, welche verschiedenen Klassen angehören, muss den Anforderungen der strengeren Klasse entsprechen.

Holz und Holzresten dürfen nicht auf Deponien geführt werden. In Ausnahmefällen, wenn weder eine KVA noch eine Verwertungsanlage zur Verfügung steht, können sie in Reaktordeponien (Hausmülldeponien) endgelagert werden.

Grundlagen

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | Wie kann Restholz sauber verbrannt werden? | 55 |
| 6.1 | Verbrennungsvorgang von Holz | 55 |
| 6.2 | Schadstoffe bei der Verbrennung von Restholz | 58 |
| 6.3 | Feuerraumgestaltung | 59 |
| 6.4 | Betrieb und Regelung von Restholzfeuerungen | 61 |
| 6.5 | Abgasreinigung | 64 |
| 7 | Wie kann der Energieverbrauch reduziert werden? | 67 |
| 7.1 | Stromverbrauch | 67 |
| 7.2 | Wärmerückführung | 72 |

6 Wie kann Restholz sauber verbrannt werden?

6.1 Verbrennungsvorgang von Holz

Bei der Erwärmung im Feuerraum wird das Holz in Gase und Holzkohle zersetzt. Sobald die Gase mit der Verbrennungsluft in Kontakt kommen, verbrennen sie in einer langen Flamme. Holz ist deshalb ein *langflammiger* Brennstoff. Die Holzkohle im Glutbett brennt dagegen langsam und mit geringer Flammenbildung ab.

Der bei der Erwärmung als Gase freigesetzte Anteil beträgt je nach Holzart ca. 80 bis 90 Gew.-% des Holzes. Holz ist also ein *gasreicher Festbrennstoff*. Die brennbaren Gase aus dem Holz sind Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe. Diese Gase müssen in der Brennkammer verbrannt werden, da sie sonst als Schadgase in die Umwelt gelangen.

Da das Holz zuerst vergast wird und die Gase anschliessend in einer Gasflamme verbrennen, ist die Holzverbrennung ein zweistufiger Prozess: Erster Teilschritt ist die Vergasung, zweiter die Verbrennung der Gase. Die Schadstoffe von Holzfeuerungen können entsprechend wie folgt unterschieden werden:

- Schadstoffe aus unvollständiger Verbrennung: Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Teer und Russ.
- Schadstoffe aus vollständiger Verbrennung: Kohlendioxid (CO₂), Stickoxide (NO_x) und Aschepartikel.

Da bei tiefen CO-Emissionen in der Regel auch die Emissionen an Kohlenwasserstoffen, Teer und Russ niedrig sind, wird Kohlenmonoxid als Leitsubstanz für die Beurteilung der Ausbrandqualität verwendet. In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) ist deshalb auch für kleine und mittlere Anlagen ein Grenzwert für Kohlenmonoxid vorgeschrieben. Ein Grenzwert für Kohlenwasserstoffe ist dagegen erst bei Anlagen ab 1 MW festgelegt.

Welche Schadstoffe werden bei der Holzverbrennung gebildet ?

Holz als Brennstoff

Holz ist ein gasreicher und langflammiger Festbrennstoff

Die Holzverbrennung läuft über zwei Teilschritte ab:

1. Vergasung von Holz in Gase und Holzkohle
2. Ausbrand der Gase (Brennkammer) und Abbrand der Holzkohle (Glutbett)

Abbildung 6.1:
Das Verhalten von Holz bei der Erwärmung:

Ca. 85 Gew.-% werden in Form von Gasen freigesetzt.

Nur 15 Gew.-% des Holzes brennen in Form von Holzkohle als Feststoff ab.

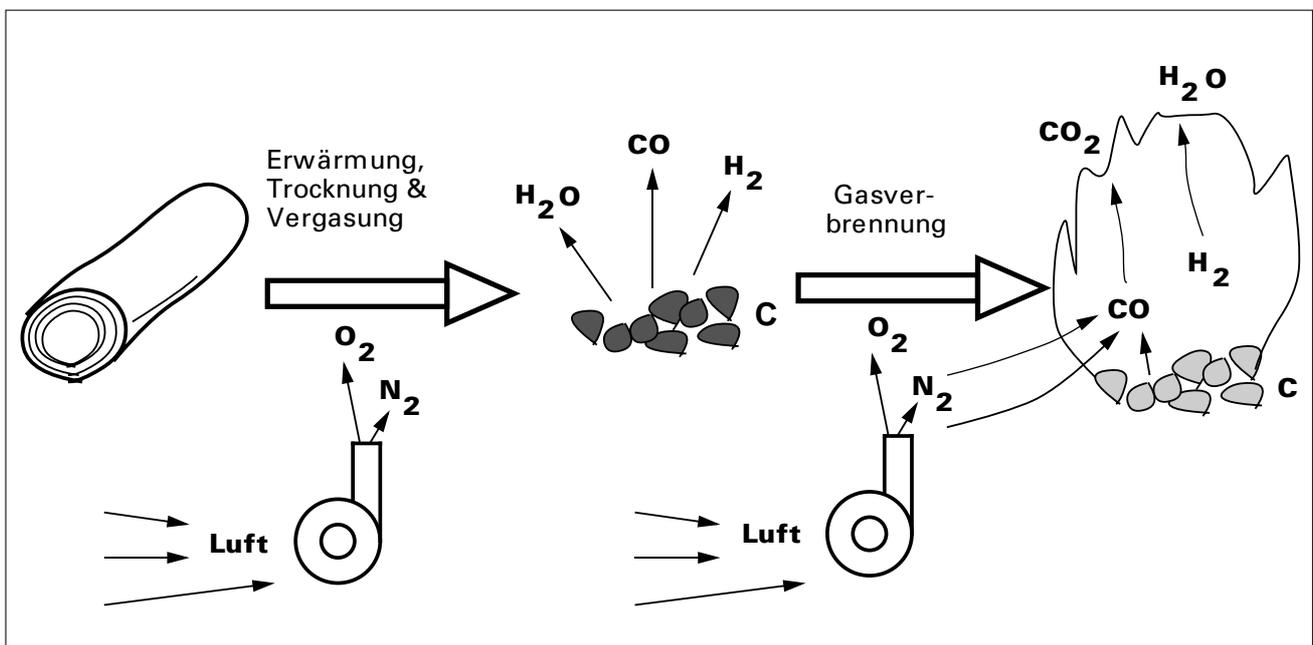
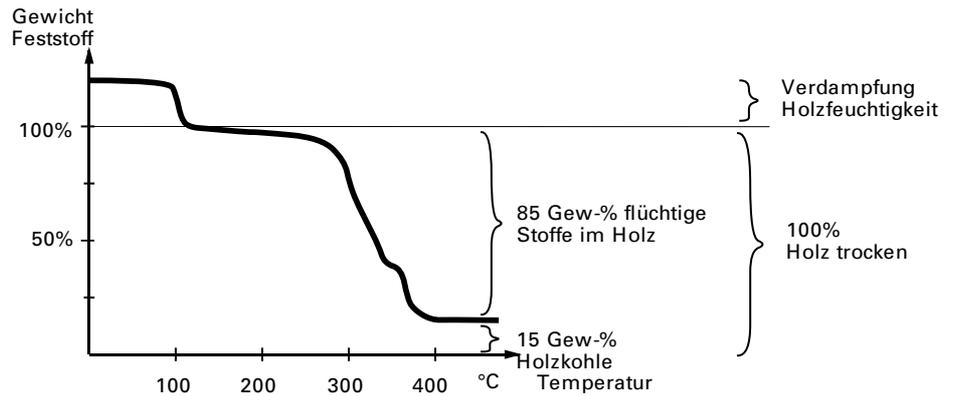


Abbildung 6.2:
Die zwei Teilschritte der Holzverbrennung:

1. Erwärmung, Trocknung und Vergasung.
2. Verbrennung der Gase und der Holzkohle.

Schadstoffe aus unvollständiger Verbrennung: Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Teer und Russ

Um einen guten Ausbrand zu erzielen und die Schadstoffemissionen an CO, HC, Teer und Russ zu vermeiden, müssen die Abbrandeigenschaften des Holzes bei der Feuerraumgestaltung wie folgt berücksichtigt werden:

- Die lange Flamme der Holzverbrennung erfordert eine grosse Brennkammer.
- Da die Gase und die Holzkohle getrennt verbrennen, wird die Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft aufgetrennt. Die Primärluft wird für die Vergasung und den Ausbrand der Holzkohle benötigt, die Sekundärluft dient zum Ausbrand der Gase.
- Um einen vollständigen Ausbrand zu erzielen, muss die Sekundärluft mit den brennbaren Gasen gut vermischt werden.

- Für eine vollständige Verbrennung ist eine Temperatur von mindestens 800 °C erforderlich. Das heisst: keine vorzeitige Kühlung der Flamme, z.B. an kalten Wänden, grosse Brennkammer, angepasste Holzfeuchtigkeit und Verbrennung bei richtigem Brennstoff/Luft-Verhältnis.

Das Brennstoff/Luft-Verhältnis wird durch die Luftüberschusszahl Lambda wie folgt beschrieben:

$$\text{Lambda} = \frac{\text{zugeführte Luftmenge}}{\text{stöchiometrisch notwendige Luftmenge}}$$

Für eine vollständige Verbrennung muss Lambda > 1 sein, da sonst örtlich nicht genügend Sauerstoff für den Ausbrand der Gase zur Verfügung steht. Ist der Luftüberschuss dagegen viel zu gross (Lambda > 2 ... 3), so wird die Flamme durch die unnötig zugeführte Luft gekühlt, so dass die Verbrennung ebenfalls unvollständig wird. Bei modernen Holzfeuerungen liegt der optimale Luftüberschuss im Bereich 1.5–2.0.

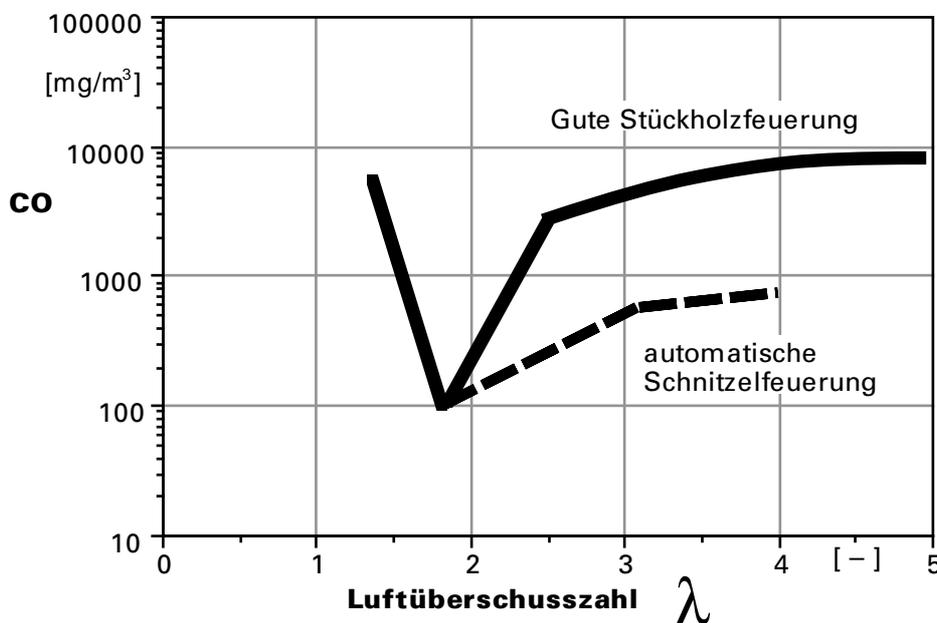


Abbildung 6.3: Kohlenmonoxidemissionen in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl

Schadstoffe aus vollständiger Verbrennung

Stickoxide (NO_x)

Holz enthält geringe Mengen an Stickstoff, der zum Teil bei der Verbrennung in Stickoxide umgewandelt wird. Die Bildung von Stickoxiden kann in Holzfeuerungen deshalb bis anhin nicht verhindert werden.

Kohlendioxid (CO₂)

CO₂ ist das Produkt der vollständigen Verbrennung. Es kann als Treibhausgas zu einem globalen Temperaturanstieg führen, weshalb der Verbrauch fossiler Energieträger vermindert werden sollte. Eine Nutzung des im Wald nachwachsenden Holzes führt dagegen nicht zu einem CO₂-Anstieg der Atmosphäre, da das Kohlendioxid beim Aufbau der nächsten Baumgeneration wieder im Holz eingebunden wird.

Asche

Die Asche darf nicht in das Abgas gelangen, da sie dort zu erhöhten Staubemissionen führt. Grössere Anlagen verfügen über Vorrichtungen zur Ascheabscheidung. Asche von naturbelassenem Holz kann als Dünger

genutzt werden. Dagegen ist Asche aus der Verbrennung von verunreinigtem Rest- und Altholz mit Stoffen belastet, welche eine Entsorgung erforderlich machen.

Staub

Die Staubemissionen umfassen unverbrannte Teer- und Russpartikel, welche durch eine vollständige Verbrennung vermieden werden können. Im weiteren können jedoch auch Aschepartikel mitgerissen werden und zu erhöhten Staubemissionen führen. Die Asche muss deshalb entweder im Feuerraum abgeschieden werden – z.B. bei Stückholzfeuerungen mit Rost – oder sie muss in einem nachgeschalteten Staubabscheider zurückgehalten werden. Wenn verunreinigte Brennstoffe eingesetzt werden, kann der Staub Schwermetalle und weitere Schadstoffe enthalten. In diesem Fall ist eine aufwendigere Abscheidung erforderlich.

6.2 Schadstoffe bei der Verbrennung von Restholz

Wenn der Brennstoff Farben, Lacke, Holzschutzmittel oder sonstige Verunreinigungen enthält, kann das Abgas giftige Stoffe wie Chlor und Schwermetalle enthalten. Diese Schadstoffe sind weit giftiger als z.B. Kohlenmonoxid oder Aschepartikel aus naturbelassenem Holz. Da Spanplatten und verleimte Holzwerkstoffe stickstoffhaltige Bindemittel wie z.B. Harnstoff enthalten, führt die Verbrennung von Restholz ausserdem zu erhöhten Stickoxidemissionen. Die wichtigsten zusätzlichen Schadstoffe aus Restholzfeuerungen sind: Pb, Zn, Cd, NO_x, Chlor- und Fluorverbindungen. Der Staub aus Restholzfeuerungen kann folgende Stoffe enthalten: Teer- und Russ-Partikel, Asche, Pb, Zn, Cd.

Konsequenzen für die Restholznutzung

In einer Restholzfeuerung dürfen nur Holzreste eingesetzt werden, welche keine massgeblichen Gehalte an Chlor und Schwermetallen aufweisen (Kapitel 5). Insbesondere darf kein Altholz (z.B. Abbruchholz und Holz aus dem Sperrgut) eingesetzt werden, da Altholz verunreinigt ist und bei dessen Verbrennung erhöhte Anforderungen an die Abgasreinigung gestellt werden. Im weiteren dürfen keine PVC-Beschichtungen und keine imprägnierten Materialien wie Telefonmasten, Eisenbahnschwellen oder Gartenzäune verbrannt werden. Dieses Material darf auch in Altholzfeuerungen nicht verbrannt werden, sondern muss in Kehrichtverbrennungsanlagen entsorgt werden.

Bei der Verbrennung von Restholz muss aufgrund der Zusammensetzung und der Anlagengrösse abgeklärt werden, welche Anforderungen die Abgasreinigung erfüllen muss. Erhöhte Anforderungen werden insbesondere in folgenden Fällen gestellt:

- Restholz mit erhöhtem Stickstoffgehalt:

Sofern der Stickoxidmassenstrom 2.5 kg/h überschreitet, ist ein Grenzwert von 250 mg/m³ einzuhalten. Bei einem für Restholz typischen NO_x-Gehalt von 500 mg/m³ trifft dies bei einer Anlagengrösse ab ca. 2.5 MW zu.

Konsequenz:

Denox-Verfahren zur Abgasentstickung (Kapitel 6.5).

- Ammoniumchlorid oder Chlor und Stickstoffverbindungen im Brennstoff:

Chlor kommt im naturbelassenen Holz nur in Spuren vor, so dass in der Regel keine erhöhten Emissionen auftreten. Dagegen ist Chlor Hauptbestandteil von PVC, weshalb in Restholzfeuerungen keine PVC-beschichteten Spanplatten eingesetzt werden dürfen.

Chlor kann jedoch auch z.B. in gewissen Sortimenten von Spanplatten selbst vorhanden sein. Bei der Verbrennung solcher Materialien kann aus Chlor und Stickstoff aus dem Holz und aus dem Leim Ammoniumchlorid (NH_4Cl) gebildet werden. Im weiteren kann Ammoniumchlorid auch im Restholz selbst enthalten sein, da es z.B. als Härter in MDF-Spanplatten eingesetzt wird. Bei einer erhöhten Konzentration von Ammoniumchlorid im Abgas kann der Staubgrenzwert überschritten werden. Beim Einsatz eines Gewebe- oder Keramikfilters kann Ammoniumchlorid zudem zum Verkleben des Filters führen, da Ammoniumchlorid beim Anfahren und Abstellen der Anlage auskristallisieren kann.

Konsequenzen:

Chlorabscheidung, z.B. durch Einsatz eines Gewebefilters mit Kalkzugabe. Vermeidung von Verkleben z.B. durch elektrische Beheizung des Filters beim Anfahren.

Besser:

Vermeidung von Chlor und Chlorverbindungen im Brennstoff, Verwendung von Ersatzprodukten von Ammoniumchlorid als Härter (z.B. Ammoniumsulfat).

6.3 Feuerraumgestaltung

Konstruktive Anforderungen an eine gute Holzfeuerung.

Grundvoraussetzung für eine gute Verbrennung ist, dass die brennbaren Gase bei hoher Temperatur vollständig ausbrennen. Dazu muss die Brennkammer ausreichend gross sein und sie darf keine Abschreckung der Flamme durch kalte Wände bewirken. Um eine hohe Verbrennungstemperatur zu erzielen, muss zudem das Verhältnis von Brennstoff und Luft korrekt eingestellt sein, d.h. die Feuerung muss bei optimalem Luftüberschuss betrieben werden. Im weiteren führt die Verwendung von feuchtem Brennstoff zu einer tieferen Verbrennungstemperatur. Feuchtes Material darf deshalb nur in speziell ausgelegten Feuerungen eingesetzt werden.

Damit die brennbaren Gase in der Brennkammer ausbrennen, müssen sie mit der Verbrennungsluft in Kontakt kommen. Die Luft muss deshalb gut mit den brennbaren Gasen vermischt werden, wozu eine hohe Strömungsgeschwindigkeit oder konstruktive Vermischungseinrichtungen notwendig sind.

Um die Voraussetzungen für einen vollständigen Ausbrand zu erreichen, werden die Feststoffvergasung und die Verbrennung der Gase in der Feuerung örtlich getrennt. Dazu wird im Glutbett Primärluft zugeführt und anschliessend werden die Gase mit Sekundärluft vermischt, so dass sie in einer ungestörten Flamme in der Brennkammer vollständig ausbrennen.

Merkmale einer guten Holzfeuerung

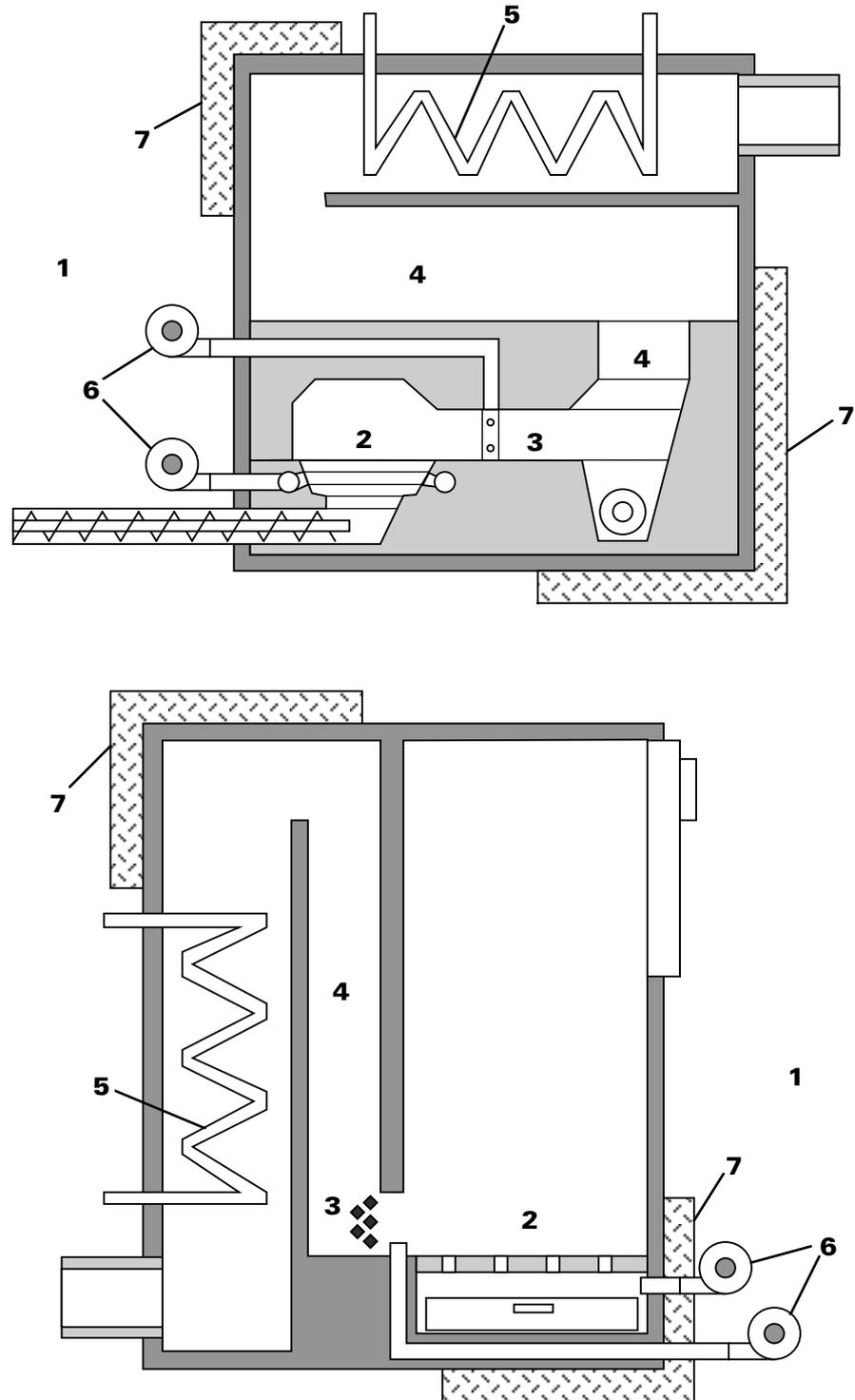


Abbildung 6.4:

- 1 Luftdichte Konstruktion von Feuerung und Kaminanschluss.
- 2 Heisse Vergasungszone mit Zufuhr von Primärluft zur Holzvergasung und zum Ausbrand der Holzkohle.
- 3 Gute Vermischung der brennbaren Gase mit der Sekundärluft. Um hohe Strömungsgeschwindigkeiten zu erzielen wird z.B. der Brennraumquerschnitt beim Eindüsungsort verengt.
- 4 Heisse Nachbrennkammer zum vollständigen Ausbrand der Gase. Die Flamme darf nicht an gekühlten Wänden abgeschreckt werden.
- 5 Wärmeabgabe im Wärmeübertrager nach der Brennkammer.
- 6 Ventilator zur Förderung der Verbrennungsluft.
- 7 Gute Wärmedämmung zur Verminderung der Strahlungsverluste.

6.4 Betrieb und Regelung von Restholzfeuerungen

Ein emissionsarmer Betrieb ist möglich, wenn die Holzfeuerung lange stationäre Betriebsphasen aufweist. Im weiteren muss der Brennstoff bezüglich Feuchtigkeit und Stückgröße der Feuerung angepasst sein. Die Feuerung muss zudem bei optimaler Lufteinstellung betrieben werden. Die Voraussetzungen für eine gute Betriebsweise sind damit:

- Gute Einbindung der Feuerung in das Heizungssystem, so dass die Feuerung stationär betrieben werden kann und Vermeidung von Überdimensionierung.
- Leistungsregelung oder Wärmespeicher für konstante Betriebsweise. Für handbeschickte Feuerungen ist ein Wärmespeicher vorgeschrieben, sofern keine Leistungsregelung vorhanden ist.
- Verwendung eines geeigneten Brennstoffs (Feuchtigkeit, Stückgröße).
- Verbrennungsregelung zur Gewährleistung des optimalen Brennstoff/Luft-Verhältnisses.

Unterdruckregelung

Die Unterdruckregelung dient zur Gewährleistung eines konstanten Unterdrucks im Feuerraum und verhindert das Austreten brennbarer und giftiger Gase in den Heizungsraum. Sie ermöglicht zudem das Einhalten konstanter Bedingungen unabhängig vom Kaminzug. Ein konstanter Unterdruck dient ausserdem der Grobeinstellung der gewünschten Leistung und Verbrennungsluftmenge.

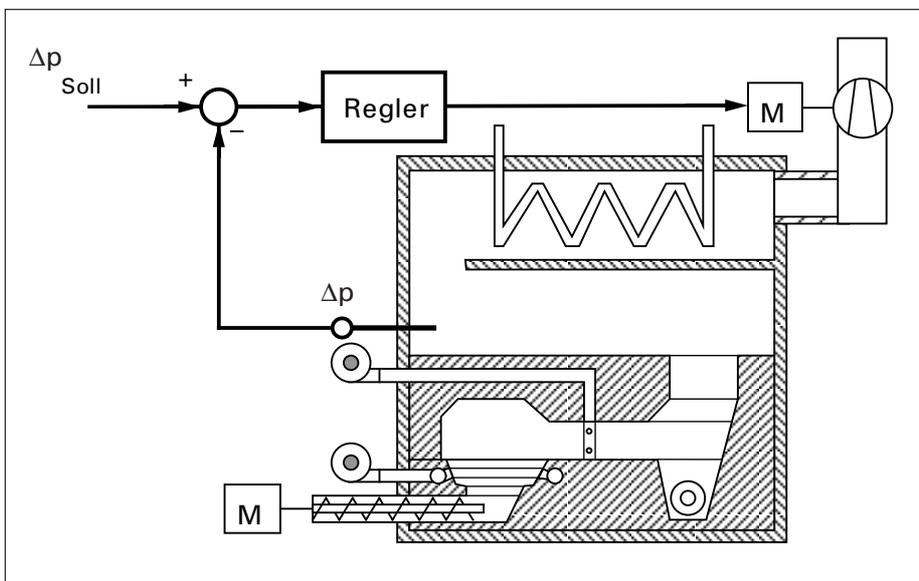


Abbildung 6.5:
Unterdruckregelung: Messung des Feuerraumunterdrucks und Regelung des Abgasventilators zur Konstanthaltung des Unterdrucks

Leistungsregelung

Automatische Feuerungen verfügen in der Regel über eine Leistungsregelung, welche einen zwei- oder mehrstufigen Betrieb ermöglicht. Die Brennstoffzufuhr und die Verbrennungsluft werden z.B. für 100%, 80% und 60% der Nennlast fest eingestellt. Ein Regler überwacht die Kesseltemperatur und schaltet nach Bedarf von einer Stufe zur nächsten. Mit einer Leistungs-

regelung kann der Wirkungsgrad erhöht werden, da die Verluste durch Auskühlen der Feuerung sowie die Strahlungs- und Abgasverluste vermindert werden.

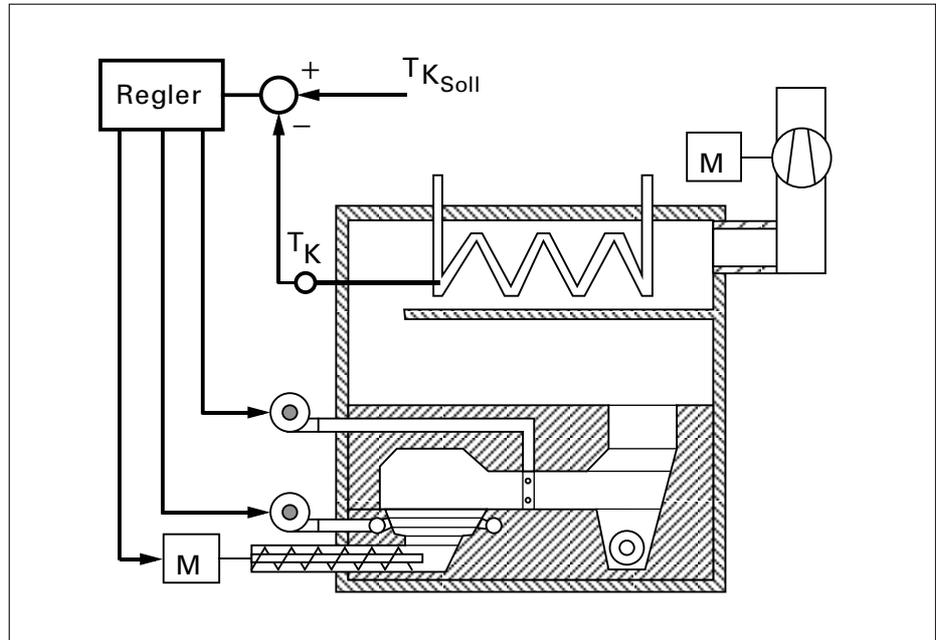


Abbildung 6.6:
Leistungsregelung: Messung der Kesseltemperatur T_K (Vorlauftemperatur des Wassers) und Regelung der Brennstoff- und Luftmenge in Abhängigkeit des Wärmebedarfs

Verbrennungsregelung (Lambda- und Temperatur-Regelung)

Die Verbrennungsregelung ist eine Ergänzung zur Unterdruck- und Leistungsregelung und dient zur Gewährleistung einer hohen Ausbrandqualität. Eine gute Verbrennung wird bei einer Holzfeuerung nur bei einem optimalen Brennstoff/Luft-Verhältnis erzielt.

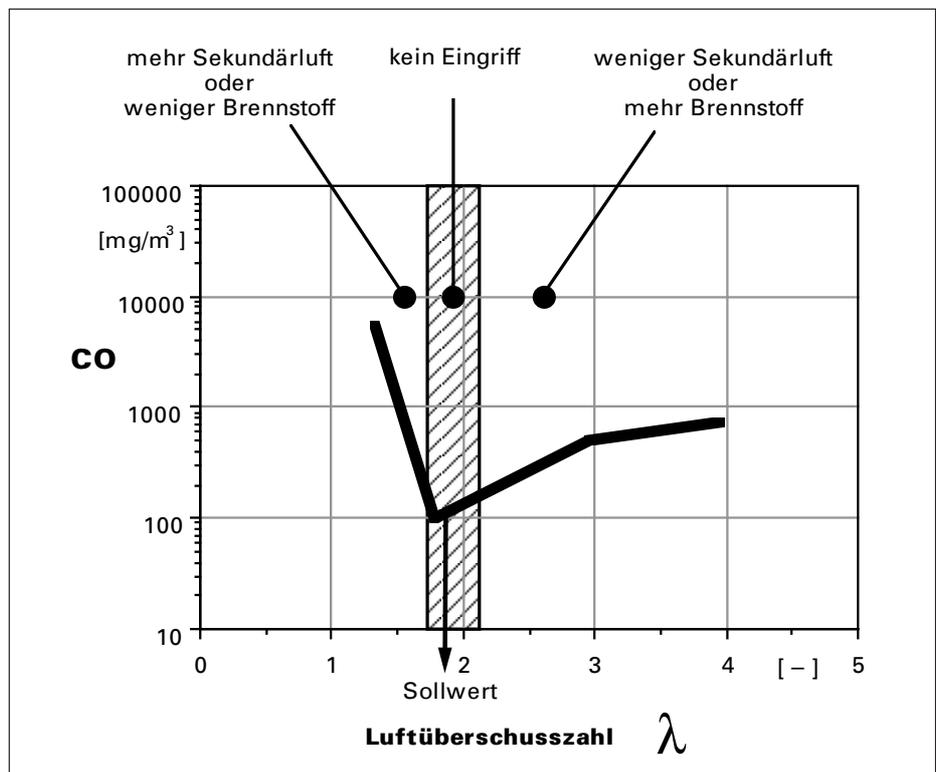


Abbildung 6.7:
Funktionsprinzip der Verbrennungsregelung: Regelung der Sekundärluft oder der Brennstoffzufuhr.

Da sich die Brennstoffeigenschaften wie Schüttdichte, Feuchtigkeit, Holzart usw. verändern können, sollte die Anlage bei jeder Brennstoffänderung neu einreguliert werden. Da dies in der Praxis kaum möglich ist, werden automatische Feuerungen mit einer Verbrennungsregelung ausgestattet, welche die Verbrennung überwachen und optimal einregulieren. Heute kommen vor allem die Temperatur- oder die Lambda-Regelung mit folgender Funktion zum Einsatz:

Temperatur-Regelung

Messung der Flamm- bzw. Feuerraumtemperatur. Bei zu tiefer Temperatur wird die Brennstoffmenge erhöht, bei zu hoher Temperatur vermindert.

Lambda-Regelung

Messung des Luftüberschusses z.B. mittels Lambda-Sonde und Regelung der Brennstoffmenge sowie allenfalls zusätzliche Feinregulierung der Sekundärluft.

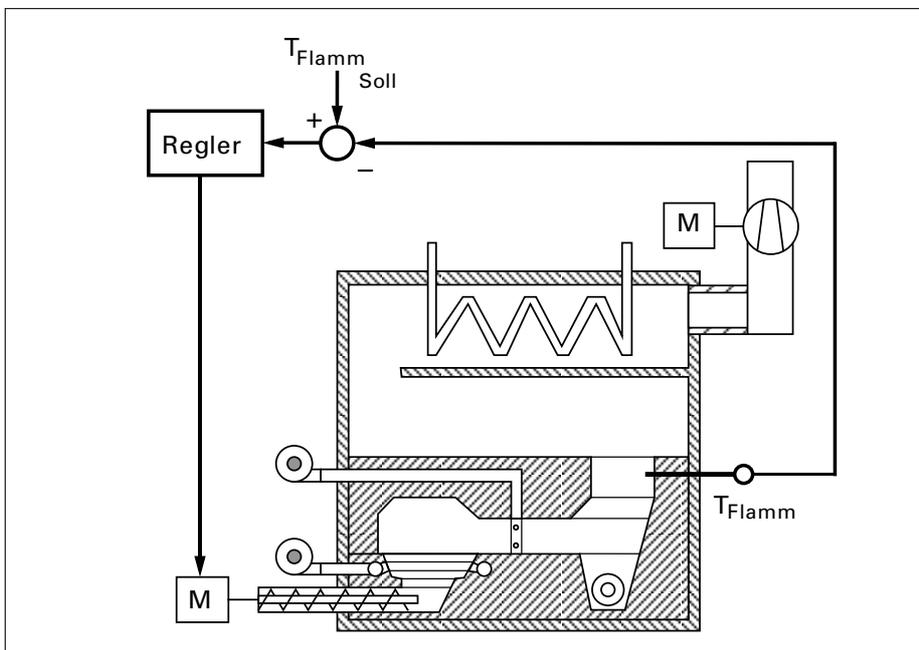


Abbildung 6.8:
Temperatur-Regelung

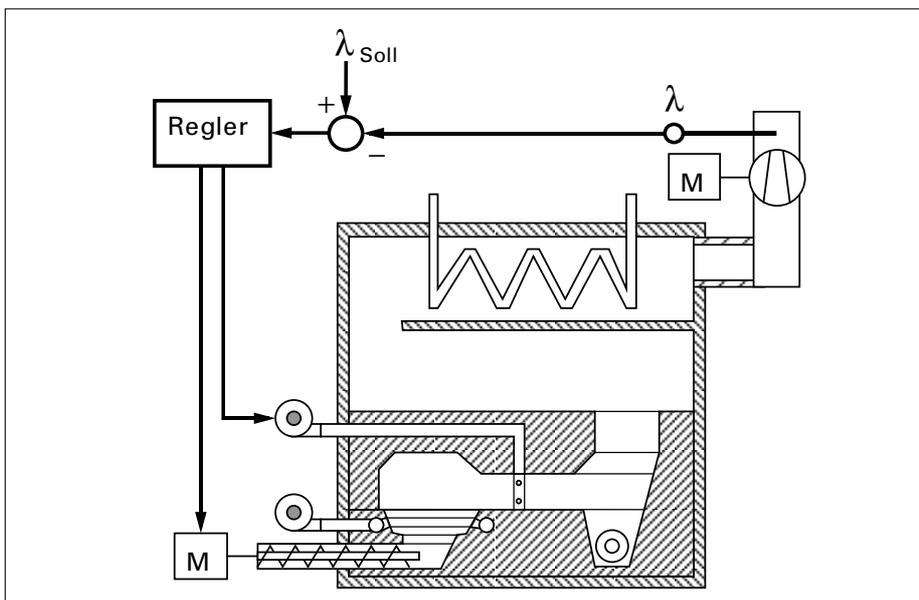


Abbildung 6.9:
Lambda-Regelung

6.5 Abgasreinigung

Restholz kann zahlreiche Quellen von Verunreinigungen enthalten:

- Steine, Sand
- Nägel, Schrauben
- Leime
- Härter
- Farben, Lacke, Holzschutzmittel
- Beschichtungen usw.

Diese Verunreinigungen können zu folgenden Schadstoffen führen:

- Staub
- Schwermetalle
- Stickoxide (NO_x)
- Salzsäure (HCl)
- Ammoniumchlorid
- bei schlechter Verbrennung: Kohlenwasserstoffe.

Je nach Sortiment und Zusammensetzung ist für Restholz deshalb eine weitergehende Abgasreinigung erforderlich. In Frage kommen Verfahren zur Staub- und Schwermetallabscheidung, zur HCl -Abscheidung und allenfalls zur Stickoxidminderung.

Staub- und Schwermetallabscheidung

Die Staubemissionen bei der Verbrennung von naturbelassenem Holz setzen sich zusammen aus Aschepartikeln sowie Russ und unverbrannten Stoffen. Der Russ kann durch eine vollständige Verbrennung vermieden werden. Bei der Verbrennung von Restholz können zudem folgende Stoffe als Staub- bzw. Feststoffemissionen auftreten:

- Schwermetalle wie Blei, Zink, Cadmium, sofern der Brennstoff z.B. Farben oder Holzschutzmittel mit diesen Stoffen enthält.
- Feststoffe in Form von Salzen wie z.B. Ammoniumchlorid.

Die Schwermetalle können mit einer leistungsfähigen Staubabscheidung weitgehend zurückgehalten werden. Da für Schwermetalle jedoch ein strenger Grenzwert gültig ist, ist eine aufwendigere Staubabscheidung als bei naturbelassenem Holz notwendig. Der Schwermetallgrenzwert wird in der Regel eingehalten, wenn ein Staubgehalt von 10 mg/m^3 eingehalten wird. Dazu ist der Einsatz von Elektro-, Gewebe- oder Keramikfiltern erforderlich, die Anwendung eines Zyklons reicht dagegen nicht aus.

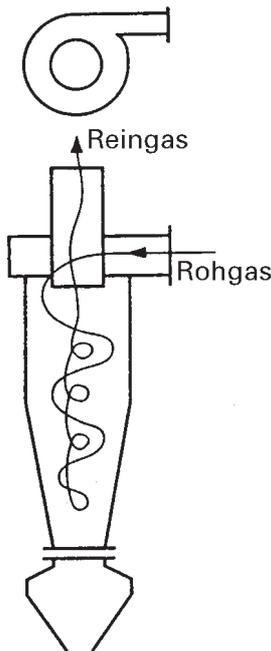


Abbildung 6.10:
Zyklonfilter

Zyklon

Abscheideprinzip: Durch eine Rotationsbewegung werden die Staubpartikel zur Aussenwand des Zyklons geschleudert, wo sie in den Staubbehälter absinken. Das vom Staub gereinigte Gas wird durch ein zentrales Rohr abgeführt. Der Entstaubungsgrad eines Zyklons hängt ab von der Grösse und Dichte der Partikel, von der Geometrie und vom Druckverlust über den Zyklon.

Die Abscheidewirkung von Zyklonen ist begrenzt. Je nach Körnung und Staubart können Partikel ab ca. 2 bis 5 mm abgeschieden werden. Typische Reingaswerte bei Holzfeuerungen liegen im Bereich von $50\text{--}200 \text{ mg/m}^3$. Wichtig für ein einwandfreies Funktionieren ist die Dichtheit des Zyklons und der Staubaustragung, da durch Falschluff die Abscheideleistung vermindert wird. Der Staubgrenzwert von 150 mg/m^3 kann bei unproble-

matischen Brennstoffen in einer guten Holzfeuerung mit Zyklon in der Regel eingehalten werden. Da Zykclone kostengünstig sind, sind sie das wichtigste Staubabscheidungsverfahren für Holzfeuerungen bis zu 5 MW. Der Einsatz von Zyklonen genügt jedoch nicht, wenn aufgrund eines hohen Feinanteils im Brennstoff, z.B. bei Schleifstaub, die Abscheidewirkung unzureichend ist.

Elektrofilter

Abscheideprinzip: In einem starken elektrischen Feld werden die Staubteilchen negativ aufgeladen und wandern zu der positiv geladenen Niederschlagselektrode. Dort bleiben sie haften und werden durch eine mechanische Klopfleinrichtung abgereinigt.

Mit einem Elektrofilter können Staubwerte von 5–20 mg/m³ erreicht werden. Der Grenzwert von 50 mg/m³ für Holzfeuerungen > 5 MW kann damit eingehalten werden. Elektrofilter haben im Vergleich zu Gewebefiltern einen geringen Druckverlust und sie sind unempfindlich gegen Funken. Nachteilig sind der grosse Platzbedarf und die hohen Kosten.

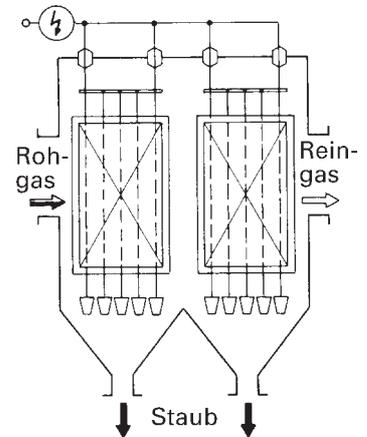


Abbildung 6.11:
Elektrofilter

Gewebefilter (Tuchfilter) und Keramikfilter

Abscheideprinzip: Die staubhaltigen Gase strömen durch eine poröse Gewebe- oder Filzschicht, so dass der Staub abgetrennt wird und sich an der Filterschicht ablagert. Der Staub wird periodisch vom Filter abgereinigt, was durch Rückspülen mit gereinigtem Abgas oder mit Druckluft geschieht. Durch Zugabe von Kalk kann mit dem Staub zusammen gleichzeitig auch Salzsäure (HCl) abgeschieden werden.

Als Filtermaterial werden einerseits Gewebe- oder Fliesstoffe eingesetzt, die Filter werden dann als Gewebe- oder Tuchfilter bezeichnet. Daneben werden anorganische Fasern aus Keramik und Metall eingesetzt, die Abscheider werden dann als Keramik- oder Metallfilter bezeichnet.

Je nach Filterart und Staubzusammensetzung können Reingaswerte von 2–20 mg/m³ erreicht werden. Die zulässige Abgastemperatur wird durch die Wahl des Filtermaterials begrenzt. Gewebefilter können bis maximal ca. 250 °C eingesetzt werden, während die zulässige Gastemperatur bei Keramikfiltern ca. 450 °C beträgt.

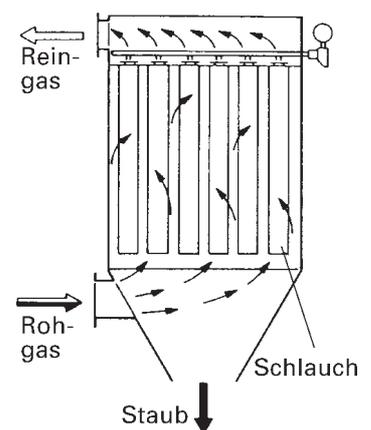


Abbildung 6.12:
Gewebefilter

Nasswäscher

Abscheideprinzip: Der Staub wird mit den Tropfen der Waschflüssigkeit verwirbelt, so dass auch kleine Staubteilchen in einem Abscheider zurückgehalten werden. Da Holzasche schlecht benetzend ist, sind Nasswäscher allerdings nur bedingt geeignet zur Staubabscheidung bei Holzfeuerungen. Dagegen kann mit einem Nasswäscher z.B. Salzsäure abgeschieden werden. Allerdings ist dann eine Aufbereitung der Waschflüssigkeit erforderlich. Wegen der Notwendigkeit der Wasseraufbereitung und der beschränkten Abscheideleistung von Holzasche sind Nasswäscher für Restholzfeuerungen nur von untergeordneter Bedeutung.

Abscheidung von Salzsäure

Chlor aus dem Brennstoff kann im Abgas unter anderem als Salzsäure vorliegen, welche z.B. mit Kalk in einem Gewebefilter abgeschieden werden kann.

Salzsäure kann aber auch in einer basischen Flüssigkeit in einem Nasswäscher abgeschieden werden. Da das Waschwasser aufbereitet werden muss, ist der Einsatz bei Restholzfeuerungen selten.

Stickoxidminderung

Die Stickoxide von Holzfeuerungen stammen im wesentlichen aus dem im Holz gebundenen Stickstoff. Da Restholz Stickstoff aus dem Leim enthält, sind die Stickoxidemissionen höher als bei naturbelassenem Holz. Die Luftreinhalte-Verordnung schreibt einen Stickoxidgrenzwert von 250 mg/m^3 vor, sofern der Stickoxid-Massenstrom $2'500 \text{ g/h}$ übersteigt (Anhang A5). Bei der Verbrennung von Spanplattenresten mit einem Stickoxidwert von ca. 500 mg/m^3 ist damit ab einer Feuerungsleistung von ca. 2.5 MW eine Abgasentstickung erforderlich. In diesem Fall bieten sich folgende Massnahmen an:

- Stickoxidreduktion durch Eindüsen von Ammoniak oder Harnstoff in den heissen Brennraum bei $850\text{--}950 \text{ }^\circ\text{C}$. Da eine heisse Kammer zur Stickoxidreduktion erforderlich ist, ist dieses Verfahren vor allem für Neuanlagen geeignet.
- Stickoxidreduktion durch Eindüsen von Ammoniak oder Harnstoff in das Abgas nach dem Kessel und Reaktion in einem Katalysator bei $250\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$. Dieses Verfahren ist auch für eine Nachrüstung bestehender Anlagen geeignet.

7 Wie kann der Energieverbrauch reduziert werden?

7.1 Stromverbrauch

Begriffe / Energiepreise

Wirkenergie wird benötigt, um Motoren anzutreiben, elektrisches Licht zu erzeugen und Heizgeräte zu betreiben. Die elektrische Energie wird durch Umwandlung in eine andere Energieform sichtbar wirksam. Sie wird mit dem normalen Zähler des Elektrizitätswerkes gemessen. Die Grundeinheit ist Kilowattstunde [kWh]. Als Beispiel: Ein Heizofen mit 1 kW Leistung, der 2 Stunden lang betrieben wird, benötigt 2 kWh Energie.

Blindenergie wird vor allem von Motoren, Transformatoren und Kondensatoren aufgenommen, um damit ein elektromagnetisches Feld aufzubauen. Diese Energie kann nur mit einem speziellen Zähler gemessen werden (daher Blindenergie). Sie belastet jedoch wie die Wirkenergie die Übertragungsleitungen der Elektrizitätswerke. Grundeinheit = Kilovarstunde [kVarh].

Spitzenleistung nennt man den Höchstwert an bezogener Wirkenergie pro Zeiteinheit. Der EW-Zähler misst laufend die Leistung (aller momentan angeschlossenen Verbraucher) und speichert alle 15 Minuten einen Mittelwert ab. Der höchste aller dieser Werte pro Monat wird dann in Rechnung gestellt. Grundeinheit = Kilowatt [kW].

Zusammensetzung einer Stromrechnung

Die Elektrizitätswerke verrechnen nicht einfach nur Strom. Die Rechnung setzt sich aus fixen Kosten (Grundgebühr, Zählermiete) und variablen Kosten für den Bezug von Blind- und Wirkenergie sowie der Spitzenleistung zusammen. Die Tarife sind von Werk zu Werk verschieden und werden saisonal angepasst (Sommer-/Wintertarif). Für den Tages- und Nachtstrom werden ebenfalls verschiedene Tarife angewendet.

Größenordnung der Tarife:

| | | |
|-----------------|---------|------------------|
| Wirkenergie | 1 kWh | 4,4 – 22 Rp. |
| Blindenergie | 1 kVarh | 2,5 – 6 Rp. |
| Spitzenleistung | 1 kW | 5 – 15 Fr./Monat |

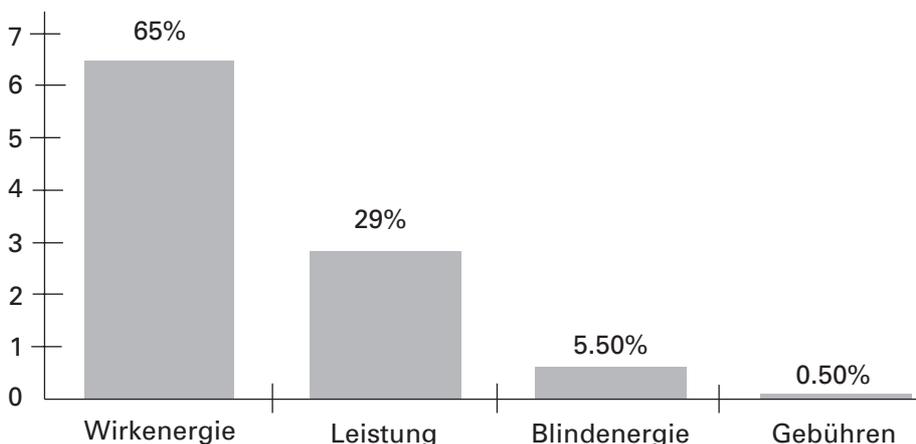


Abbildung 7.1:
Zusammensetzung einer
Stromrechnung

Verbrauchsstruktur

Es sind bereits einige Schreinereien bezüglich ihres Energiebedarfs untersucht worden. Es erstaunt nicht, dass die Bearbeitungsmaschinen die grösste Verbrauchergruppe darstellt. Interessant ist jedoch die Erkenntnis, dass die Absauganlagen, Druckluftanlagen und Beleuchtungen im gleichen Masse am Energieverbrauch beteiligt sind. Die in nachfolgender Grafik aufgezeigten Verbrauchsanteile der einzelnen Gruppen können je nach Struktur des Betriebes variieren. Als Übersicht sowie als Anhaltspunkt zur Bestimmung von Sanierungsschwerpunkten sind sie jedoch allgemein gültig.

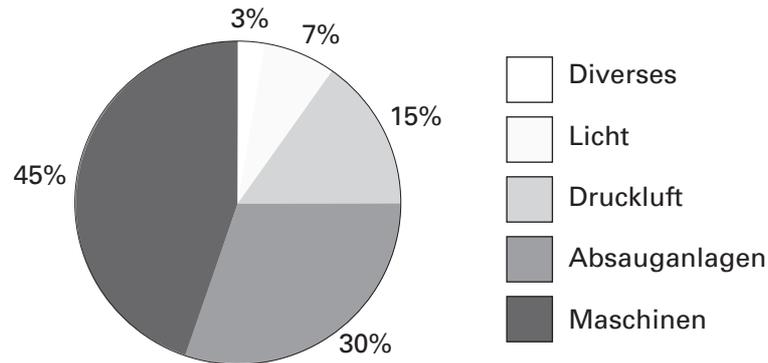


Abbildung 7.2: Stromverbrauchsstruktur

Möglichkeiten zur Senkung der Stromkosten

Benutzerverhalten

Die Bearbeitungsmaschinen stellen in der Regel die grösste Verbrauchergruppe dar. Wie lässt sich nun in diesem Bereich Energie sparen? Das technische Sparpotential (z.B. bessere Motoren) ist meist gering. Zudem sind die heutigen Maschinen komplexe Anlagen, das heisst, es ist nicht sinnvoll und wirtschaftlich, Änderungen vorzunehmen. Jedoch ist bei Neuanschaffungen der energieoptimierten Ausführung vermehrt Beachtung zu schenken.

Die wirtschaftlichste Massnahme stellt das energiebewusste Verhalten der Mitarbeiter dar. Einsparungen bis zu 10% lassen sich so ohne Investitionen erzielen. Es soll zur Selbstverständlichkeit werden, dass jedes elektrische Gerät nur dann eingeschaltet ist, wenn es wirklich gebraucht wird. Das Ein- und Ausschalten in vernünftiger Masse beeinflusst die Lebensdauer nur unwesentlich. Da die Hochlaufzeit der Maschinen kurz ist (< 5 Sekunden), fällt der Anlaufstrom für den Energieverbrauch praktisch nicht ins Gewicht.

Blindstromkompensation

Da in holzverarbeitenden Betrieben eine grosse Anzahl Bearbeitungsmaschinen und damit Elektromotoren installiert sind, wird in der Regel viel Blindenergie verbraucht. Das Elektrizitätswerk installiert deshalb einen separaten Zähler, wonach die induktive Blindenergie erfasst und verrechnet wird. Dieser induktiven Blindenergie kann mit einer speziellen Einrichtung eine entgegengesetzt wirkende Blindenergie zugeschaltet werden (Fachwort: kapazitive Blindenergie). Sind beide Energien gleich gross, so heben sie sich gegenseitig auf und es wird somit keine Blindenergie mehr bezogen. Die dazu notwendige Anlage nennt man Blindleistungskompensation. Sie zeichnen sich durch kurze Amortisationszeiten aus (< 3 Jahre).

Druckluftaufbereitung

Vielfach ist sich der Betreiber nicht bewusst, dass Druckluft eine teure Energieform ist. In der Regel werden Druckluftanlagen in ca. 8 Jahren

abgeschrieben. Anders als bei anderen Verbrauchern schlagen die Energiekosten stark ins Gewicht, wie nachstehende Aufstellung zeigt:

| | Kolbenkompressor | Schraubenkompressor |
|---------------|------------------|---------------------|
| Festkosten | 49% | 53,5% |
| Unterhalt | 16% | 7,5% |
| Energiekosten | 35% | 39,0% |

Die Gesteungskosten pro erzeugtem Kubikmeter Druckluft (durchschnittlich 10 bar) bewegen sich zwischen 5–12 Rappen.

Die grössten Einsparungen können erreicht werden mit der:

- richtigen Planung (Dimensionierung) von Neuanlagen
- Abschaltung nachts, über Mittagszeit und Wochenende
- Minimierung der Leckverluste (10–15%)
- Ausnutzung der Wärmeverluste des Kompressors z. B. zur Aufheizung eines Warmwassererwärmers.

Beleuchtungsanlagen

Der Anteil des Lichtes am Energieverbrauch wird vielfach unterschätzt. Durch die meist grosse Anzahl installierter Leuchten mit einer langen Betriebszeit stellt das Licht jedoch einen grossen Verbraucher dar. Entgegen einer verbreiteten Meinung lohnt es sich, das Licht auch bei kurzen Pausen abzuschalten. Die heutigen Leuchten nehmen dabei keinen Schaden. Welche Massnahmen können ergriffen werden?

- Gute Planung von Neuanlagen (richtiges Licht am richtigen Ort).
- Konsequentes Ausschalten bei Nichtgebrauch.
- Grössere Räume mit einer tageslichtabhängigen Abschaltautomatik ausrüsten.
- Durchgangszonen und sporadisch benutzte Räume mit Zeitschaltern oder Bewegungsmeldern ausstatten.

Senkung der Spitzenleistung

Für die Beurteilung ist die Aufnahme eines Tagesverlaufes, wie die nachfolgende Grafik zeigt, unumgänglich. Ein entsprechendes Messgerät wird in der Regel durch das EW gegen eine geringfügige Gebühr zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, die höchsten Spitzen dieser Kurve zu brechen. Dies lässt sich mit einem Leistungsbegrenzer erreichen. Dieses Gerät misst laufend die Gesamtstromaufnahme und schaltet vor Erreichen eines wählbaren Leistungshöchstwertes Maschinen und Geräte zweiter Priorität ab.

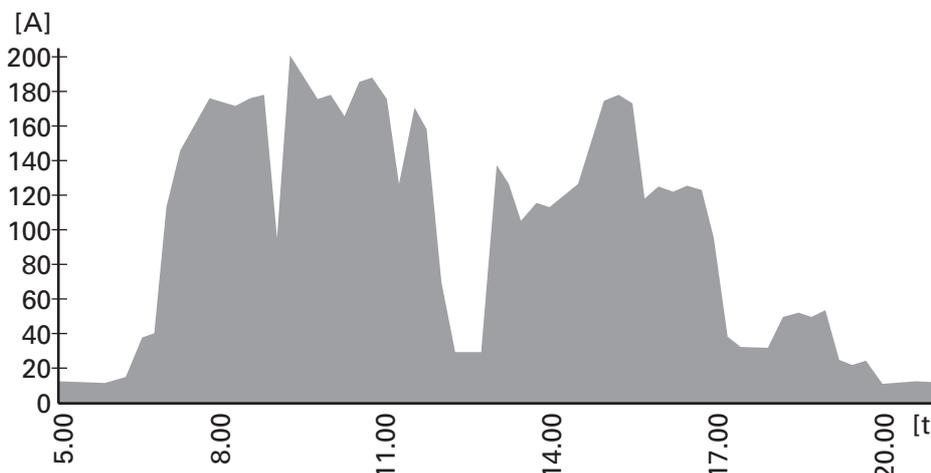


Abbildung 7.3:
Stromspitzen im Tagesverlauf

Geeignet sind Verbraucher wie:

- Elektroheizungen / Warmwassererwärmer
- Lüftungen / Pumpen
- Furnierpressen / Trocknungsöfen
- Restholzerhacker

Späneabsauganlagen

Späneabsauganlagen verursachen nebst den Bearbeitungsmaschinen die grössten Energiekosten. Nach der heute üblichen Methode werden die Absaugventilatoren auf ca. 60% der vollen Absaugleistung (alle Maschinen gleichzeitig in Betrieb) dimensioniert. Diese angenommene Absaugleistung ist nun in der Praxis sehr selten erforderlich. Da die Handschieber bei den Maschinen meist offen bleiben, müssen die Ventilatoren zudem unnötig viel Luft transportieren. Je mehr Luft transportiert werden muss, desto mehr Energie ist dazu notwendig. Der Energieaufwand nimmt bei steigender Luftmenge in der dritten Potenz zu (vergleichbar mit dem Luftwiderstand beim Autofahren). Es drängen sich deshalb energieoptimierte Anlagen auf, die sich durch folgende Merkmale auszeichnen:

- Das Rohrsystem ist an einigen wichtigen Hauptstellen mit automatischen Schiebern ausgerüstet. Diese Schieber sind nur offen, wenn mindestens 1 Maschine des betreffenden Stranges in Betrieb ist.
- Der Absaugventilator ist nur in Betrieb, wenn mindestens eine Maschine läuft.
- Der Absaugventilator ist mit einem Drehzahlregler ausgestattet, der die Menge der abgesaugten Luft regelt, in Abhängigkeit der gleichzeitig laufenden Maschinen.

Je nach Anlagengrösse und deren Betriebszeit lassen sich so bis zu 40% der Anlagen-Energiekosten vermeiden.

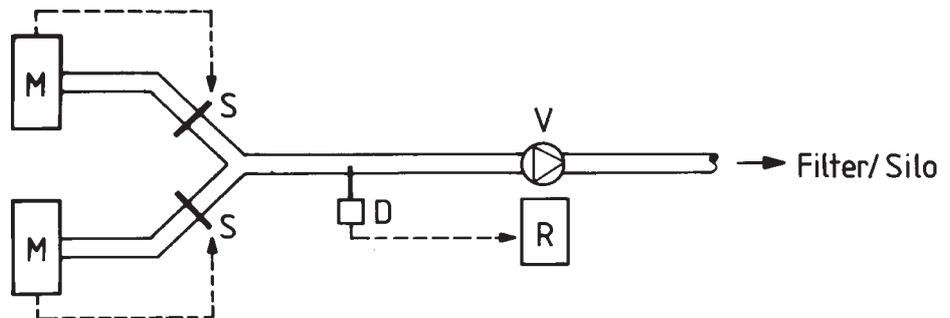


Abbildung 7.4:
Optimiertes Absaugsystem

- M Maschinen
- S Schieber
- D Druckfühler
- V Absaugventilator
- R Drehzahlregler

Sanierungsbeispiel einer Absauganlage

Anhand des nachstehenden Beispiels soll gezeigt werden, in welcher Grössenordnung sich Investitionen und Einsparungen bei einer mittleren Schreinerei bewegen.

Anlagendaten:

| | |
|------------------------------|----------|
| Absaugmotor | 37 kW |
| Anzahl Bearbeitungsmaschinen | 10 Stück |

Investitionen für Sanierungsmassnahme

Geräte:

| | |
|---------------------------------|--------------|
| Steuergerät Drehzahlregulierung | Fr. 12'100.– |
| Druckfühler | Fr. 800.– |
| Pneumatikschieber | Fr. 2'600.– |

Installationen:

| | |
|----------------------------------|--------------|
| Druckluftleitungen | Fr. 2'000.– |
| Montage Schieber und Druckfühler | Fr. 2'300.– |
| Elektroinstallationen | Fr. 6'000.– |
| Planungshonorar | Fr. 4'000.– |
| Total | Fr. 29'800.– |

Einsparungen

Durch die vorgängig beschriebenen Massnahmen konnten folgende Einsparungen erzielt werden:

| | | |
|-----------------------|--------------|-------------|
| Wirkenergie | (38'600 kWh) | Fr. 4'885.– |
| Leistung | (122 kW) | Fr. 935.– |
| Total Einsparung/Jahr | | Fr. 5'820.– |

Kosten/Nutzen

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| Kosten Sanierung | Fr. 29'800.– |
| jährl. Kosteneinsparung Elektrizität | Fr. 5'820.– |

Amortisationszeit ca. 5 Jahre

Diese Berechnungen basieren auf einem relativ günstigen Stromtarif im nationalen Vergleich (10,1 Rp./15,2 Rp. Nieder-/Hochtarif). Bei höheren Tarifen verbessert sich das Resultat noch weiter zugunsten des Betreibers.

7.2 Wärmerückführung

Späneabsauganlage

In vielen älteren Betrieben wird noch die gesamte Absaugluft der Späneabsauganlage via Silo ins Freie geführt. Die damit verbundenen Verluste können bis 50% der gesamten Heizenergie betragen. Die andere Hälfte geht über die Gebäudehülle verloren. Welche Massnahmen sind zu treffen:

Luftrückführung

Die Absauganlagen sind mit einer Luftrückführung auszurüsten. Bei günstigen Voraussetzungen kann die Luft vom Filter dem Silo direkt zurückgeführt werden.

Getrennte Absaug- und Transportluft

Bei einem getrennten Absaug- und Transportluftsystem kann der Energieaufwand insbesondere bei langen Distanzen erheblich vermindert werden, da eine viel kleinere Menge Luft für den Transport der Späne notwendig ist.

Weitere Vorteile:

- Kleinere Auslegung der Heizungsanlage bei Neuanlagen
- Weniger Zugluft im Winter
- Kleinere Dimensionierung des Transportrohres möglich
- Der Absaugventilator kann bedarfsabhängig reguliert werden.

Beispiel:

Bei einem grösseren Schreinereibetrieb konnte eine Luftmenge von 24'000 m³/h zurückgeführt werden. Dies entspricht einer Heizenergie-Einsparung von rund 155'000 kWh (entspricht dem Heizwert von ca. 200 m³ Späne/Holzstaub) pro Jahr, oder einer Verminderung der Heizleistung um 115 kW.

Gebäudehülle

Nach der ersten Sanierungsmassnahme (Luftrückführung) muss auch die Gebäudehülle überprüft werden bezüglich:

- Dichtungen von Fenstern und Türen
- Estrich-/Dach- und Wandwärmmedämmungen
- Wärmeschutzfenster
- allgemein undichten Stellen.

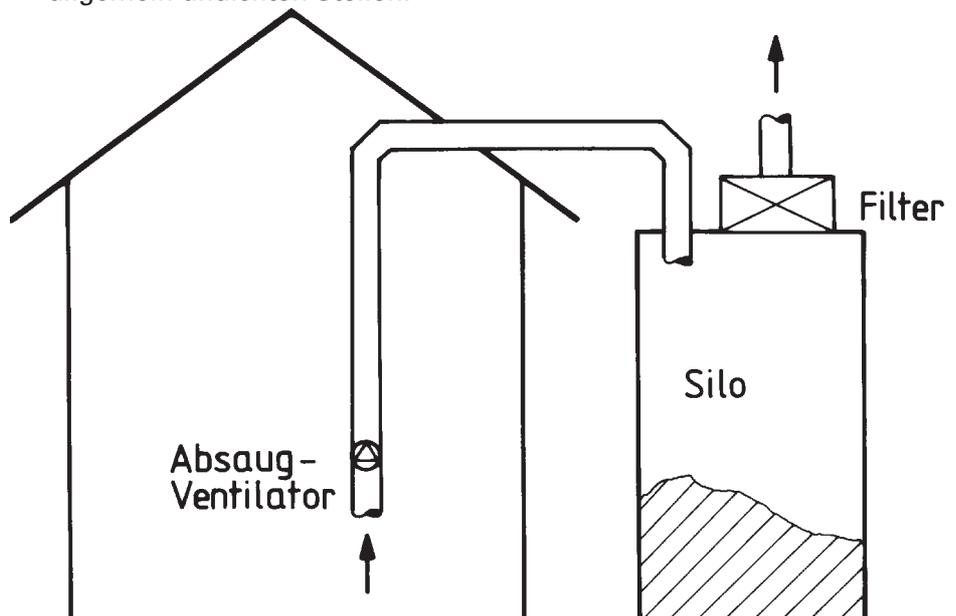


Abbildung 7.5:
Absauganlage ohne Luftrückführung

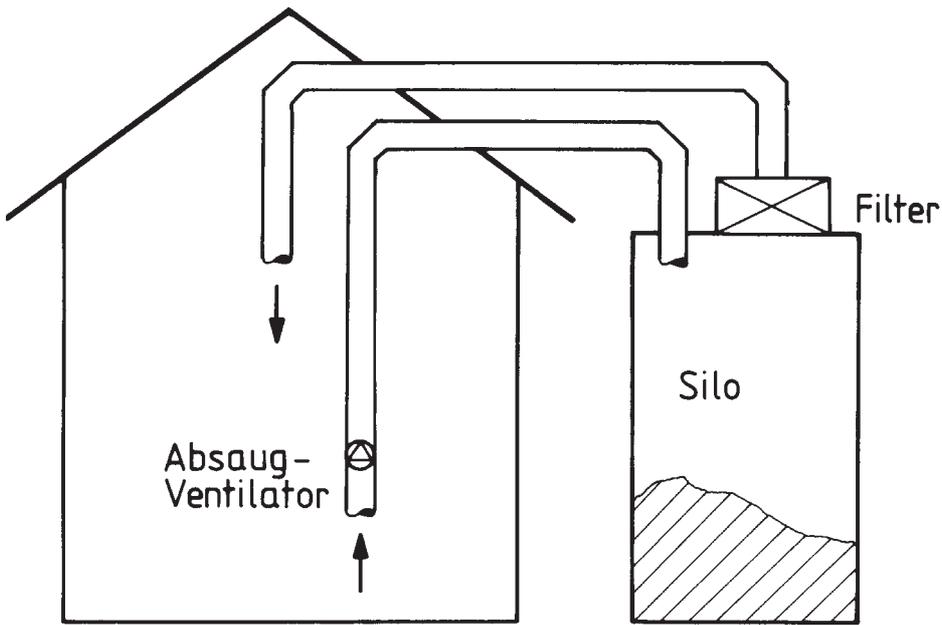


Abbildung 7.6:
Absauganlage mit Luftrück-
führung

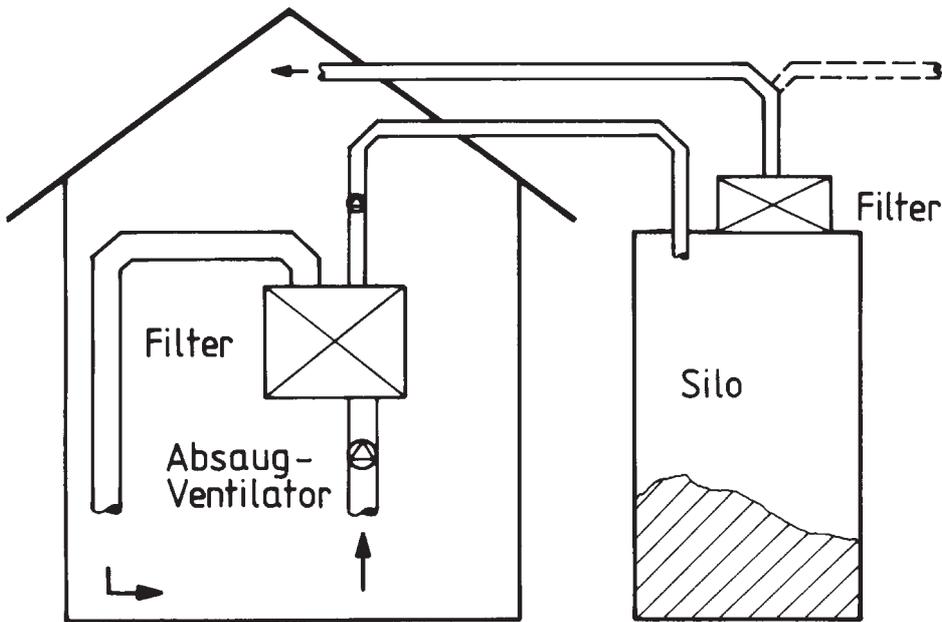


Abbildung 7.7:
Absauganlage mit Luftrück-
führung und getrenntem
Transport-/Absaugsystem

Anhang

A1 Abschätzen von Betriebsdaten für eine Anlagenauslegung 79

| | |
|-----------------------------------|----|
| I. Kesselleistung | 79 |
| II. Holzenergiebedarf | 80 |
| III. Energieinhalt des Restholzes | 80 |
| IV. Restholzbilanz | 81 |
| V. Lagervolumen | 81 |

A2 Fallbeispiel Kleinbetrieb 83

| | |
|---|----|
| 1 Ausgangslage | 83 |
| 2 Grundlagen | 83 |
| 3 Anlagendaten zur Wahl einer neuen Holzfeuerungsanlage | 83 |
| 4 Neue Holzfeuerungsanlage | 84 |
| Anlagendisposition Kleinbetrieb | 85 |

A3 Fallbeispiel mittlerer Betrieb 87

| | |
|---|----|
| 1 Ausgangslage | 87 |
| 2 Grundlagen | 87 |
| 3 Anlagendaten zur Wahl einer neuen Holzfeuerungsanlage | 88 |
| 4 Neue Holzfeuerungsanlage | 88 |
| 5 Spezielles | 89 |
| Anlagendisposition mittlerer Betrieb | 90 |

A4 Siloaustragungssysteme 91

A5 LRV-Grenzwerte für Holzbrennstoffe 95

A6 Diagramme und Tabellen (Kopiervorlagen) 97

| | |
|-------------------------------------|----|
| I. Diagramm Kesselleistung | 97 |
| II. Diagramm Holzenergiebedarf | 97 |
| III. Tabelle Energieinhalt Restholz | 98 |
| IV. Tabelle Restholzbilanz | 98 |
| V. Tabelle Lagervolumen | 98 |

A7 Wichtige Adressen 99

A8 Literaturverzeichnis 101

Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER 103

Abschätzen von Betriebsdaten für eine Anlagenauslegung

In diesem Kapitel wird ein stark vereinfachtes Vorgehen zur Ermittlung von Betriebsdaten aufgezeigt

Eine solche Abschätzung kann nur für Betriebe durchgeführt werden, die folgende Voraussetzungen erfüllen:

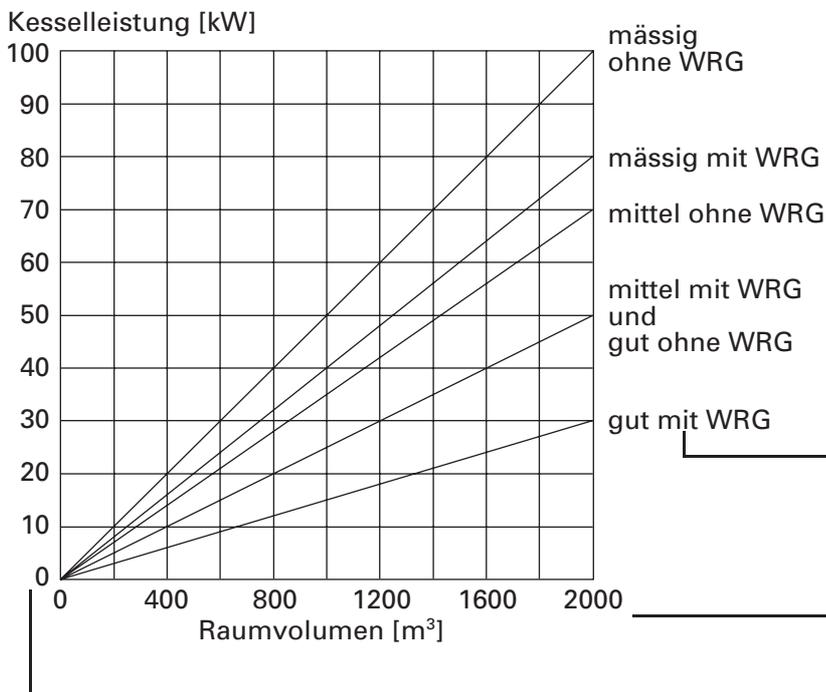
- Fast ausschliesslich nur Wärmebedarf für Raumheizung (Werkstatt, Büros, angeschlossene Wohnungen).
- Nur sporadischer Wärmebedarf für Spritzkabinen, welche bei tiefsten Aussentemperaturen nicht in Betrieb sein müssen.
- Kein Prozesswärmebedarf wie z. B. für Trockenkammern, Dämpfgruben usw.

Die genaue Dimensionierung einer neuen Feuerungsanlage muss unbedingt durch **entsprechende Fachleute** erfolgen.

Hinweis:

Die Kopiervorlagen zu den Diagrammen und Tabellen sind im Anhang A6.

I. Diagramm Kesselleistung



I. Kesselleistung

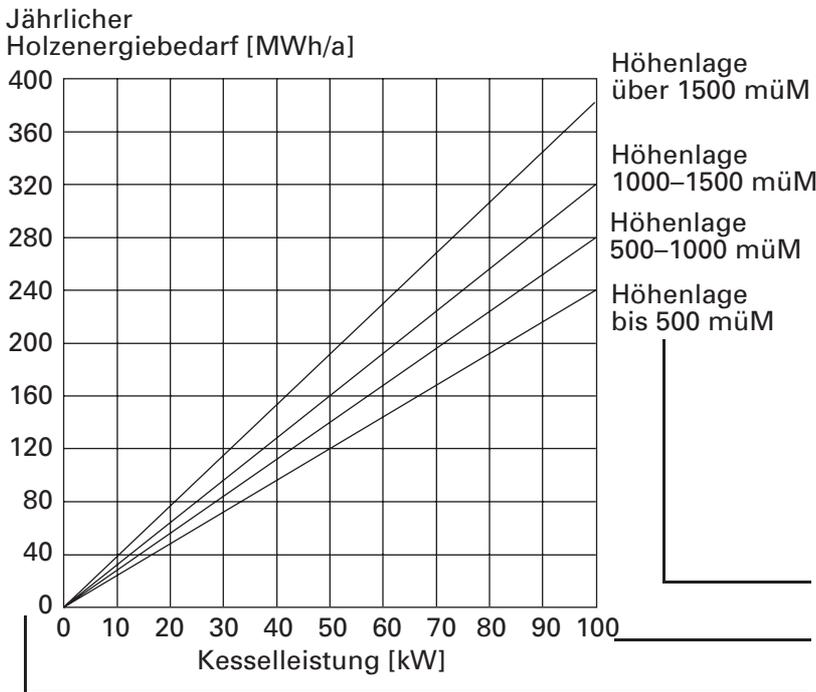
Die Kesselleistung ist dem Wärmeleistungsbedarf eines Betriebes unbedingt möglichst genau anzupassen:

- Nicht zu klein, damit bei kältesten Aussentemperaturen ausreichend Wärme zur Verfügung steht.
- Nicht zu gross, damit ein emissionsarmer Betrieb ohne störende Geruchsbildung und mit einem geringen Schadstoffausstoss gewährleistet werden kann.

Vorgehen

1. Wärmedämmstand der beheizten Räume einschätzen; Luftrückführung für die Späneabsaugung (WRG): Ja/Nein? (Räume ohne Luftabsaugung entsprechen der Geraden mit WRG).
2. Einzelne Raumvolumen bestimmen und jene mit gleichem Wärmedämmstand addieren.
3. Kesselleistung aus Diagramm ablesen; bei mehreren Leistungen verschieden wärmegeprägter Räume sind diese aufzusummieren

II. Diagramm Holzenergiebedarf



II. Holzenergiebedarf

Der jährliche Holzenergiebedarf dient als Grundlage:

- Zur Abschätzung der zu lagernden Restholzmenge.
- Für die Restholzbilanz.

Vorgehen

1. Höhenlage des Betriebes abschätzen und einzeichnen.
2. Ermittelte Kesselleistung aus «Diagramm Kesselleistung» eintragen
3. Holzenergiebedarf ablesen.

III. Tabelle Energieinhalt Restholz

Zur Ermittlung des jährlich anfallenden Restholzes und dem daraus resultierenden Energieinhalt sind zwei einfache Möglichkeiten gegeben:

1. Möglichkeit

Ermittlung über den bekannten Restholzanfall

| Restholzsortiment | Restholzanfall (R) (m³/Jahr) | Energiedichtefaktor (D) | Energieinhalt (E) (MWh/Jahr) R x D = E |
|--|------------------------------|-------------------------|---|
| Späne, Schnitzel, Staub, Rinde zerkleinert (sm³) | | 0.7 | |
| Massivholzabschnitte (fm³) | | 2 | |
| Plattenholzabschnitte (fm³) | | 3.5 | |
| Total Energieinhalt | | | |

2. Möglichkeit

Ermittlung über den jährlichen Holzdurchsatz

| Restholzsortiment | Holzdurchsatz (fm³/Jahr) | Restholzanfall (R) (m³/Jahr) (siehe Tab. Richtwerte) | Energiedichtefaktor (D) | Energieinhalt (E) (MWh/Jahr) R x D = E |
|----------------------|--------------------------|--|-------------------------|---|
| Massivholzplatten | | | 2 | |
| Holzwerkstoffplatten | | | 3.5 | |
| Total Energieinhalt | | | | |

III. Energieinhalt des Restholzes

Vorgehen 1. Möglichkeit

(über den Restholzanfall)

1. Das bekannte, jährlich anfallende Restholzvolumen aus Spänen, Schnitzeln, Staub, Massivholz und Plattenholz in die Tabelle eintragen.
2. Energieinhalte berechnen [Restholzanfall (R) x Energiedichtefaktor (D) = Energieinhalt (E)] und addieren.

Vorgehen 2. Möglichkeit

(über den Holzdurchsatz)

1. Erfassen des jährlichen Holzdurchsatzes anhand von Lieferscheinen und Rechnungen.
2. Berechnen des jährlich anfallenden Restholzvolumens aus Massivholz und Holzwerkstoffplatten (siehe Tabelle «Richtwerte Restholzanfall»).
3. Energieinhalte berechnen [Restholzfal (R) x Energiedichtefaktor (D) = Energieinhalt (E)] und addieren.

IV. Restholzbilanz

Mit der Restholzbilanz kann abgeschätzt werden, ob genügend Energieholz im Betrieb anfällt. Ist die Bilanz positiv, so reicht das Restholz zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs aus; das überschüssige Restholz kann dann z.B. an andere holzverarbeitende Betriebe, die einen Brennstoffmangel ausweisen, abgegeben werden. Ist die Bilanz negativ, so fällt zu wenig Restholz zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs an. Das fehlende Restholz kann aus anderen Betrieben besorgt werden. Oder es kann eine kleinere Holzfeuerung mit einem beigestellten Ölkessel zur Spitzenabdeckung gewählt werden.

IV. Tabelle Restholzbilanz

| | |
|--|--|
| Energieinhalt des jährlich anfallenden Restholzes (aus Tab. III übertragen) MWh/Jahr | |
| Holzenergiebedarf pro Jahr (aus Diagramm II übertragen) MWh/Jahr | |
| Überschuss/Manko an Restholzennergie pro Jahr | |

Vorgehen

1. Energieinhalt des jährlich anfallenden Restholzes aus «Tabelle Energieinhalt Restholz» übertragen.
2. Jährlicher Holzenergiebedarf aus «Diagramm Holzenergiebedarf» übertragen.
3. Differenz bilden aus: Pos. 1 abzüglich Pos. 2.

V. Tabelle Lagervolumen

| Restholzsoriment | Restholzanfall (R) (m³/Jahr) | Auflockerungs-faktor (A) | Volumen (V) (m³/Jahr) $R \times A = V$ | Lagervolumen (L) (m³/Jahr) $V \times 0.5 = L$ |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|---|--|
| Späne, Schnitzel, Staub (sm³) | | 1 | | |
| Massivholzabschnitte (fm³) | | 2.5 | | |
| Plattenholzabschnitte (fm³) | | 2.5 | | |
| Total Lagervolumen *) | | | | |

*) Hinweis: In Höhenlagen ab ca. 500 m reduziert sich das Lagervolumen, da mit einer längeren Heizperiode zu rechnen ist.

V. Lagervolumen

Das zu lagernde Restholzvolumen richtet sich nach der Dauer der Heizperiode und nach der Lagerungsart. Durch brikettieren z.B. kann das Lagervolumen gegenüber dem Spänesilo um den Faktor 6 reduziert werden.

Vorgehen

1. Jährlicher Restholzanfall aus «Tabelle Energieinhalt Restholz» übertragen.
2. Effektives Volumen (V) der einzelnen Holzsortimente berechnen [Restholzanfall (R) x Auflockerungsfaktor (A) = Volumen (V)].
3. Lagervolumen der einzelnen Holzsortimente berechnen [Volumen (V) x 0.5 = Lagervolumen (L)] und addieren.

A2 Fallbeispiel Kleinbetrieb

1 Ausgangslage

Die Stückholzfeuerung eines Schreinereibetriebes mit 6 MitarbeiterInnen war aus altersgründen zu ersetzen. Abgasmessungen ergaben Kohlenmonoxidemissionen weit über dem zulässigen LRV-Grenzwert von 1000 mg/Nm³ (bezogen auf 13% O₂).

2 Grundlagen

(eigene Ermittlungen)

Vorhandene Holzfeuerungsanlage

- 50-kW-Stückholzkessel Jahrgang 78 mit Energiespeicheranlage im Heizraum des Betriebes (UG).
- Späneraum von ca. 45 m³ im Keller des Betriebes (von der kantonalen Feuerpolizei nicht beanstandet).
- Zwischenlager für Stückholz oder Schnitzel von ca. 25 m³ im Keller des Betriebes.

Vorhandene Späneabsaugung

- Späneabsaugung mit Filter und Luftrückführung in den Betrieb.

Raumvolumen der beheizten Räume

- Werkstatt (EG und UG) ca. 1100 m³, Wärmedämmstand = «mässig mit WRG».
- 2 Wohnungen ca. 450 m³, Wärmedämmstand = «mittel mit WRG».

Anlagenbetreuung

Durch eigenes Personal; eine Person während der Heizperiode, maximal ca. 1 bis 1,5 h pro Tag.

Holzsortiment

- Menge pro Jahr (Holzdurchsatz): Massivholz ca. 55 fm³/a und Holzwerkstoffplatten ca 155 fm³/a.
- Wassergehalt (x) ca. 10–15%.

3 Anlagendaten zur Wahl einer neuen Holzfeuerungsanlage

(Vorgehen gemäss Anhang A1)

I. Kesselleistung

Kesselleistung: 55 kW

II. Holzenergiebedarf

Raumwärme = 125 MWh/a

III. Energieinhalt des Restholzes

110 MWh/a

IV. Restholzbilanz

Energieinhalt des überschüssigen Restholzes: 15 MWh/a. Dieses Manko liegt im Bereich der Bestimmungsgenauigkeit. Somit gilt: Der Energieinhalt des jährlich anfallenden Restholzes entspricht ungefähr dem jährlichen Holzenergiebedarf des Betriebes.

Sollte das anfallende Restholz nicht ausreichen, können Hackschnitzel aus dem eigenen Wald genutzt werden.

V. Lagervolumen

Restholzsortimente und deren Volumen

Späne / Holzstaub / Hackschnitzel: ca. 52 Sm³/a

(je die Hälfte als Späne / Holzstaub und als Hackschnitzel).

4 Neue Holzfeuerungsanlage

(Vorgehen gemäss Kapitel 4)

In Frage kommende Holzfeuerungsvarianten (gemäss «Vorauswahl») Anlagevarianten B1, B2, B4, B5 und C2.

Definitive Auswahl einer Holzfeuerungsvariante (gemäss «weitere Kriterien»)

Beurteilung anhand des Vergleichs der Varianten B1, B2, B4, B5 und C2 mit der vorhandenen Situation im Betrieb.

Überprüfen der Anlagenkomponenten

Um Verschnittstücke hacken zu können, ist für die Varianten B4, B5 und C2 jeweils zusätzlich ein Zerkleinerer zu kaufen.

Zur Brikettierung der Späne ist für die Varianten B1, B5 und C2 jeweils eine Presse anzuschaffen.

Die halbautomatischen Holzfeuerungsanlagen B1, B2, B4 und B5 werden von der Bauherrschaft aufgrund der tieferen Kosten und trotz des höheren Bedienungsaufwandes im Vergleich zu C2 bevorzugt.

Vorhandener Platz für die Anlagenkomponenten

Für alle Varianten ist im Heizraum genügend Platz für einen Kessel inkl. Brennstoffbehälter.

Eine Brikettpresse sowie ein Zerkleinerer können im EG des Betriebes aufgestellt werden.

Vorhandener Platz für die Restholzlagerung

Der vorhandene Späneraum im Keller von 45 m³ reicht sehr gut zur Lagerung der jährlich anfallenden Späne aus (Varianten B1, B2, B4 und B5).

Im Keller (Schnitzelraum von 25 m³) ist genügend Platz zur Zwischenlagerung der Verschnittstücke oder deren Hackschnitzel vorhanden (Varianten B1, B2, B4, B5 und C2).

Somit ergibt sich folgende definitive Wahl

Anlagenvariante B4:

- 60 kW Klein-Schnitzelfeuerung mit beigestelltem Brennstoffbehälter von 4 m³
- neuer Zerkleinerer

Auswahlkriterien:

- Aus Kostengründen ist auf eine Brikettierpresse verzichtet worden. Im Vergleich fallen die Kosten für eine Klein-Schnitzelfeuerung und einen Zerkleinerer für Verschnittstücke gemäss Variante B4 günstiger aus. Der mit dieser Variante verbundene höhere zeitliche Aufwand für die Behälterbeschickung mit Spänen/Holzstaub und Schnitzeln wird akzeptiert. Die Varianten B1, B5 und C2 kommen deshalb nicht in Frage.
- Aus Bedienungsgründen wurde infolge des zu kleinen Brennstoffbehälters auf eine Stückholzfeuerung mit integriertem Zerkleinerer gemäss Variante B2 verzichtet.

Getätigte Investitionen

Die Kosten für die Klein-Schnitzelfeuerung, den Hacker sowie sämtliche Anschlussarbeiten betragen etwa **Fr. 85'000.-**.

Anlagendisposition Kleinbetrieb

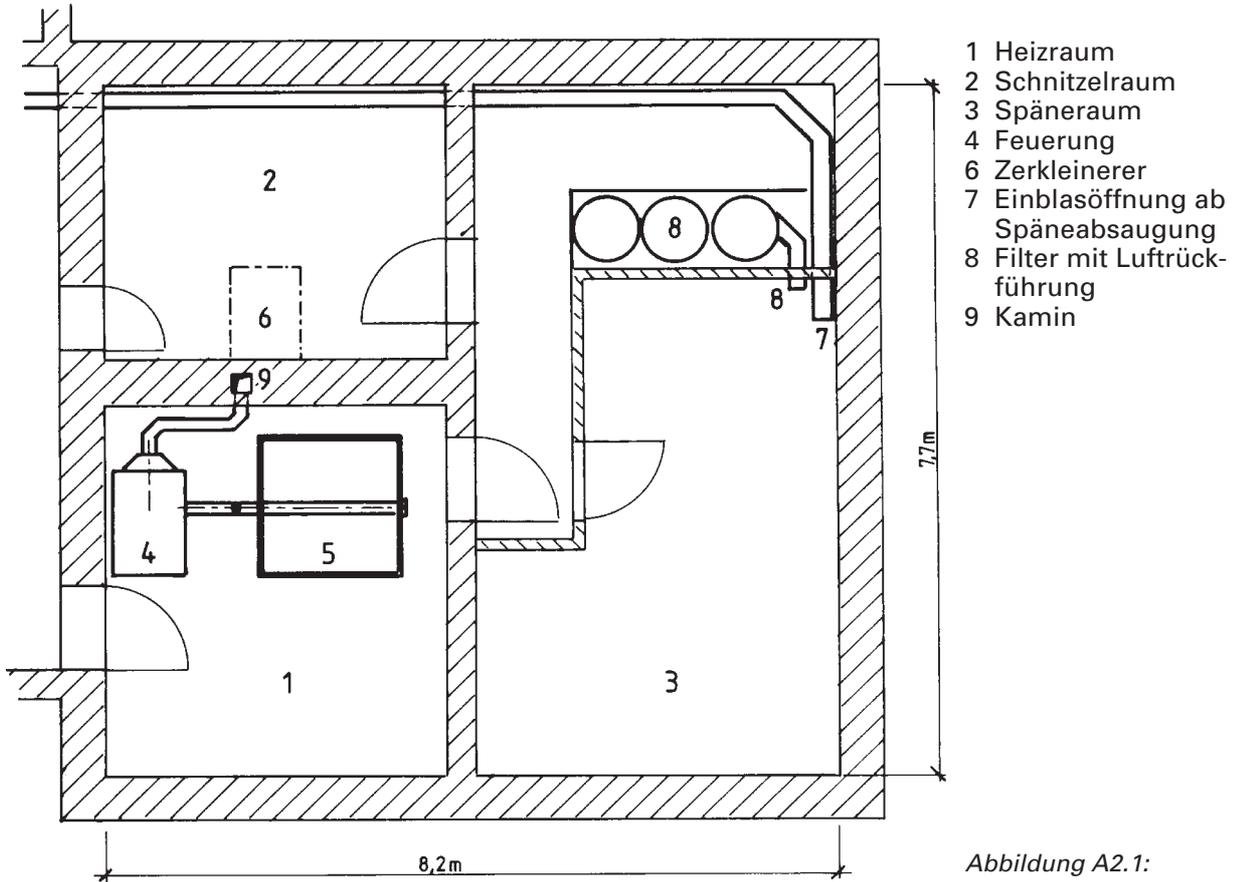


Abbildung A2.1:

A3 Fallbeispiel mittlerer Betrieb

1 Ausgangslage

Die Spänefeuerung eines Schreinereibetriebes mit 33 MitarbeiterInnen musste aus altersgründen ersetzt werden. Zusätzlich überschritt diese Feuerung die zulässigen CO-Grenzwerte der LRV 92 deutlich und konnte auch die Werte für Staub nur knapp einhalten.

Gemäss dem Wunsch der Bauherrschaft war beim Ersatz der Feuerung weiterhin das anfallende Restholz als Brennstoff einzusetzen. Es mussten dabei sämtliche Werte der LRV 92 erfüllt und wenn möglich deutlich unterschritten werden. Zusätzlich waren nebst dem Schreinereibetrieb drei Einfamilienhäuser mit Wärme zu versorgen.

2 Grundlagen

Vorhandene Holzfeuerungsanlage

- 400-kW-Spänefeuerung mit Kessel von 1973
- Zerkleinerer (Hacker)
- frei stehendes Spänesilo ca. 150 m³ mit Pendelaustragung und pneumatischer Beschickung
- Zwischenlagerung von Stückholz in Palloxen
- Zerkleinerer
- Heizraum unterhalb des Spänesilos.

Prozesswärmebezüger

Eine Spritzkabine wird während der Heizperiode mit Wärme durch die Holz-Zentralheizung versorgt; im Sommer geschieht die Zulufterwärmung elektrisch.

- Daten:
- mittlerer Wärmeleistungsbedarf während der Heizperiode ca. 80 kW
 - Betriebsdauer ca. 600 h/Heizperiode.

Vorhandene Späneabsaugung

- Späneabsaugung ohne Luftrückführung
- maximaler Wärmeleistungsbedarf = 260 kW
- Betriebsdauer ca. 9 Stunden pro Tag.

Raumvolumen der beheizten Räume

| | beheiztes Volumen [m ³] | Wärmedämmstand |
|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Büro und Werkstatt Räume | 4300 | mittel |
| Räume mit Zuschneiderei und Lager | 10'000 | mittel |
| Einfamilienhaus 1 | 400 | mittel |
| Einfamilienhaus 2 + 3 | 1000 | schlecht |

Anlagenbetreuung

Diese erfolgt durch eigenes Personal: Bisher eine Person, ca. 1/2 h pro Tag.

Holzsortiment

- Menge pro Jahr (Holzdurchsatz): Massivholz ca. 400 fm³/a und Holzwerkstoffplatten ca 900 fm³/a
- Wassergehalt (x) ca. 10–15%

3 Anlagendaten zur Wahl einer neuen Holzfeuerungsanlage

Grobe Wärmeeinsparungen

Luftrückführung der Späneabsaugung.

Durch die Luftrückführung ergibt sich eine Reduktion des maximalen Wärmeleistungsbedarfs von ca. 80% auf 50 kW. Der Raumwärmeverlust verringert sich dabei auf ca. 40 MWh/a.

I. Kesselleistung

- Raumwärme = 250 kW
- Späneabsaugung = 50 kW
- Prozesse = 80 kW

Somit beträgt die Kesselleistung 450 kW (Anlagewirkungsgrad = 0,85).

II. Holzenergiebedarf

- Raumwärme = 640 MWh/a
- Späneabsaugung = 30 MWh/a
- Prozesse = 50 MWh/a

Somit beträgt der gesamte jährliche Holzenergiebedarf ca. 850 MWh/a (Anlagewirkungsgrad = 0,85).

III. Energieinhalt des Restholzes

800 MWh/a

IV. Restholzbilanz

Es ergibt sich ein Manko an Restholz mit einem Energieinhalt von ca. 50 MWh/a; dieses Manko liegt im Bereich der Bestimmungsgenauigkeit. Somit gilt: Der Energieinhalt des jährlich anfallenden Restholzes entspricht etwa dem jährlichen Holzenergiebedarf des Betriebes.

V. Lagervolumen

Restholzsortimente und deren Volumen

Verschnittstücke: 180 m³/a (entsprechen ca. 250 Sm³ Hackschnitzel pro Jahr).

Späne und Holzstaub: 180 Sm³/a.

4 Neue Holzfeuerungsanlage

In Frage kommende Holzfeuerungsvariante

Anlagenvariante C1

Definitive Auswahl einer Holzfeuerungsvariante

Beurteilung anhand des Vergleichs der Variante C1 mit der vorhandenen Situation im Betrieb.

Überprüfen der Anlagenkomponenten

Ein Zerkleinerer in gutem Zustand ist vorhanden. Dieser kann in einer neuen Anlage verwendet werden.

Vorhandener Platz für die Anlagenkomponenten

Die Heizraumgrösse reicht zur Platzierung einer Feuerung gut aus. Der Zerkleinerer kann wie bisher am gleichen Ort neben dem Spänesilo aufgestellt werden.

Vorhandener Platz für die Restholzlagerung

Das erforderliche Lagervolumen für Schnitzel, Späne und Holzstaub ist im Vergleich zum vorhandenen Silo mit 150 m³ mindestens doppelt so gross. Es sind deshalb folgende Möglichkeiten der Restholzlagerung überprüft worden:

- a) Silo von 150 m³ auf ca. 350 m³ erhöhen.
- b) Das bestehende Silo zur direkten Lagerung von Spänen und Holzstaub verwenden und die Verschnittstücke im vorhandenen Zwischenlager deponieren; sobald Platz im Silo vorhanden ist, können die Verschnittstücke gehackt und diesem zugeführt werden.

Aus Kostengründen wird eine Lagerung gemäss Vorschlag b) vorgezogen. Es besteht ein wettergeschütztes Zwischenlager für Verschnittstücke.

Somit ergibt sich folgende definitive Wahl

Anlagenvariante C1:

- 450-kW-Feuerung mit bestehendem Spänesilo von 150 m³
- vorhandener Zerkleinerer
- bestehendes Zwischenlager für Verschnittstücke

Auswahlkriterien:

- Der vorhandene Zerkleinerer kann weiterhin genutzt werden.
- Das vorhandene Spänesilo ist in einer neuen Anlage integrierbar.
- Ein etwas grösserer Arbeitsaufwand (Verschnittstück-Zwischenlagerung) wird zugunsten niedrigerer Anlagenkosten in Kauf genommen.

Getätigte Investitionen

Die Kosten für die Unterschubfeuerung inkl. Siloaustragung sowie sämtliche Anschlussarbeiten betragen etwa **Fr. 205'000.-**.

5 Spezielles

Nach der Realisierung der Anlage ergaben Abgasmessungen nach dem Zyklonabscheider zum einen sehr gute Kohlenmonoxidwerte von < 200 mg/Nm³ und zum andern jedoch hohe Staubwerte von ca. 300 mg/Nm³ (bez. auf 13% O₂).

Mit einer Optimierung der Feuerung konnte kaum mehr Einfluss auf den Staubgehalt im Abgas genommen werden. Der Feuerungshersteller baute deshalb nach dem vorhandenen Zyklonabscheider ein zusätzliches Filter, ein Gewebefilter ein. Anschliessende Abgasmessungen ergaben eine massive Staubreduktion auf < 10 mg/Nm³!

Die Kosten für das Gewebefilter und dessen Einbau betragen ca. **Fr. 65'000.-**.

Anlagendisposition mittlerer Betrieb

- 1 Zerkleinerer
- 2 Feuerung
- 3 Zyklonabscheider
- 4 Gewebefilter
- 5 Kamin
- 6 Heizverteiler
- 7 Heizraum

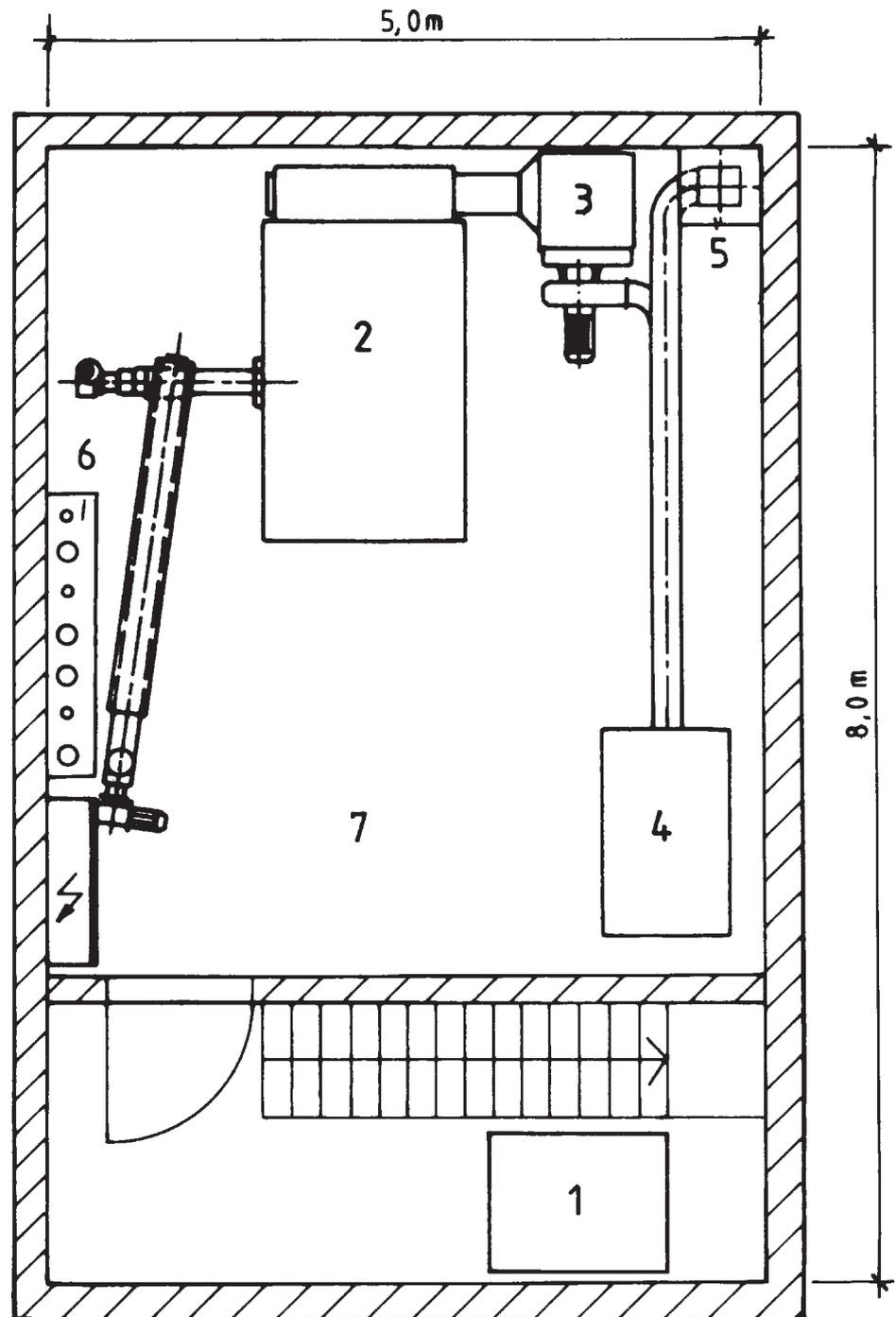


Abbildung A3.1

A4 Siloaustragungssysteme

Konusaustragung

Einsatzgebiet:

Schreinereien und Zimmereien

Anlagenbeschreibung:

Eine im Winkel anpassende Schnecke zirkuliert in einer Kreisbewegung und fördert den Brennstoff zu der im Zentrum angeordneten Siloaustragung.

Vorteile:

- kostengünstiges Austragungssystem
- für kleinflächige hohe Silos geeignet
- Verminderung von Brückenbildungen.

Nachteile:

- nicht volle Silovolumennutzung
- beschränkte Silogrundfläche.

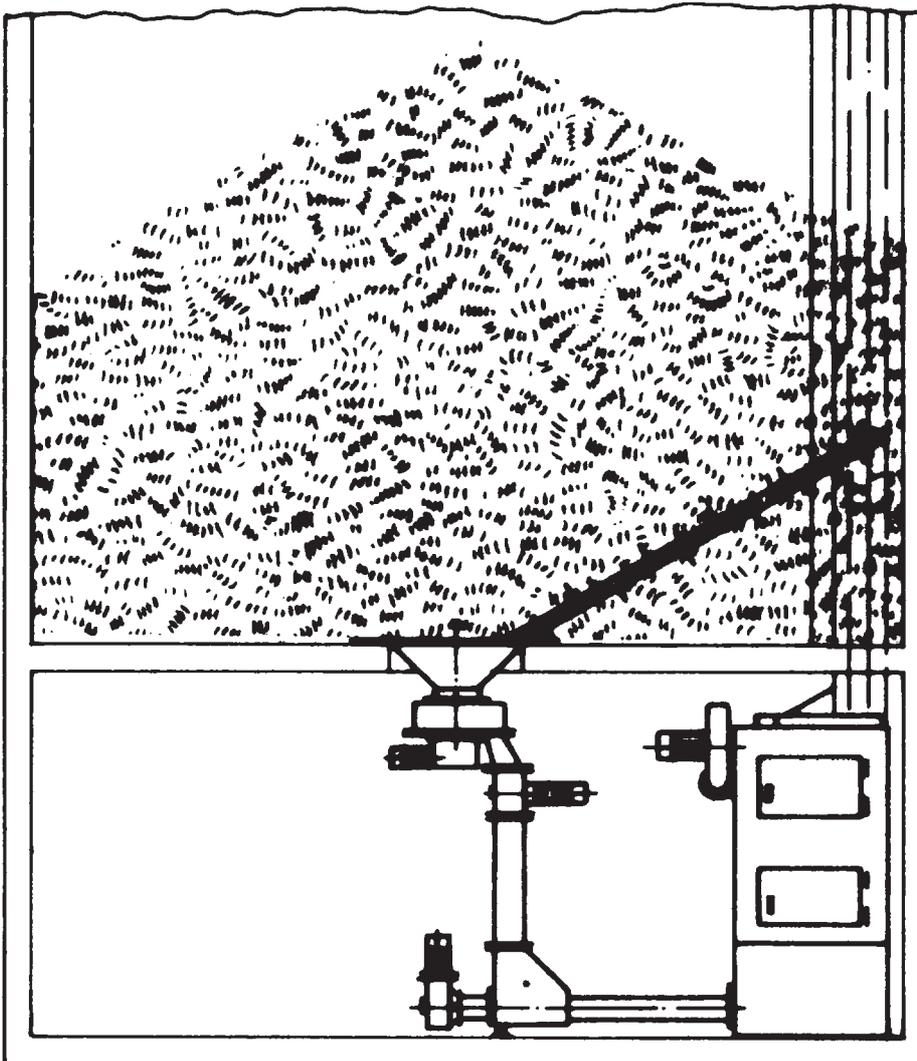


Abbildung A4.1:
Konusaustragung mit quadra-
tischem Silogrundriss

Zentrumsaustragung

Einsatzgebiet:
Schreinereien und Zimmereien

Anlagenbeschreibung:

Eine am Siloboden liegende Schnecke zirkuliert in einer Kreisbewegung (360°) und fördert den Brennstoff zu der im Zentrum angeordneten Siloaustragung.

Pendelaustragung: Die Funktion ist jener der Zentrumsaustragung ähnlich, wobei die Schnecke nur eine Pendelbewegung (180°) ausführt.

Vorteile:

- auch geeignet für Silogrundflächen mit $\varnothing > 4 \text{ m}$.

Nachteile:

- Störanfälligkeit bei Fremdkörpern
- Neigung zur Brückenbildungen.

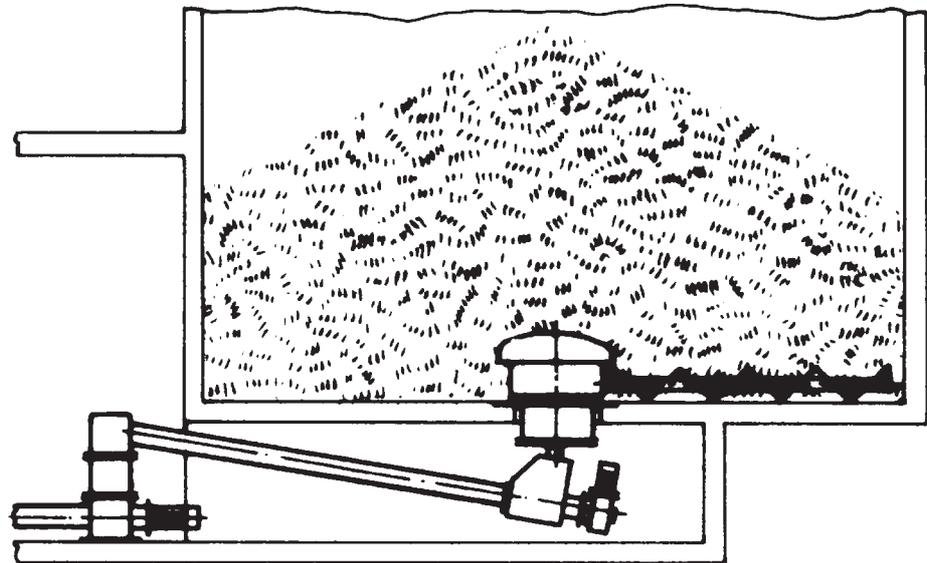


Abbildung A4.2:
Zentrumsaustragung mit
quadratischem Silogrundriss

Schubbodenaustragung

Einsatzgebiet:
Schreinereien, Zimmereien und Sägereien.

Anlagenbeschreibung:
Am Siloboden fördern querliegende Austragungsprofile durch Vor- und Rückwärtsbewegungen das Restholz in eine Querrinne, von welcher die Feuerung beschickt wird.

Vorteile:

- keine mechanische Antriebsteile im Brennstoff
- unempfindlich auf Brennstoffgrösse und -feuchte
- kaum Neigung zu Brückenbildungen.

Nachteile:

- teures Austragungssystem.

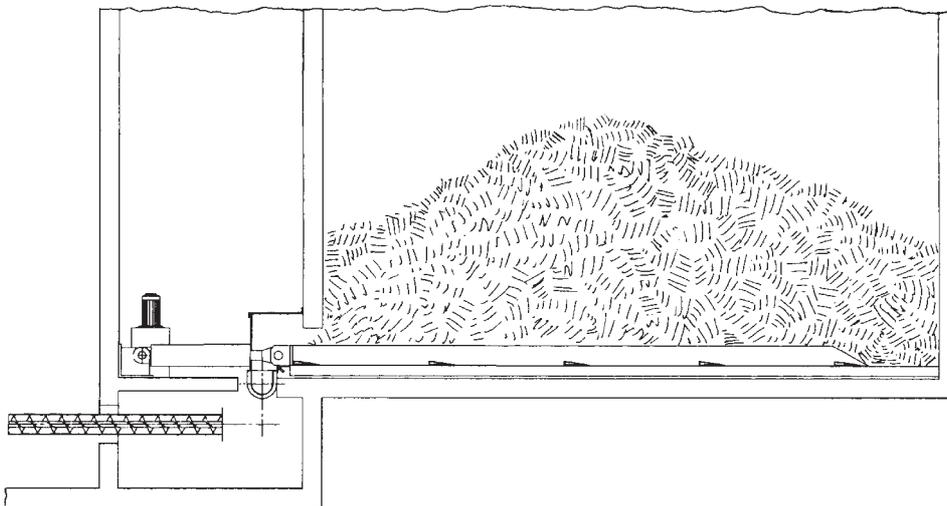


Abbildung A4.3:
Schubbodenaustragung mit
rechteckigem Silogrundriss

A5 LRV-Grenzwerte für Holzbrennstoffe

Geltende Vorschriften bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen

| | Feuerungswärmeleistung | | | | | |
|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | von 20 kW bis 70 kW | von 70 kW bis 200 kW | von 200 kW bis 500 kW | von 500 kW bis 1 MW | von 1 MW bis 5 MW | über 5 MW |
| Bezugsgrösse: die Grenzwerte beziehen sich auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von % Vol. | 13% | 13% | 13% | 13% | 11% | 11% |
| Feststoffe insgesamt ... mg/m ³ | – | 150 | 150 | 150 | 150 | 50 |
| Kohlenmonoxid (CO): für naturbelassenes Holz ...mg/m ³ für Restholz ... mg/m ³ | 4000 1000 | 2000 1000 | 1000 800 | 500 500 | 250 250 | 250 250 |
| Stickoxide (NO_x) | siehe nächste Tabelle | siehe nächste Tabelle | siehe nächste Tabelle | siehe nächste Tabelle | siehe nächste Tabelle | siehe nächste Tabelle |
| Gasförmige organische Stoffe angegeben als Gesamtkohlenstoff (C) mg/m ³ | – | – | – | – | 50 | 50 |
| Ammoniak und Ammoniakverbindungen angegeben als Ammoniak ... mg/m ³ | – | – | – | – | 30 | 30 |

Hinweise:

- Die Angabe eines Strichs in der Tabelle bedeutet, dass keine Begrenzung vorgeschrieben ist.
- Die Emissionsbegrenzung von Ammoniak ist nur für Feuerungsanlagen mit Entstickungseinrichtung von Bedeutung.

Begrenzung der Stickoxide

Die Begrenzung der Stickoxide gilt erst ab einer Ausstossmenge von 2500 g/h. Sie kommt demzufolge nur ab einer gewissen Leistung und je nach Brennstoff zum tragen.

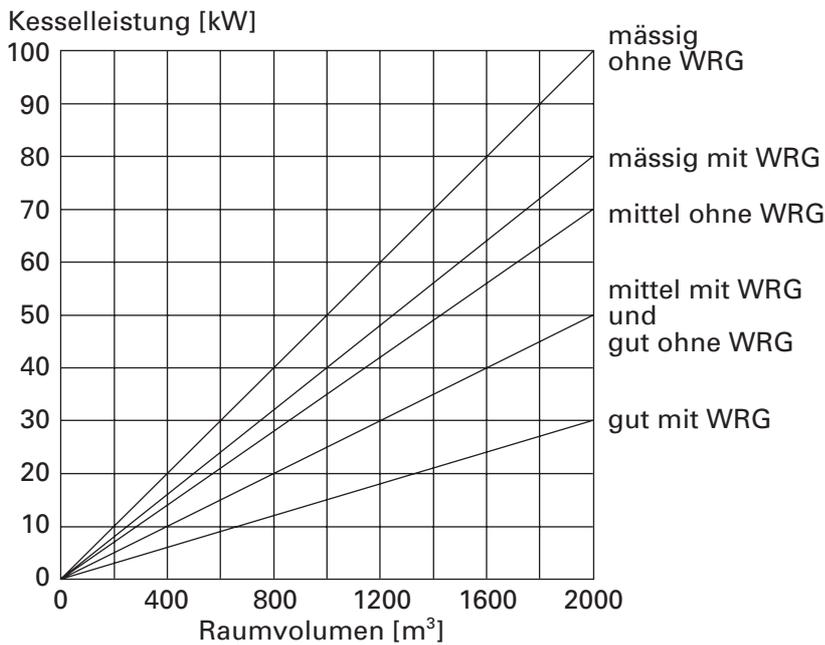
Folgende Tabelle gibt Anhaltswerte bezüglich Anlagenleistungen, ab welchen eine Entstickung notwendig ist:

| Brennstoffe | NO _x Belastung im Abgas [mg/m ³] NO ₂ bei 11% O ₂ | Entstickung nötig ab [MW] |
|--------------------------------|--|---------------------------|
| 100% Naturholz | 200–300 | 4 |
| 50% Naturholz und 50% Restholz | 300–500 | 2.5 |
| 100% Restholz | 500–800 | 1.5 |

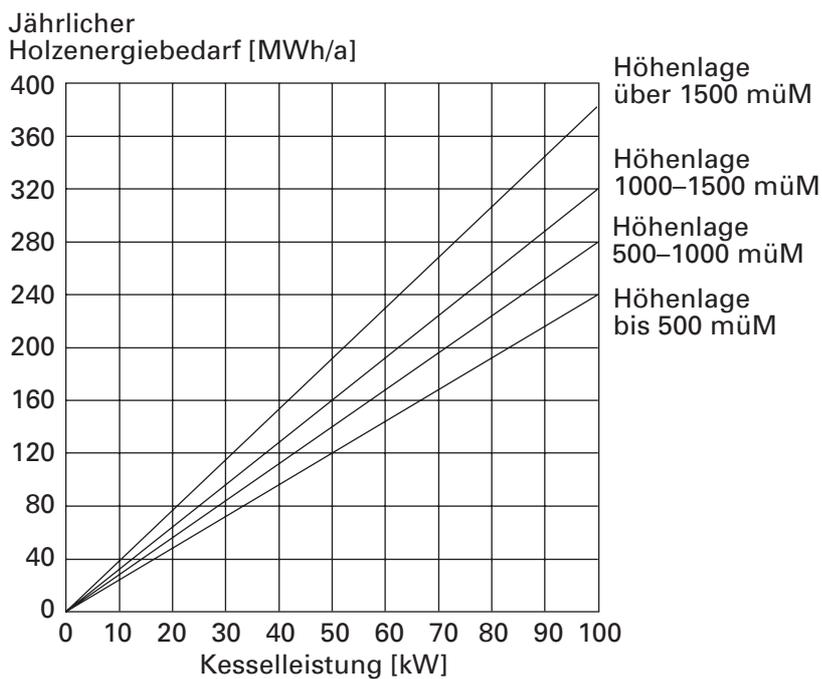
A6 Diagramme und Tabellen (Kopiervorlagen)

Abschätzen von Betriebsdaten für eine Anlagenauslegung

| | | |
|---------|-----------------------|-------------|
| Betrieb | Erstellt für das Jahr | Datum/Visum |
|---------|-----------------------|-------------|



I. Diagramm Kesselleistung



II. Diagramm Holzenergiebedarf

III. Tabelle Energieinhalt Restholz

Zur Ermittlung des jährlich anfallenden Restholzes und dem daraus resultierenden Energieinhalt sind zwei einfache Möglichkeiten gegeben:

1. Möglichkeit

Ermittlung über den bekannten Restholzanfall

| Restholzsortiment | Restholzanfall (R) (m ³ /Jahr) | Energiedichte- faktor (D) | Energieinhalt (E) (MWh/Jahr) $R \times D = E$ |
|---|--|------------------------------|---|
| Späne, Schnitzel, Staub, Rinde zerkleinert (sm ³) | | 0.7 | |
| Massivholzabschnitte (fm ³) | | 2 | |
| Plattenholzabschnitte (fm ³) | | 3.5 | |
| Total Energieinhalt | | | |

2. Möglichkeit

Ermittlung über den jährlichen Holzdurchsatz

| Restholzsortiment | Holzdurchsatz (fm ³ /Jahr) | Restholzanfall (R) (m ³ /Jahr) (siehe Tab. Richtwerte) | Energiedichte- faktor (D) | Energieinhalt (E) (MWh/Jahr) $R \times D = E$ |
|----------------------|--|---|------------------------------|---|
| Massivholzplatten | | | 2 | |
| Holzwerkstoffplatten | | | 3.5 | |
| Total Energieinhalt | | | | |

| Richtwerte Restholzanfall | | | Bau | Möbel |
|---------------------------|-----------------------------|--------|-----------|-----------|
| Schreinerei/Zimmerei | Massivholz | Stücke | 15–20–30% | 20–30–40% |
| | | Späne | 10–15–20% | 10–15–20% |
| | Plattenholz | Stücke | 7–10–13% | 7–10–15% |
| | | Späne | 1% | 1% |
| Sägerei | Schwarten/Spreissel | | 16–20–25% | |
| | Sägemehl | | 7–8–9% | |
| | Rinde (wenn entrindet wird) | | 7–10–12% | |

IV. Tabelle Restholzbilanz

| | |
|--|--|
| Energieinhalt des jährlich anfallenden Restholzes (aus Tab. III übertragen) MWh/Jahr | |
| Holzenergiebedarf pro Jahr (aus Diagramm II übertragen) MWh/Jahr | |
| Überschuss/Manko an Restholzenergie pro Jahr | |

V. Tabelle Lagervolumen

| Restholzsortiment | Restholzanfall (R) (m ³ /Jahr) | Auflockerungs- faktor (A) | Volumen (V) (m ³ /Jahr) $R \times A = V$ | Lagervolumen (L) (m ³ /Jahr) $V \times 0.5 = L$ |
|--|--|------------------------------|---|--|
| Späne, Schnitzel, Staub (sm ³) | | 1 | | |
| Massivholzabschnitte (fm ³) | | 2.5 | | |
| Plattenholzabschnitte (fm ³) | | 2.5 | | |
| Total Lagervolumen *) | | | | |

*) Hinweis: In Höhenlagen ab ca. 500 m reduziert sich das Lagervolumen, da mit einer längeren Heizperiode zu rechnen ist.

A7 Wichtige Adressen

BfK

Bundesamt für Konjunkturfragen
Belpstr. 53, 3003 Bern
Tel. 031-322 21 29, Fax. 031-372 41 02

Auskünfte über die Impulsprogramme RAVEL/Rationelle Verwendung von Elektrizität, PACER/Erneuerbare Energien und IP BAU/Bauerhaltung und Erneuerung.

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Hallwylstr. 4, 3003 Bern
Tel. 031-322 93 11, Fax. 031-322 99 81

Auskünfte über Luftreinhalte-Verordnung (LRV) und Technische Verordnung über Abfälle (TVA).

BEW

Bundesamt für Energiewirtschaft
Kapellenstr. 14, 3003 Bern
Tel. 031-322 56 11, Fax. 031-382 43 07

Auskünfte über die Förderprogramme des BEW im Rahmen von ENERGIE 2000.

Förderprogramm Holz

c/o Schweizerische Vereinigung für Holzenergie
Falkenstr. 26, 8008 Zürich
Tel. 01-252 30 70, Fax. 01-251 41 26

Dienstleistungen: Beratung und Information, Vorgehensberatung für alle Arten von Holzfeuerungen, Unterstützungsmöglichkeiten Bund und Kantone.

DIANE Energie aus Altholz und Altpapier

Ruedi Bühler, c/o Ingenieurbüro Umwelt+Energie
Dörfli 5, 8933 Maschwanden
Tel. 01-767 15 16, Fax. 01-767 15 54

Dienstleistungen: Vorgehensberatung und Grobbeurteilung für Altholz- und Altpapierfeuerungen, Technologieförderung.

DIANE Klein-Holzfeuerungen

Christian Völlmin, c/o Sopra-Solarpraxis AG
Grammetstr. 14, 4410 Liestal
Tel. 061-922 00 10, Fax. 061-922 01 09

Dienstleistungen: Vorgehensberatung, Technologieförderung für Klein-Holzfeuerungen, Unterstützung bei Mess- und Demonstrationsprojekten.

Impulsprogramme

Luftreinhalte- Verordnung

Energie 2000

*Aus der Aktionsgruppe
Regenerierbare Energien
sind für die Holzenergie
wichtig:*

Brandschutzvorschriften

VKF

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen
Bundesgasse 20, 3011 Bern
Tel. 031-320 22 22, Fax. 031-320 22 99

Auskünfte über die Brandschutzvorschriften für die Restholzaufbereitung, -Lagerung und -Nutzung, Adressen der Kantonalen Gebäudeversicherungen.

Sicherheitsvorschriften

SUVA

Schweizerische Versicherungsanstalt
Postfach, 6002 Luzern
Tel. 041-21 51 11, Fax. 041-21 58 28

Auskünfte über elementare Sicherheitsvorschriften im speziellen für die Restholzlagerung.

Energieberatungsstellen

EFS

Verband Energiefachleute Schweiz
c/o Infoenergie
FAT, 8356 Tänikon
Tel. 052-62 34 85, Fax. 052-62 34 89

Der Verband Energiefachleute Schweiz ist die Dachorganisation der aktiven Energieberater und Energiefachvereine. Hier sind weitere Adressen der verschiedenen Energieberatungsstellen sowie der Kantonalen Energiefachstellen erhältlich. Ferner sind Adressen und Kurzbeschreibungen von Pilot- und Demonstrationsanlagen mit vorbildhafter Energienutzung erhältlich.

A8 Literaturverzeichnis

Holz-Zentralheizungen

Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1988

Emissionen von Holzfeuerungen

Schlussbericht NFP 12-Projekt 4.971.0.86.12,
Nussbaumer, Th., Institut für Energietechnik,
ETH Zürich, Zürich 1988

Energiehandbuch für die Holzverarbeitenden Betriebe

Schriftreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 42, NFP 12,
Bern 1987

Brandschutzrichtlinie wärmetechnische Anlagen

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Bern 1993

Luftreinhalte-Verordnung

Bundesverordnung SR 814.318.142.1,
Bern 1.1.1992

Technische Verordnung

Bundesverordnung SR 814.015, Bern 10.12.1990

Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz

Diss. ETH Nr. 8838, Nussbaumer, Th., Zürich 1989

Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz

Nussbaumer, Th. (Hrsg.), Bundesamt für Energiewirtschaft, ENET, Bern
1990

Neue Konzepte zur schadstoffarmen Holzenergie-Nutzung

Nussbaumer, Th. (Hrsg.), Bundesamt für Energiewirtschaft, ENET, Bern
1992

Stickoxide bei der Holzverbrennung

Nussbaumer, Th., Heizung Klima 12 1988, 51–62

Dioxinmissionen von Holzfeuerungen

Hasler, Ph.; Nussbaumer Th.; Bühler, R., 1993, Schriftenreihe Umwelt
Nr. 208, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1993

Impulsprogramme

Nationales Forschungsprogramm (NFP) 12

Richtlinien und Vorschriften

Allgemeine Publikationen