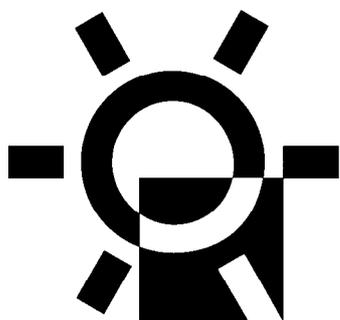


Projektieren automatischer Holzfeuerungen



PACER

Bundesamt für Konjunkturfragen

Projektieren automatischer Holzfeuerungen

Holz deckt in der Schweiz heute rund 1.6% des Gesamtenergieverbrauchs und 3% des Wärmebedarfs ab. Aufgrund des verfügbaren Potentials kann der Energieholzverbrauch noch verdoppelt bis verdreifacht werden. Der erneuerbare Brennstoff Holz kann damit wesentlich zur Substitution fossiler Brennstoffe beitragen, und er leistet gleichzeitig den grössten Beitrag zur Erreichung der Ziele von Energie 2000.

Eine verstärkte Holzenergienutzung setzt jedoch voraus, dass gut organisierte Versorgungsketten für Energieholz vorhanden sind. Im weiteren müssen Feuerungsanlagen zur effizienten und schadstoffarmen Nutzung von Holz zur Verfügung stehen und wirtschaftlich konkurrenzfähig sein.

Automatische Holzfeuerungen sind eine geeignete Lösung, den Energieträger Holz auf hohem technischen Stand energetisch zu nutzen. Bei der Projektierung solcher Anlagen müssen die Bedürfnisse von Wärmebezüglern und Anlagenbetreibern erfüllt und gleichzeitig die Randbedingungen der Holzversorgung berücksichtigt werden. Die Projektierung automatischer Holzfeuerungen erfordert deshalb den Einbezug von Holzlieferant, Bauherr, Architekt, Behörden und Anlagelieferant. Es ist Aufgabe des Planers, die verschiedenen Bedürfnisse zu befriedigen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten ein geeignetes Anlagenkonzept zu realisieren.

Die vorliegende Dokumentation richtet sich an Heizungsplaner und MitarbeiterInnen von Planungsbüros im Bereich Haus- und Energietechnik. Der gleichnamige PACER-Kurs vermittelt die Grundlagen zur Projektierung von automatischen Holzfeuerungen, und er stellt die wichtigsten Anlagekomponenten vor. Den Schwerpunkt der Dokumentation bilden automatische Holzfeuerungen im Leistungsbereich von 100 kW bis 5 MW, wobei sowohl Anlagen für Waldholz wie auch für Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie behandelt werden. Im weiteren werden die Versorgungsketten, die Brennstoffkategorien und die Abrechnungsarten beschrieben. Die Bedeutung der wichtigsten Vorschriften, insbesondere der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) sowie der Sicherheits- und Brandschutzvorschriften, werden erläutert und der Planungsablauf vom Vorprojekt bis zur Projektausführung und zum Betrieb der Anlage vorgestellt.

Die Dokumentation berücksichtigt die Erkenntnisse der letzten Jahre und weist auf neuere Entwicklungen hin. Die Kosten von Gesamtanlagen werden anhand von Beispielen aufgezeigt. Im weiteren wird der Einfluss der wichtigsten Kostenfaktoren anhand von Sensitivitätsbetrachtungen erläutert.

Projektieren automatischer Holzfeuerungen



Impulsprogramm PACER
Bundesamt für Konjunkturfragen

Trägerschaft

VHe Schweizerische Vereinigung für Holzenergie

Patronat

Infoenergie

SFIH Vereinigung Schweizerischer Fabrikanten von Holzfeuerungsanlagen und -geräten

SBHI Schweizerische beratende Heizungs- und Klimatechniker

SWKI Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren

VSHL Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmer

Projektbegleiter aus der PACER-Programmleitung

Dr. Arthur Wellinger
INFOENERGIE
Ettenhausen

Redaktion

Dr. Thomas Nussbaumer,
Dr. Jürgen Good Verenum, Zürich

Autoren

Dr. Thomas Nussbaumer, Verenum, Zürich
Dr. Jürgen Good Kapitel 1, 2

Andreas Jenni IEU AG, Liestal
Kapitel 3, 4, 8
Fallbeispiele

Peter Koch Huwyler & Koch,
Zürich
Kapitel 5, 6, 7
Fallbeispiele

Christoph Rutschmann VHe, Zürich
Kapitel 1

Fred Schneider Schneider & Aebi
Solothurn
Fallbeispiele

Philipp Steinmann Xylon SA, Genf
Kapitel 1

Gestaltung

Education Design Sepp Steibli, 3006 Bern

Copyright@ Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, März 1995.

Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern (Best.-Nr. 724.237 d)

Korrigenda, 11.5.95

Projektieren automatischer Holzfeuerungen

Bundesamt für Konjunkturfragen, 1995,724.237 D

S. 10, Umrechnung von m^3/a auf GWh/a :

Energieholzpotential

Energieholz	Verbrauch 1993 Mio m^3/a	Potential mittelfristig Mio m^3/a	Potential theoretisch Mio m^3/a
Flurholz	0.9	0.3	
Waldholz		1.5 ... 2.8	
Restholz	1.1	1.1	
Altholz	0.1	0.7	
Total	2.1	3.6 ... 4.9	6

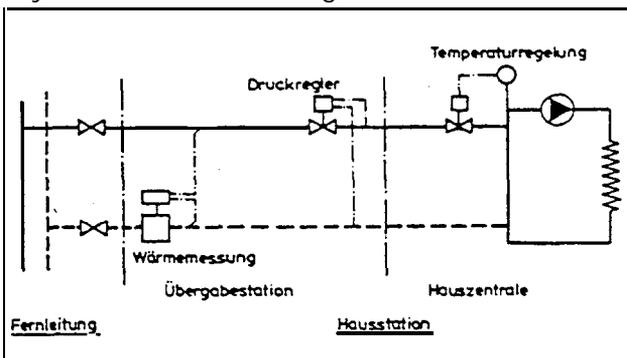
1 Mio $m^3/a \approx 2\,500$ GWh/a

S. 16, Definition Wassergehalt w und Holzfeuchtigkeit u :

wassergehalt w [%]	= $\frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]} \cdot 100}{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]}}$
Holzfeuchtigkeit u [%]	= $\frac{\text{Gewicht Des Wassers [kg]} \cdot 100}{\text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}}$
Anstelle von w wird auch x verwendet u wird auch als % $atro$ bezeichnet ($atro$: absolut trocken)	

S. 61, Hydraulikschema Übergabestation direkt:

Hydraulikschema Übergabestation **direkt**



S. 93, rechts unten:

Wärmegestehungskosten:

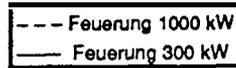
Dabei **gilt** die obere Grenze für Anlagen im Leistungsbereich 500 kW., die untere Grenze für Anlagen über 1000 kW.

s. 95, links Wärmeleistungsbedarf: Einheit W/m^2

Wärmeleistungsbedarf pro, m^2 EBF

Brennstoff	Neubauten	Altbauten	Dim.
Raumheizung	30	40-60	W/m^2
Warmwasser	10	10	W/m^2
Aufheizspitzen	10	20	W/m^2
Total	50	70-90	W/m^2

S. 96, Grafik unten:



S. 102, unten links:

Bei Waldholz entfallen die Punkte 1 und 4.

S. 107, rechts:

Jahresnutzungsgrad η_a bei automatischen Holzfeuerungen

Details zur Ermittlung des Jahresnutzungsgrades siehe Kapitel 2.8 und Anhang A3

$$\eta_a = \eta_k \frac{L - q_b / \alpha}{L - q_b}$$

mit:

- a Auslastung [-]
- η_k Kesselwirkungsgrad
- q_b Bereitschaftsverluste
- L gemittelte Laststufe

Zielwerte für gute automatische Holzfeuerungen:

α	
η_k	
q_b	$\gg 100 \text{ bis } 102$
L	0.50
η_a	0.75 ... 0.85

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 IngenieurInnen, ArchitektInnen, InstallateurInnen 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, ArchitektInnen, IngenieurInnen und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis viermal 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 ambitionöse 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. Branchenorganisationen 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) verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Bei der Planung einer automatischen Holzfeuerung sind die Anliegen von Bauherr, Architekt, Holzlieferant, Behörde und Anlagenlieferant aufeinander abzustimmen. Dem Planer kommt dabei eine zentrale Funktion als Vermittler und Koordinator zu.

Die Dokumentaion «Projektieren automatischer Holzfeuerungen» richtet sich an Heizungsplaner sowie an Inhaber und MitarbeiterInnen von Planungsbüros im Bereich Haus- und Energietechnik. Im gleichnamigen PACER-Kurs werden die Grundlagen zur Projektierung von automatischen Holzfeuerungen vermittelt und die wichtigsten Anlagekomponenten vorgestellt. Den Schwerpunkt des Kurses bilden automatische Holzfeuerungen im Leistungsbereich von 100 kW

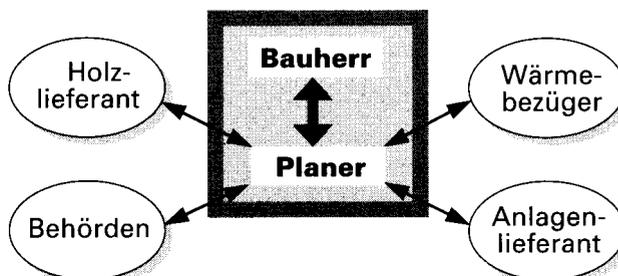
bis 5 MW. Es werden Anlagen zur Verwertung von Waldholz behandelt und Hinweise für die Nutzung von Restholz in Holzverarbeitenden Betrieben gegeben. Die Bauvarianten von Silo, Beschickungs- und Transporteinrichtungen, Feuerung, Abgasreinigung und Regelung werden aufgezeigt und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Im weiteren werden die Versorgungsketten von Energieholz beschrieben, die Charakterisierung der Brennstoffsorbitimente vorgestellt und die Verrechnungsarten für Energieholz diskutiert. Die wichtigsten Vorschriften, darunter die Luftreinhalte-Verordnung sowie die Sicherheits- und Brandschutzvorschriften, werden behandelt und deren Bedeutung für die Planung von automatischen Holzfeuerungen aufgezeigt.

Die Dokumentation umfasst den Planungsablauf vom Vorprojekt über die Detailprojektierung bis zur Projektausführung und zum Betrieb der Anlage. Anhand von Erfahrungen mit realisierten Anlagen werden die Kosten der einzelnen Komponenten und der Gesamtanlagen behandelt. Im weiteren wird die Sensitivität der wichtigsten Kostenfaktoren beschrieben. Es wird gezeigt, dass die Investitionskosten vor allem durch das Anlagenkonzept und durch die Grösse des Brennstoffsilos beeinflusst werden. Die Dokumentation berücksichtigt die Erkenntnisse der letzten Jahre und weist auf neuere Entwicklungen hin, die in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen werden.

Die vorliegende Dokumentation ersetzt den Teil über automatische Holzfeuerungen der Publikation «Holz-Zentralheizungen» des Impulsprogrammes Haustechnik aus dem Jahre 1988. Dagegen wurde auf den Einbezug der handbeschickten Holzfeuerungen in der neuen Dokumentation verzichtet, da sich der Planungsablauf und das Zielpublikum für automatische und handbeschickte Feuerungen wesentlich unterscheiden. Zudem er-

gänzt die vorliegende Publikation die PACER-Dokumentation «Energie aus Restholz» aus dem Jahre 1994, welches sich an Betreiber von Holzfeuerungen in der Holzverarbeitenden Industrie richtet.

Zur raschen Orientierung über den Aufbau der Dokumentation gibt das Inhaltsverzeichnis die Hauptkapitel und die wichtigsten Unterkapitel an. Um die Dokumentation als Nachschlagewerk zu verwenden, ist der detaillierte Inhalt in einem Inhaltsverzeichnis über das jeweilige Kapitel aufgeführt, welches jedem Hauptkapitel und dem Anhang vorangestellt ist.



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.

März 1995 Bundesamt für Konjunkturfragen
 Dr. B. Hotz-Hart
 Vizedirektor für Technologie

Inhaltsübersicht

1	Energieholz	7
1.1	Herkunft und Potential	9
1.2	Förderung der Holzenergie	11
1.3	Gründe für Holzenergie	11
1.4	Versorgungsketten	13
1.5	Wassergehalt und Holzfeuchtigkeit	16
1.6	Klassierung von Energieholz	17
1.7	Energieinhalt	18
1.8	Verrechnung von Energieholz	20
1.9	LRV 92 und weitere Verordnungen	22
<hr/>		
2	Wärmeerzeugung	25
2.1	Verbrennungsvorgang von naturbelassenem Holz	27
2.2	Restholz	32
2.3	Übersicht Holzbrennstoffe und Nicht-Holzbrennstoffe gemäss LRV 92	34
2.4	Feuerungstechnik	35
2.5	Regelung von automatischen Holzfeuerungen	38
2.6	Abgasreinigung	41
2.7	Typische Emissionswerte	45
2.8	Wirkungsgrade und Jahresnutzungsgrad	46
<hr/>		
3	Systeme	49
3.1	Wärmeerzeugungsanlagen und Zusatzkomponenten	51
3.2	Wärmeverbund	60
<hr/>		
4	Komponenten	63
4.1	Silobeschickung,	65
4.2	Fördersysteme	77
4.3	Feuerungssysteme	80
4.4	Auswahlkriterien für das Feuerungssystem	84
<hr/>		
5	Vorstudien und Vorprojekt	85
5.1	Vorabklärungen	87
5.2	Waldholz und Restholz: Unterschiede im Vorgehen	89
5.3	Ablauf von Vorstudie und Vorprojekt	91
5.4	Ermittlung der Grundlagen	93
5.5	Grobplanung	95
5.6	Grobkostenschätzung	98
5.7	Variantenvergleich	99
5.8	Vorprojekt	101

6	Detailprojekt	103
6.1	Ablauf und Projektorganisation	105
6.2	Dimensionierung und Wahl der Feuerung	107
6.3	Anordnung und Wahl des Brennstofflagers	111
6.4	Projektierungshinweise zum Silo	113
6.5	Hydraulische Einbindung	115
6.6	Steuerung und Regelung	117
6.7	Sicherheitseinrichtungen für Anlage, Heizraum und Silo	119
6.8	Planungshinweise für Heizraum und Silo	121
7	Projektausführung	125
7.1	Kritische Punkte während der Realisierung	127
7.2	Vorbereitung der Inbetriebnahme	128
7.3	Vorbereitung der Abnahme	129
7.4	Instruktion und Dokumentation des Anlagenbetreibers	130
8	Betrieb	133
8.1	Bedienung und Betrieb	135
8.2	Die Abnahme	137
8.3	Der Service-Vertrag	138
9	Anhang	139
A1	Fallbeispiele	139
A2	LRVGrenzwerte für Holzbrennstoffe	164
A3	Ermittlung des Jahresnutzungsgrades η_a	165
A4	Berechnung des Stickoxidmassenstroms	167
A5	Kopiervorlagen	169
A6	Ausschreibungsvorlage SFIH	172
A7	Literaturverzeichnis	182
A8	Vorschriften und Verordnungen	183
A9	Wichtige Adressen	184
Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER		185

1 Energieholz

1.1	Herkunft und Potential	9
1.2	Förderung der Holzenergie	11
1.3	Gründe für Holzenergie	11
1.4	Versorgungsketten	13
	Waldholz	13
	Naturl belassenes Energieholz aus der Holzverarbeitung	15
	Restholz	15
1.5	Wassergehalt und Holzfeuchtigkeit	16
1.6	Klassierung von Energieholz	17
	Klassierung für Verkauf	17
	Klassierung für Anlagentechnik	17
1.7	Energieinhalt	18
1.8	Verrechnung von Energieholz	20
1.9	LRV 92 und weitere Verordnungen	22
	Luftreinhalte-Verordnung LRV 92	22

1 Energieholz

1.1 Herkunft und Potential

Holz war während Jahrtausenden die einzige Energiequelle des Menschen. Erst mit der Industrialisierung wurde es durch Kohle und später durch Öl und Gas nach und nach verdrängt. Heute spielt Holz in den Industrieländern keine zentrale Rolle mehr. In der Schweiz deckt es gerade noch 1.6% des Gesamtenergieverbrauches oder gut 3% des Wärmeenergiebedarfes. Die verschiedenen Ölkrisen, die Diskussion um die Umweltverträglichkeit und die Endlichkeit natürlicher Ressourcen haben dem Holz als Energieträger in den vergangenen Jahren wieder Auftrieb verschafft. In jüngerer Zeit in die Diskussion gekommene Stichworte wie CO₂-Problematik, Treibhauseffekt, graue Energie, technologische Risiken, Okobilanzen etc. und die neue Energiepolitik des Bundes (Aktionsprogramm Energie 2000) und verschiedener Kantone haben das Holz ins Zentrum der Diskussion um eine differenzierte und möglichst autonome Energieversorgung gerückt.

Das für die Nutzung in Holzfeuerungen anfallende Energieholz kann in mehrere Kategorien unterteilt werden:

- Waldholz:
Rund 60% der Jahresnutzung im Schweizer Wald gehen als Stammholz in **Sägereien**, 17% gehen in die Papier-, Zellulose- und Spanplattenfabrikation, 19% können als Schwachholz nur energetisch genutzt werden.
- Naturbelassenes Holz aus der Holzverarbeitung:
Naturbelassene Holzreste fallen vor allem aus der ersten Verarbeitungsstufe an (Sägereien), teilweise auch aus der zweiten Verarbeitungsstufe.
- Restholz aus Industrie und Gewerbe sowie von Baustellen:
Aus der zweiten Verarbeitungsstufe (Schreinerien, Möbelfabrikation etc.) fallen oft nicht naturbelassene Verarbeitungsreste an.
- Altholz:
Holzprodukte fallen am Ende eines oft mehrstufigen Produktzyklus von unterschiedlicher Nutzungsdauer als Altholz an.

Holzbrennstoffe

Waldholz
 . Holz, direkt aus dem Wald, wie Spalten, Rugeln, Schnitzel

Naturbelassenes Holz aus der Holzverarbeitung
 - Rinde
 - Ablängstücke aus Massivholz
 - Schwarten und Spreissel
 - Hobelspäne
 - Sägemehl und Schleifstaub aus Massivholz
 - Holzsnitzel aus Massivholz

Restholz (nicht naturbelassen)
 . Verarbeitungsreste aus Holzwerkstoffplatten
 - Span-, Faserplatten
 - MDF-Platten
 - Sperrholz
 . Beschichtete Verarbeitungsreste (ohne PVC)
 - Furniere
 - Melamin-Beschichtungen
 . Behandelte Verarbeitungsreste
 - Holz mit Lack und Lasuren
 . Holzreste aus Baustellen (Montagearbeiten)
 - Schalungen, Gerüste
 - Montageresten im Innenausbau

Nicht Holzbrennstoffe

Altholz
 . Holz 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 Druckimprägniermitteln sowie mit Pentachlorphenol behandeltes Holz. Diese Holzabfälle sind in Kehrichtverbrennungsanlagen zu entsorgen.

Für die Thematik der Altholznutzung wird auf folgende Dokumentation verwiesen:

Emissionsarme Altholznutzung in 1-10 MW-Anlagen

DIANE 8, Energie aus Altholz + Altpapier Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994

Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern EDMZ Nr. 805.180 d

Anzahl Holzfeuerungen

	Leistung	Anzahl
Stückholzfeuerungen	<30kW	490'000
	>30kW	114'800
Schnitzelfeuerungen	<70kW	1'410
	>70kW	2'420
Altholzfeuerungen	> 350 kW	15

Stand 1993

Energieholzverbrauch

	Waldholz u. Restholz m ³	Altholz	Total
Stückholzfeuerungen	1'310'000		
Schnitzelfeuerungen	670'000		
Total	1'980'000	110'000	2'090'000

Stand 1993

Energieholzpotential

Energieholz	Verbrauch 1993 Mio m ³ /a	Potential mittelfristig Mio m ³ /a	Potential theoretisch Mio m ³ /a
Flurholz		0.3	
Waldholz	0.9	1.5 ... 2.8	
Restholz	1.1	1.1	
Altholz	0.1	0.7	
Total	2.1	3.6 ... 4.9	6

1 Mio m³/a ≈ 1'000 GWh/a

Das nachwachsende Holz ermöglicht mindestens eine Verdoppelung der Energieholznutzung. Damit könnten ohne Übernutzung des Waldes und ohne Konkurrenzierung höherwertiger Holzsortimente etwa 6% des schweizerischen Bedarfs an Wärme gedeckt werden.

Gebräuchliche volumetrische Masseinheiten:
 m³ = Kubikmeter oder Festmeter = feste Holzmasse
 Sm³ = Schnitzelkubikmeter oder Schüttkubikmeter
 Ster = 1x1x1m aufgeschichtetes Holz
 Umrechnung: 1 m³ ≈ 2.5 Sm³ ≈ 1.43 Ster

Die vorliegende Kursdokumentation behandelt in erster Linie Waldholz und Energieholz von Sägereien und sie geht stellenweise auf die Besonderheiten von Restholz aus Industrie und Gewerbe ein. Diese Brennstoffe gelten gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) als Holzbrennstoffe.

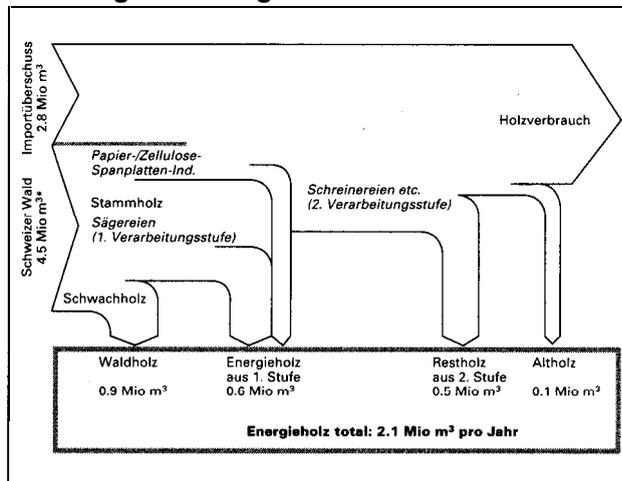
Altholz gilt nicht als Holzbrennstoff gemäss LRV und wird in der vorliegenden Dokumentation nicht behandelt.

Die Angaben über das vorhandene Energieholzpotential gehen teilweise weit auseinander. Sicher ist, dass die Forstwirtschaft heute Probleme hat mit dem Absatz minderwertiger Sortimente, die bei jedem forstlichen Eingriff anfallen. Gleichzeitig wird der Absatz von Produktionsresten aus holzverarbeitenden Betrieben immer schwieriger. Zudem wird viel Altholz aus Gebäudeabbrüchen, alten Möbeln, Verpackungen etc. am Ende des Produktzyklus nicht energetisch genutzt.

Das bei nachhaltiger Waldbewirtschaftung mittelfristig verfügbare Energieholzpotential wird auf ca. 3.6 bis 4.9 Mio m³/a geschätzt. Bei gleichzeitiger energetischer Nutzung des Rest- und Altholzes ergibt sich ein theoretisches Potential von ca. 6 Mio m³/a.

Wieviel Holz tatsächlich energetisch genutzt wird, hängt stark vom erzielbaren Preis ab. Bei markant steigendem Energieholzbedarf und entsprechenden finanziellen Anreizen ist die Forstwirtschaft in der Lage, wesentlich grössere Mengen bereitzustellen.

Der Weg des Energieholzes 1993



* davon 3.5 Mio m³ für Export

1.2 Förderung der Holzenergie

Der Bund und immer mehr Kantone fördern mit gezielten Massnahmen die Nutzung erneuerbarer Energieträger in der Schweiz. Holz kommt unter diesem Aspekt ein besonders hoher Stellenwert zu, da es von allen erneuerbaren Energieträgern das grösste zwischen 1990 und 2000 rasch und mit bewährter Technologie nutzbare Potential aufweist. Dies bei relativ geringem finanziellem Zusatzaufwand im Vergleich zu konventionellen Lösungen mit fossilen Energieträgern.

Der Bund unterstützt gut konzipierte Anlagen mit finanziellen Beiträgen. Auch die Kantone berücksichtigen in ihren Energiegesetzen je länger je mehr die Holzenergie. In verschiedenen Kantonen sind ebenfalls finanzielle Beiträge an Anlagen möglich. Weitere Auskünfte erteilen die Schweizerische Vereinigung für Holzenergie VHe und die kantonalen Energiefachstellen.

Immer mehr Gemeinden sind heute bereit, gewisse Mehrinvestitionen für Holzfeuerungen zu leisten, da damit die Situation der gemeindeeigenen Forstbetriebe verbessert und der eigene Energieträger effizient ausgenutzt werden kann.

Mit einer intensiven Holzenergienutzung kann die Schweiz einen Beitrag an die dringliche Verminderung der CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre und damit des Treibhauseffektes leisten.

1.3 Gründe für Holzenergie

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts beruhte die wirtschaftliche Produktion fast ausschliesslich auf dem Verbrauch erneuerbarer Energieträger, d.h. auf Holz, Wind und Muskelkraft. Mit der Industrialisierung übernahmen Ende des 19. Jahrhunderts die Kohle und Mitte des 20. Jahrhunderts Öl und Gas die zentrale Rolle in der Energieversorgung. Damit verbunden war ein sprunghafter Anstieg des Weltenergieverbrauchs auf heute rund 10¹⁰ t SKE (Steinkohle-Einheit) oder ca. 1.1.10¹⁴ kWh. Dies entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch von 2 t SKE pro Person und Jahr bzw. 23 000 kWh oder einer dauernden Leistung von rund 2.6 kW pro Person.

Unsere heutige Wirtschaft basiert fast ausschliesslich auf dem Verbrauch nichterneuerbarer Ressourcen. Lediglich 20% werden durch erneuerbare

Gründe für die Holzenergie

Politische Gründe

- Diversifizierung der Energieversorgung
- Verringerung der Auslandabhängigkeit

Ökonomische Gründe

- Erträge für Wald- und Holzwirtschaft
- lokale und regionale Wertschöpfung

Ökologische Gründe

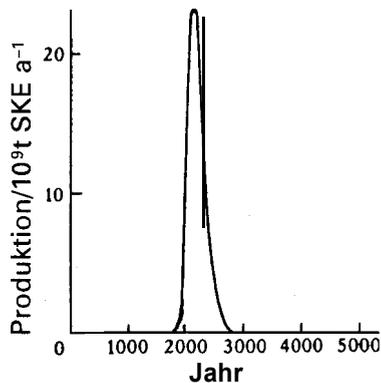
- CO₂-neutral
- kurze und risikoarme Transporte, risikoarme Aufbereitung und Lagerung
- geringer Einsatz grauer Energie

Praktische Gründe

- hoher Stand der Technik
- hoher Komfort
- bestens geeignet zum Betrieb von Nahwärmenetzen
- bessere Beziehung zur Energie

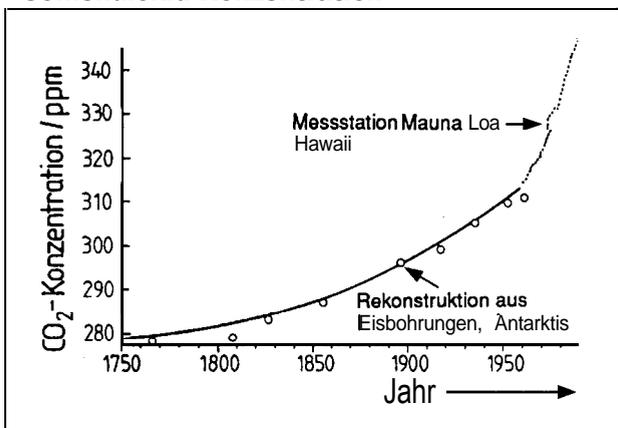
Aufteilung des Weltenergieverbrauchs

Nichtererneuerbare Energieträger:	80%
Kernenergie:	5%
Fossil:	75%
Erdöl:	32%
Kohle:	26%
Erdgas:	17%
Erneuerbare Energieträger:	20%
Biomasse:	13%
Wasserkraft:	6%
Sonne direkt und Wind:	1%



Das Zeitalter der fossilen Brennstoffe. Bei weiter zunehmendem Verbrauch werden die Ressourcen in wenigen Generationen aufgebraucht sein.

Entwicklung der atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentration



Energieträger abgedeckt, wovon die Biomasse (Holz, Dung und landwirtschaftliche Reststoffe) mit 13% den Hauptanteil ausmacht.

In der Schweiz deckt die Holzenergie etwa 1.6% des Energieverbrauchs und ist damit nach der Wasserkraft der zweitwichtigste inländische und gleichzeitig der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger.

Da die Vorräte an fossilen Rohstoffen begrenzt sind und beim heutigen Verbrauch in wenigen Generationen aufgebraucht sein werden, ist eine einseitige Abhängigkeit von fossilen Energieträgern auf lange Sicht nicht möglich. Zudem führt die Verwendung fossiler Brennstoffe zu einem Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre. Dies kann zu Klimaveränderungen führen, welche eine Reduktion des Verbrauchs lange vor der Erschöpfung der Vorräte erforderlich machen. Die erneuerbaren Energieträger müssen deshalb vermehrt eingesetzt werden zur Substitution nicht-erneuerbarer Energien. In der Schweiz kommt dabei dem Holz eine wichtige Rolle zu, da der inländische Energieholzverbrauch bei nachhaltiger Waldpflege verdoppelt bis verdreifacht werden kann.

Ein zentrales Argument für den Einsatz von automatischen Holzfeuerungen ist somit die Substitution fossiler Brennstoffe durch den CO₂-neutralen Brennstoff Holz. Holz weist aber noch zahlreiche weitere Vorteile auf. So erfolgt die Bereitstellung von Holz im eigenen Land und schafft Arbeitsplätze in wirtschaftlich schwächeren Randregionen. Eine vermehrte Holznutzung unterstützt auch die zur Erhaltung der vielfältigen Funktionen des Waldes notwendige Waldpflege: Der Wald verhindert Lawinen, Erosion und Steinschlag und er dient der Bevölkerung als Erholungsraum.

Bei der Holzenergie entfallen zudem die Belastungen durch lange Transporte. Der Einsatz grauer Energie ist geringer als bei importierten Energieträgern und die ökologischen Risiken durch Transportunfälle und Leckageverluste entfallen.

1.4 Versorgungsketten

Waldholz

Bei der **direkten Versorgungskette** wird das geschlagene Energieholz im Wald zu Holzschnitzeln verarbeitet und direkt zum Verbraucher transportiert. Für eine grössere Versorgungssicherheit kann der Lieferant das Rundholz an einem für den Hacker auch im Winter (Schnee, Glatteis) zugänglichen Ort lagern.

Die direkte Versorgungskette ist kostengünstig, weil der Bearbeitungsaufwand minimal ist und kein Schnitzelzwischenlager benötigt wird. Der Energieholzlieferant muss die Versorgungssicherheit auch im Winter bei schlechter Zugänglichkeit zum Wald garantieren. Die Schnitzel haben einen Wassergehalt bis maximal 60%.

Durch eine Lagerung der gefällten und nicht entlaubten Bäume während **einiger Wochen** oder Monate im Wald wird bereits eine massgebliche Vortrocknung erreicht (Wassergehalt < 50%). Gleichzeitig bleibt dabei dem Wald der grösste Anteil an Laub und Nadeln als Mineralstoffe erhalten.

Bei der **indirekten Versorgungskette** wird das Energieholz ausserhalb des Waldes in Form von Holzschnitzeln zwischengelagert.

Empfehlung:

Die indirekte Versorgungskette ist **teurer**, weil sie ein Schnitzelzwischenlager benötigt. Sie hat dort eine Berechtigung, wo der Zugang zum Wald im Winter nicht möglich ist, sowie als regionale Lösung, wenn sehr grosse Schnitzelmengen umgesetzt werden (Pufferlager).



Mobiles Hacker im Wald

Direkte Versorgungskette

- Fällen und Transport zu befahrbarem Weg, evtl. Lagerung als Rundholz (Polter) oder des ganzen Baumes im Wald
- Hacken an der Waldstrasse
- direkter Transport der Schnitzel zum Verbraucher

Vorteile:

- günstig

Zu beachten:

- Versorgungssicherheit im Winter
- hoher Wassergehalt

Indirekte Versorgungskette

Variante A:

- Fällen und Transport zu befahrbarem Weg
- Hacken an der Waldstrasse
- Transport zum Schnitzelzwischenlager
- Transport zum Verbraucher

Variante B:

- Fällen und Transport zu befahrbarem Weg
- Transport des Rundholzes zum Schnitzellager
- Lagerung des Rundholzes beim Schnitzellager
- Hacken und Lagerung im Schnitzellager
- Transport zum Verbraucher

Vorteile:

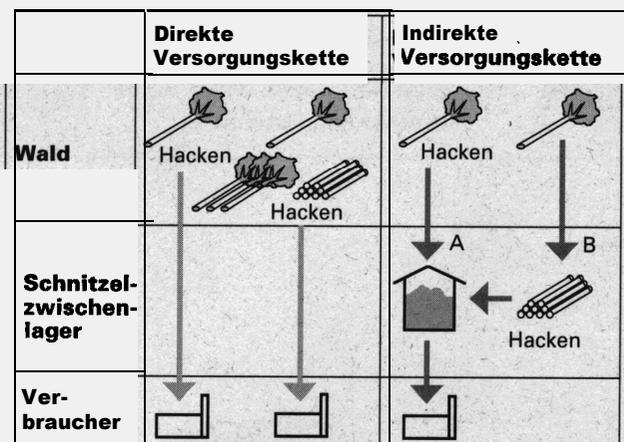
- hohe Versorgungssicherheit
- Wassergehalt der Schnitzel ist in der Regel niedrig und gleichmässig

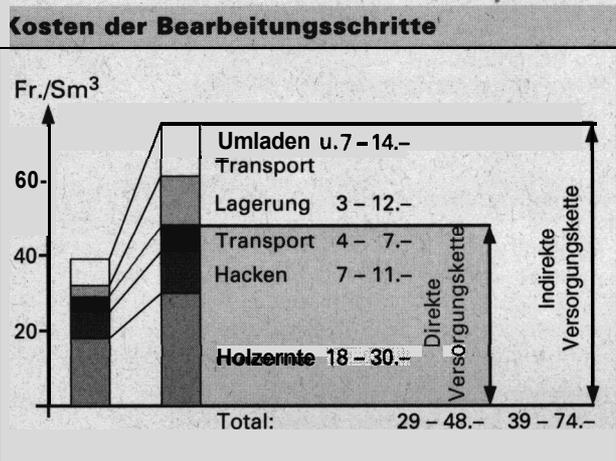
Nachteil:

- teuer

Zu beachten:

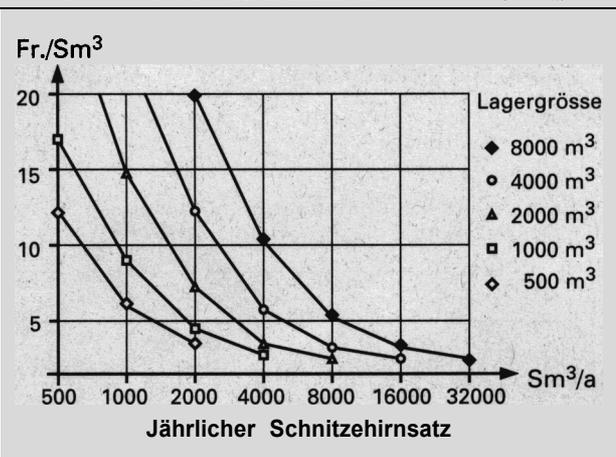
- komplizierte Handhabung der Schnitzel
- Schnitzelzwischenlagerung notwendig





Kosten eines Zwischenlagers

Ein- und Ausladen verursacht ca. Fr. 4 - 6.-/Sm³



Nebst der direkten und der indirekten Versorgungskette gibt es die gemischte Versorgungskette, bei der beide Varianten kombiniert sind. Sie ermöglicht eine grosse Versorgungssicherheit und ist wegen der kleineren Schnitzelzwischenlager etwas günstiger als die indirekte Versorgungskette.

Der Aufwand zur Bereitstellung von Energieholz hängt von den Bearbeitungsschritten ab:

- Holzernte (Fällen, Entasten, Rückarbeiten)
- Hacken
- Transport zum Silo (max. 10 km) bzw. Zwischenlager
- Zwischenlagerung
- Umladen, Transport.

Da der Aufwand für Ernte, Hacken, Transport und Lagerung vor allem vom zu verarbeitenden Volumen und nicht vom Gewicht abhängig ist, sind die Preise pro Energieinhalt für Nadelholz in der Regel rund 10%-15% höher als für Laubholz.

Der Aufwand zur Bereitstellung von Energieholz beträgt bei der direkten Versorgungskette zwischen Fr. 29.-/Sm³ und Fr. 48.-/Sm³. Bei den aktuellen Marktpreisen (siehe Kap. 1.8) kann die direkte Versorgungskette somit in etwa kostenneutral betrieben werden. Dagegen beträgt der Aufwand bei der indirekten Versorgungskette zwischen Fr. 39.-/Sm³ und Fr. 74.-/Sm³, was in der Regel zu einem defizitären Betrieb führt.

Die Zwischenlagerung von Schnitzeln kann zwei Funktionen erfüllen:

- Trocknung und Homogenisierung
- Verbesserung der Verfügbarkeit im Winter.

Um die Kosten gering zu halten, muss

- die Lagergrösse so dimensioniert sein, dass das Nettovolumen pro Jahr möglichst oft umgesetzt wird
- die mechanische Einrichtung effizient, kostengünstig und für das Holzsortiment geeignet sein.

Naturbelassenes Energieholz aus der Holzverarbeitung

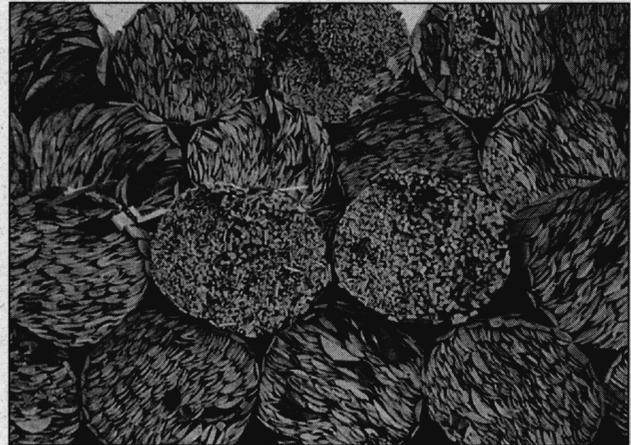
In Sägereien (erste Verarbeitungsstufe) fällt naturbelassenes Energieholz an (Schwarten, Spreissel, Rinde und Sägespäne). Bei eigener Wärmeversorgung durch Holz wird das Holz mit einem stationären Hacker verarbeitet und im eigenen Schnitzellager gelagert. Andernfalls wird das Holz zu einem Schnitzellager in der Nähe transportiert und dort verarbeitet.

Restholz

In Zimmereien, Schreinereien, Hobelwerken etc. (zweite Verarbeitungsstufe) fallen teils naturbelassene, teils behandelte Verarbeitungsreste in unterschiedlicher Form an. Sie werden zu Schnitzeln verarbeitet oder brikettiert (z.B. Schleifstaub) und oft im eigenen Betrieb energetisch genutzt.

Restholz aus der zweiten Verarbeitungsstufe ist in der Regel trocken (Wassergehalt 7%-20%) und kann einen Staubanteil von bis zu 20% aufweisen, was zu Problemen bei der Lagerung und bei der Verbrennung führen kann.

Reste von PVC-beschichteten oder druckimprägnierten Hölzern müssen zusammen mit den Siedlungsabfällen in Kehrrichtverbrennungsanlagen entsorgt werden.



Energieholz aus Sägereien: Schwarten und Spreissel

$$\text{Wassergehalt } w [\%] = \frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]} \cdot 100}{\text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}}$$

$$\text{Holzfeuchtigkeit } u [\%] = \frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]} \cdot 100}{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]}}$$

Anstelle von w wird auch x verwendet
 u wird auch als $\%_{\text{atro}}$ bezeichnet (atro: absolut trocken)

Umrechnung

$$\text{Wassergehalt } w [\%] = \frac{u [\%]}{100 + u [\%]} \cdot 100$$

$$\text{Holzfeuchtigkeit } u [\%] = \frac{w [\%]}{100 - w [\%]} \cdot 100$$

Umrechnungstabelle

w [%]	u [%]
0	0
25	33
40	67
50	100
60	150

Typische Werte

Sortiment	w [%]	u [%]
Holzsnitzel aus dem Wald	20 – 50	25 – 100
Holzsnitzel unter Dach gelagert	20 – 30	25 – 43
Holzsnitzel lufttrocken	15 – 20	18 – 25
Restholz aus Sägerei	25 – 60	33 – 150
Restholz aus Zimmerei	13 – 20	15 – 25
Restholz aus Schreinerei	7 – 17	7 – 20

1.5 Wassergehalt und Holzfeuchtigkeit

Zur Angabe des Wasseranteils im Holz sind zwei Grössen üblich:

- Der **Wassergehalt w** wird als Verhältnis von kg Wasser zu kg feuchtem Holz definiert
- Die **Holzfeuchtigkeit u** bezeichnet das Verhältnis von kg Wasser zu kg absolut trockener Holzsubstanz.

Die Bestimmung des Wassergehalts erfolgt durch Wägen einer feuchten Probe, Trocknen der Probe und Wägen der trockenen Probe.

Die Trocknung erfolgt in einem Trockenschrank (ca. Fr. 1'500.–) während ca. 24 Stunden bei 102 °C bis 105 °C. Eine raschere Trocknung ist mit einem Heisslufttrocknungsgerät oder einer Strahlungstrocknungs-Waage möglich.

Eine grobe Bestimmung kann auch mit einem Mikrowellenofen durchgeführt werden (Trocknungsdauer rund 15 Minuten, Vorsicht vor Brandgefahr) oder mit einem Backofen, bei dem die Temperatur genügend genau eingestellt werden kann.

Der Wassergehalt hat praktisch keinen Einfluss auf das Volumen von Holz, das Gewicht wird jedoch **massgeblich** verändert. Wird das Holz nach Volumen gehandelt, so beeinflusst der Wassergehalt den Energieinhalt nur wenig. Der Energieinhalt eines **Schüttkubikmeters** waldfrischer Schnitzel ist nur ca. 10% geringer als derjenige von luftgetrockneten Schnitzeln. Erfolgt die Abrechnung nach Gewicht, so muss der Einfluss des Wassergehalts unbedingt berücksichtigt werden.

Nebst dem natürlichen Wassergehalt des Holzes kann Holz auch Fremdwasser enthalten, das bei **unsachgemässer** Schnitzellagerung von Regen oder Schnee herrührt. Fremdwasser kann den Verbrennungsvorgang erheblich beeinträchtigen. Der Wassergehalt allein beschreibt somit die Qualität des Energieholzes nur unzureichend. Neben der Einhaltung der von der Feuerung her vorgegebenen Grenze des Wassergehaltes muss gewährleistet sein, dass keine grösseren Mengen an Fremdwasser enthalten sind.

1.6 Klassierung von Energieholz

Klassierung für Verkauf

Harte Laubhölzer (**V1**) haben eine höhere Dichte und somit pro Volumen ein höheres Gewicht und einen höheren Energieinhalt als Nadelhölzer (**V2**).

Beim Verkauf von Energieholz wird zudem zwischen Verkauf nach Volumen (**V**) und Verkauf nach Gewicht (**G**) unterschieden. Energieholz wird heute in der Regel nach Volumen verkauft.

Massgebend für die Verrechnung von Energieholz ist die in Form von Holz gelieferte Energiemenge. Die folgende Klassierung soll deshalb die Unterschiede in Dichte und Heizwert von Nadel- und Laubhölzern kompensieren.

Verkauf nach Volumen (V)

Die Klasse V1 hat pro Volumen einen höheren Energieinhalt als V2. Diese Einteilung wird beim Verkauf pro Volumen (Sm^3 , Ster) verwendet.

Verkauf nach Gewicht (G)

Bezogen auf das Trockengewicht (t_{atro}) sind die Unterschiede im Energieinhalt gering. Beim Verkauf nach Gewicht muss deshalb nicht nach Holzart unterschieden werden.

Klassierung für Anlagentechnik

Aus anlagentechnischer Sicht erfolgt eine Klassierung nach Schnitzelgrösse und Wassergehalt.

Einteilung von Energieholz nach anlagentechnischen Kriterien

Sortiment	Schnitzelgrösse mm	max. Anteil Überlängen Gew.-%	max. Feinanteil* bis 3 mm Gew.-%	max. Rindenanteil Gew.-%	mak. Wassergehalt w**	max. Holzfeuchtigkeit u**
Trockene Holzschnitzel fein	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 30 %	< 43 %
Feuchte Holzschnitzel fein	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	c 10 %	< 50 %	< 100 %
Feuchte Holzschnitzel grob	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	c 10 %	c 50 %	c 100 %
Nasse Holzschnitzel grob mit erhöhtem Rindenanteil	60/20/10	1 % > 220 mm	c 5 %	c 30 %	c 60 %	< 150 %

* zuzüglich max. Nadelanteil von 5%

** Wassergehalt bzw. Holzfeuchtigkeit von sachgemäss gelagertem Holz ohne Fremdwasser

Verkauf nach Volumen (V1 bzw.. V2)

V1	Harte Laubhölzer	Eiche, Buche, Esche, Ulme, Edelkastanie, Robinie, Hagebuche, Birke, Nussbaum, Obstbäume (ausser Kirschbaum)
V2	Nadelhölzer und weiche Laubhölzer	Fichte, Tanne, Föhre, Douglasie, Lärche, Erle, Ahorn, Kirschbaum, Pappel, Weiden

Verkauf nach Gewicht (G)

G	alle Laub- und Nadelhölzer	
---	----------------------------	--

$$\text{Heizwert } H_u [\text{kWh/kg}] = \frac{\text{Energieinhalt} [\text{kWh}]}{\text{Gewicht des feuchten Holzes} [\text{kg}]}$$

Anstelle von kWh/kg wird auch mit MJ/kg gerechnet.
Umrechnung: 1 kWh = 3.6 MJ

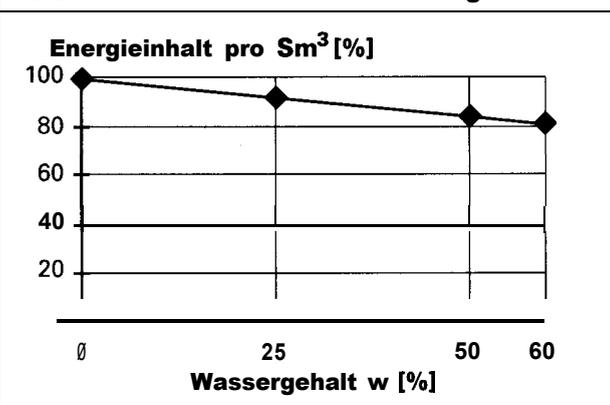
Heizwert H_u (früher unterer Heizwert):

Energiemenge, die bei der Verbrennung von einem Kilo Brennstoff als fühlbare Wärme genutzt werden kann, also durch Abkühlung der Abgase auf die Ausgangstemperatur, wobei das Wasser im Abgas dampfförmig vorliegt.

Brennwert H_o (früher oberer Heizwert):

Energiemenge, die bei der Verbrennung von einem Kilo Brennstoff durch fühlbare Wärme und Verdampfungswärme genutzt werden kann, also durch Abkühlung der Abgase auf die Ausgangstemperatur, wobei das Wasser im Abgas flüssig vorliegt.

Prozentuale Veränderung des Energieinhalts pro Sm^3 mit zunehmendem Wassergehalt



1.7 Energieinhalt

Der **Energieinhalt** von Holz wird in der Regel angegeben durch den **Heizwert H_u** . Der Heizwert ist die bei der Verbrennung von einem kg feuchtem Holzgewinnbare Energie, wenn **die Abgase** auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden und das Wasser im Abgas in Dampfform vorliegt.

Der Heizwert von absolut trockener Holzsubstanz variiert wenig zwischen den verschiedenen Holzarten und beträgt im Mittel 5.15 kWh/kg oder 18.5 MJ/kg.

Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt der Energieinhalt pro **Schüttkubikmeter** leicht ab, da das im Holz enthaltene Wasser bei der Verbrennung verdampft werden muss. Anlagen mit Abgaskondensation gewinnen einen Teil dieser Verdampfungswärme wieder zurück (siehe Kap. 3.4).

Die harten Laubhölzer besitzen wegen ihrer größeren Dichte einen höheren Energieinhalt pro Volumen als Nadelhölzer. Bezogen auf das Trockengewicht sind die Unterschiede zwischen Laub- und Nadelhölzern jedoch gering.

Energieholz aus der Holzverarbeitung weist je nach Herkunft sehr grosse Unterschiede in Form und Wassergehalt auf. Sägereiholz (1. Verarbeitungsstufe) weist in der Regel einen hohen Wassergehalt auf, während Restholz aus Schreinereien und Zimmereien (2. Verarbeitungsstufe) meist sehr trocken ist. Je nach Verarbeitungsart können bei Schreinerei- und Zimmereirestholz extrem grosse Unterschiede auftreten in bezug auf Korngrösse (Stückholz bis Staub) und **Schüttdichte**. Entsprechend resultieren für den Heizwert pro Volumen Unterschiede bis zu einem Faktor 10. Die Auslegung von Restholzfeuerungen muss deshalb die besonderen Gegebenheiten des jeweiligen Betriebs berücksichtigen.

Eine genaue Heizwertanalyse kann z.B. an der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) durchgeführt werden.

Energieholz aus der Holzverarbeitung	Heizwert
Sägerei (naturbelassen) (Wassergehalt w 40%–60%) Hackschnitzel aus Rinde	850 – 1'100 kWh/Sm ³
Sägemehl	600 – 800 kWh/Sm ³
Schreinerei und Zimmerei (Restholz) (w 10%-15%)	
Massivholz	2'250 – 2'950 kWh/m ³
Holzwerkstoffplatten	3'000 – 4'400 kWh/m ³
Briketts	4'400 – 7'700 kWh/m ³
Schnitzel aus Massivholz	900 – 1'150 kWh/Sm ³
Schnitzel aus Holzwerkstoffplatten	1'200 – 1'750 kWh/Sm ³
Späne/Staub aus Massivholz	650 – 850 kWh/Sm ³
Späne/Staub aus Holzwerkstoffplatten	1'000 – 1'400 kWh/Sm ³

Heizwert pro Sm³(V1,V2) bzw. pro Tonne Trockengewicht (G) in Funktion des Wassergehalts

Wassergehalt	Heizwert pro Volumen		Heizwert pro Gewicht G kWh/t _{atro}
	^{v1} kWh/Sm ³	^{v2} kWh/Sm ³	
w = 0%	950-1'200	750-900	5'150
w = 25%	910-1'150	720-860	4'920
w = 50%	820-1'040	650-780	4'450
w = 60%	770 – 970	600-730	4'100

Mittelwerte für die Kategorien V1 und V2 sind bei der Vereinigung für Holzenergie VHe erhältlich.

Verrechnungsarten für Energieholz

- Abrechnung pro Schüttkubikmeter Sm^3
- Abrechnung pro Tonne Trockensubstanz t_{atro}
- Abrechnung pro kWh erzeugte Wärme (Nutzenergie)

Abrechnung pro Schüttkubikmeter Sm^3

Vorteil:

- Einfache Bestimmung des Volumens

Nachteil:

- Grosse Unsicherheit über Energieinhalt

Abrechnung pro Tonne Trockensubstanz t_{atro}

Vorteil:

- Unabhängig von Holzart und Schüttdichte
- Hohe Genauigkeit bezüglich Energieinhalt

Nachteil:

- Messung von Gewicht und Wassergehalt notwendig

Bestimmung des Trockengewichts

$$\text{Gewicht}_{\text{atro}} = \text{Gewicht}_{\text{feucht}} \cdot \left(1 - \frac{\text{Wassergehalt } w [\%]}{100}\right)$$

Abrechnung pro kWh erzeugte Wärme

Vorteil:

- Unabhängig von Holzart und Schüttdichte
- Unabhängig von Wassergehalt

Nachteil:

- Abhängig vom Jahresnutzungsgrad der Anlage
- Abschätzung des Jahresnutzungsgrads der Anlage
- Beschränkung auf einen Lieferanten

1.8 Verrechnung von Energieholz

Energieholz kann nach Schüttkubikmeter, nach Gewicht oder nach erzeugter Wärmemenge verrechnet werden.

Die am meisten verbreitete Methode ist die **Verrechnung nach Schüttkubikmeter Sm^3** . Sie ist nicht sehr genau, weil die Dichte des Holzes und die Schüttdichte der gelieferten Schnitzel und damit der Energieinhalt stark variieren können. Dafür ist die Bestimmung des gelieferten Volumens sehr einfach und verursacht praktisch keine Kosten. Der Preis für eine Lieferung wird aufgrund des Energieinhalts pro Schüttkubikmeter für die verschiedenen Holzsortimente in Funktion des Wassergehalts (trocken, waldfrisch) festgelegt.

Der **Verkauf pro Tonne Trockensubstanz t_{atro}** ist genauer als die Abrechnung nach Schüttkubikmeter, da die Holzart und die Schüttdichte keine Rolle spielen. Allerdings müssen das Gewicht und der repräsentative Wassergehalt einer Lieferung bestimmt werden. Die Gewichtsbestimmung erfolgt z.B. durch Wägung des Lastwagens vor und nach dem Entleeren. Lastwagen mit Gewichtssensoren dürfen ihr Messsystem benutzen, wenn eine ausreichende Genauigkeit garantiert wird. Zur Bestimmung des Wassergehalts sollten entweder mehrere Proben oder eine repräsentative Mischprobe untersucht werden. Der Preis für eine Lieferung wird anhand des Energieinhalts pro Tonne Trockensubstanz festgelegt.

Der Verkauf nach Gewicht erfolgt im industriellen Bereich und auch bei Grossanlagen zur Biomasse-Verwertung z.B. in den USA oder in Skandinavien. Wegen des für Kleinanlagen vergleichsweise hohen Aufwands wird diese Abrechnungsmethode für Holzfeuerungen in der Schweiz derzeit praktisch nicht verwendet.

Der **Verkauf pro kWh erzeugte Wärme** (Nutzenergie) ist möglich bei Anlagen, die mit einem Wärmezähler die abgegebene Nutzenergie messen (z.B. Nahwärmeverbund). Die Nutzenergie ergibt sich aus dem gelieferten Energieinhalt des Brennstoffs und dem Jahresnutzungsgrad (Kap. 2.8) der Anlage. Für die Abrechnung wird ein Preis in Fr. pro MWh gelieferte Energie (Endenergie, Energieinhalt im gelieferten Holz) vereinbart.

Anlagenbetreiber und Energieholzlieferant müssen das Vorgehen zur Bestimmung der gelieferten Energiemenge gemeinsam festlegen. Ein Vorschlag zum Vorgehen dazu kann bei der Schweizerischen Vereinigung für Holzenergie VHe bezogen werden. Der Jahresnutzungsgrad wird dabei mit einer Formel bestimmt, die den feuerungstechnischen Wirkungsgrad sowie die Abstrahlungs- und Bereitschaftsverluste berücksichtigt (siehe Anhang 9.3).

Die Marktpreise für Energieholzschnitzel aus dem Wald und aus Sägereien werden als Empfehlung des Waldwirtschaft-Verbandes Schweiz WVS und des Schweizerischen Sägerei- und Holzindustrieverbandes SHIV jeweils zu Beginn der Heizsaison festgelegt.

Für Restholz aus der zweiten Verarbeitungsstufe gibt es keine Preisempfehlung, es wird auf dem lokalen Markt verkauft. Der Preis ist sehr niedrig, teilweise bekommt ein Abnehmer sogar eine Entsorgungsgebühr von ca. Fr. 20.– bis 40.– pro Tonne.

In Teilen der Schweiz sind Bestrebungen im Gang, einen Spotmarkt für Energieholz aufzubauen. Wie an der Börse können dort Anbieter und Abnehmer mit Energieholz handeln. Der Zugang zur Börse wird über eine zentrale Datenbank ermöglicht. Die Lieferungen sollen regional erfolgen.

Der Spotmarkt soll ein breiteres Angebot im Energieholzmarkt ermöglichen, die Versorgungssicherheit und Flexibilität beim Ankauf erhöhen und so den Einsatz der Holzenergie fördern.

Preisempfehlung WVS/SHIV für 1993/94

Sortiment	Preis *	Relativer Energieinhalt pro Sm ³ **
	franko Silo Fr./Sm ³	
Laubholz trocken	45-52	1.10
Laubholz feucht	35 – 43	1
Nadelholz trocken	33 – 38	0.73
Nadelholz feucht	26 – 34	0.66
Späne, Sägemehl, Rinde	nach Vereinbarung ca. 5	
Schwarten, Spreissel (gehackt)	15-20	

* Für die angegebenen Preisbereiche ergeben sich für Nadelholz rund 10% – 15% höhere Preise pro Energieinhalt als für Laubholz. Vergleichbare Preise pro Energieinhalt ergeben sich, wenn für Laubholz die höheren und für Nadelholz die niedrigen Werte der Bereiche eingesetzt werden.

Beispiel: Fr. 50.–/Sm³ Laubholz trocken entsprechen Fr. 33.–/Sm³ Nadelholz trocken.

** Referenz: Laubholz feucht = 1

Empfehlung PACER

Preisbasis Fr. 36.–/MWh Endenergie

Sortiment	v1	v2	G
	Fr./Sm ³	Fr./Sm ³	Fr./t _{atro}
Trockene Holzschnitzel fein	48	30	178
Feuchte Holzschnitzel fein	43	29	162
Feuchte Holzschnitzel grob	43	29	162
Nasse Holzschnitzel grob mit erhöhtem Rindenanteil	40	27	149

alle Preise franko Silo

Die Preisangaben basieren auf provisorischen Angaben über den Energieinhalt.

**Definition von Holzbrennstoffen gemäss
Luftreinhalte-Verordnung LRV 92
(Anhang 5 Ziffer 3)**

- 1 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.
- 2 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 (z.B. PVC) aufweisen;
 2. mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol intensiv behandelte Holzabfälle (z.B. Eisenbahnschwellen, Telefonmasten, Gartenzäune) oder Altholz;
 3. Gemische von solchen Abfällen mit Holzbrennstoffen nach Absatz 1 oder Altholz nach Buchstabe a.

1.9 LRV 92 und weitere Verordnungen

Luftreinhalte-Verordnung LRV 92

Die Luftreinhalte-Verordnung LRV 92 definiert die für die Verbrennung in Holzfeuerungen vorgesehenen Holzbrennstoffe. Sie legt Emissionsgrenzwerte für stationäre Anlagen und die maximal zulässige Belastung der Luft (Immissionsgrenzwerte) fest.

Staubgehalt (Feststoffgehalt):

Der maximale Staubgehalt beträgt 150 mg/m³ bei Anlagen von 70 kW bis 5 MW. Es existieren keine Vorschriften bei Anlagen unter 70 kW. Bei Anlagen über 5 MW beträgt der Grenzwert 50 mg/m³.

Kohlenmonoxid (CO):

Der Grenzwert für Kohlenmonoxid (Indikator für die Verbrennungsqualität) ist von der Anlagen-grösse abhängig. Bei der Verbrennung von Restholz sind die Vorschriften strenger als für naturbelassenes Holz. Dieser Unterschied macht sich vor allem bei Anlagen unter 200 kW bemerkbar.

Stickoxide (NO_x):

Die Emissionsbegrenzung für Stickoxide tritt erst bei Überschreitung eines Stickoxid-Massenstroms von 2500 g/h in Kraft (Anhang 1 Ziffer 6). Damit kommt sie in der Regel erst ab einer Anlageleistung von ca. 1.5 MW zum Tragen; bei naturbelassenem Holz erst ab ca. 4 MW.

Kohlenwasserstoffe:

Ab einer Anlageleistung von 1 MW gelten Grenzwerte für gasförmige, organische Stoffe.

Ammoniak:

Die Grenzwerte für Ammoniak und Ammonium-Verbindungen sind nur bei Anlagen mit Entstickungseinrichtung von Bedeutung und kommen bei Anlagen ab ca. 1 MW zum Tragen.

Die Kantone sind verantwortlich für den Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung. Sie bestimmen die für die Messungen ermächtigten Personen.

Spezialfälle

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

Nebst der LRV können für den Betreiber einer Holzfeuerung folgende weitere Verordnungen von Bedeutung sein:

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. Restholz aus 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.

Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung StoV)

Die Stoffverordnung regelt die Beurteilung der Umweltverträglichkeit und den Umgang mit Stoffen. Unter anderem sind auch Qualitätsanforderungen für Dünger (z.B. ein minimaler Nährstoffgehalt und ein maximaler Schadstoffgehalt) und Bodenverbesserungsmittel festgelegt.

Die Verwendung von Rostaschen aus Holzfeuerungen ist grundsätzlich als Abfalldünger oder Bodenverbesserungsmittel in der Landwirtschaft möglich. Die Begrenzungen der Schwermetallgehalte orientieren sich dabei an den Grenzwerten für Kompost, wobei sich Chrom, Zink und Cadmium als problematisch erweisen können.

Emissionsgrenzwerte für Holzfeuerungen gemäss Luftreinhalte-Verordnung LRV 92 (Anhang 3 Ziffer 522)

	Feuerungswärmeleistung					
	über 20 kW bis 70 kW	über 70 kW bis 200 kW	über 200 kW bis 500 kW	über 500 kW bis 1 MW	über 1 MW bis 3 MW	über 3 MW
Holzbrennstoffe						
- Bezugsgrösse: Die Grenzwerte beziehe 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 Holz Brennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. a und b mg/m ³	4000 ¹⁾	2000	1000	500	250	250
- für Holz Brennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. c mg/m ³	1000	1000	800	500	250	250
- Stickoxide (NO _x), angegeben als Stickstoffdioxid (NO ₂) mg/m ³	2)	2)	2)	2)	2)	2)
- gasförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff (C) mg/m ³	-	-	-	-	50	50
- Ammoniak und Ammoniumverbindungen, angegeben als Ammoniak mg/m ³	-	-	-	-	30	30

Hinweise:

- Die Angabe eines Strichs in der Tabelle bedeutet, dass weder nach Anhang 3 noch nach Anhang I eine Begrenzung vorgeschrieben ist.
- 1) Gilt nicht für Zentralheizungsherde.
- 2) Siehe Stickoxid-Grenzwert Anhang 1 Ziffer 6.
- 3) Diese Emissionsbegrenzung ist nur für Feuerungsanlagen mit Entstickungseinrichtung von Bedeutung.

Prinzipien der TVA

Verwertungspflicht
Abfälle sollen verwertet werden, wenn technisch möglich und wirtschaftlich tragbar.

Vermischungsverbot
Die Vermischung von verschiedenen Abfällen oder von Abfällen mit Zuschlagstoffen ist verboten, wenn dies in erster Linie dazu dient, den Schadstoffgehalt der Abfälle durch Verdünnen herabzusetzen.

Verbrennungspflicht
Brennbare Abfälle müssen, soweit sie nicht verwertet werden können, in geeigneten Anlagen verbrannt werden. 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, sofern sie die entsprechenden Anforderungen erfüllen (TVA, Anhang 1, Ziffer 3).

Rostasche als Abfalldünger:

- kommt nur bei Anlagen mit naturbelassenem Holz in Frage
- muss einen minimalen Nährstoffgehalt (Kalium, evtl. Phosphor) aufweisen
- darf die Schwermetallgrenzwerte für Kompost (v.a. Chrom, Zink und Cadmium) nicht überschreiten.

2 Wärmeerzeugung

2.1	Verbrennungsvorgang von naturbelassenem Holz	27
	Kohlendioxid (CO ₂)	29
	Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Teer und Russ	29
	Stickoxide (NO _x)	30
	Staub	31
	Dioxine und Furane	31
<hr/>		
2.2	Restholz	32
	Schadstoffe bei der Verbrennung von nicht naturbelassenem Holz	32
	Konsequenzen für die Restholznutzung	32
<hr/>		
2.3	Übersicht Holzbrennstoffe und Nicht-Holzbrennstoffe gemäss LRV 92	34
<hr/>		
2.4	Feuerungstechnik	35
	Konstruktive Anforderungen an eine gute Holzfeuerung	35
	Verbrennungsverhalten in verschiedenen Feuerungstypen	36
<hr/>		
2.5	Regelung von automatischen Holzfeuerungen	38
	Unterdruckregelung	38
	Leistungsregelung	38
	Verbrennungsregelung	39
<hr/>		
2.6	Abgasreinigung	41
	Staub- und Schwermetallabscheidung	41
	Zyklon	42
	Elektrofilter	42
	Gewebefilter und Keramikfilter	43
	Nasswäscher	43
	Abscheidung von Salzsäure HCl	44
	Abgasentstickung	44
<hr/>		
2.7	Typische Emissionswerte	45
<hr/>		
2.8	Wirkungsgrade und Jahresnutzungsgrad	46
	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	46
	Kesselwirkungsgrad	46
	Jahresnutzungsgrad	47

2 Wärmeerzeugung

2.1 Verbrennungsvorgang von naturbelassenem 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. Die brennbaren Gase aus dem Holz sind Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂) und Kohlenwasserstoffe (KW). 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 **Oxidation** der Gase und der Holzkohle. Die Schadstoffe von Holzfeuerungen können entsprechend unterteilt werden in Schadstoffe aus **unvollständiger** und solche aus **vollständiger Verbrennung**.

Die unvollständig verbrannten Schadstoffe, also Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Teer, Russ und unverbrannte Partikel, können durch eine geeignete Verbrennungsführung vermieden werden. Erforderlich dazu sind eine ausreichend hohe Temperatur, genügend Sauerstoff sowie eine gute Vermischung der Gase mit der Verbrennungsluft.

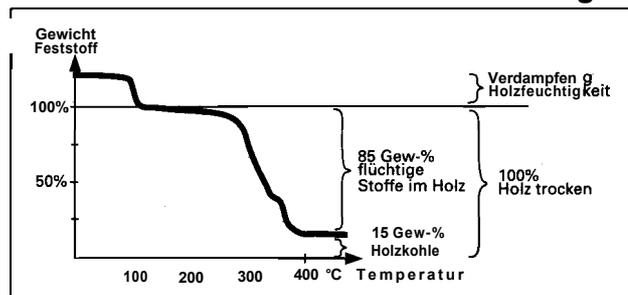
Die Stickoxide stammen dagegen hauptsächlich aus dem im Holz gebundenen Stickstoff und können nur bedingt durch die Verbrennungsführung beeinflusst werden. Aschepartikel fallen auch bei einer vollständigen Verbrennung an und treten als Emission auf, sofern sie mit dem Abgas mitgerissen werden. Für die Partikel ist deshalb eine Staubabscheidung vorzusehen.

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, für Kohlenwasserstoffe ist dagegen erst bei Anlagen ab 1 MW ein Grenzwert festgelegt (Kapitel 8).

Hob 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. Oxidation der Gase (Brennkammer) und Abbrand der Holzkohle (Glutbett).

Dar Verhalten von Holz bei der Erwärmung



Bei der Oxidation der Vergasungsprodukte (85 Gew.-%) werden rund $\frac{2}{3}$ der Energie, bei der Oxidation der Holzkohle (15 Gew.-%) rund $\frac{1}{3}$ der Energie freigesetzt. Die Oxidation der Holzkohle dauert rund doppelt so lang wie die Vergasung des Holzes.

Schadstoffe aus der Holzverbrennung

Schadstoffe aus **unvollständiger Verbrennung:**

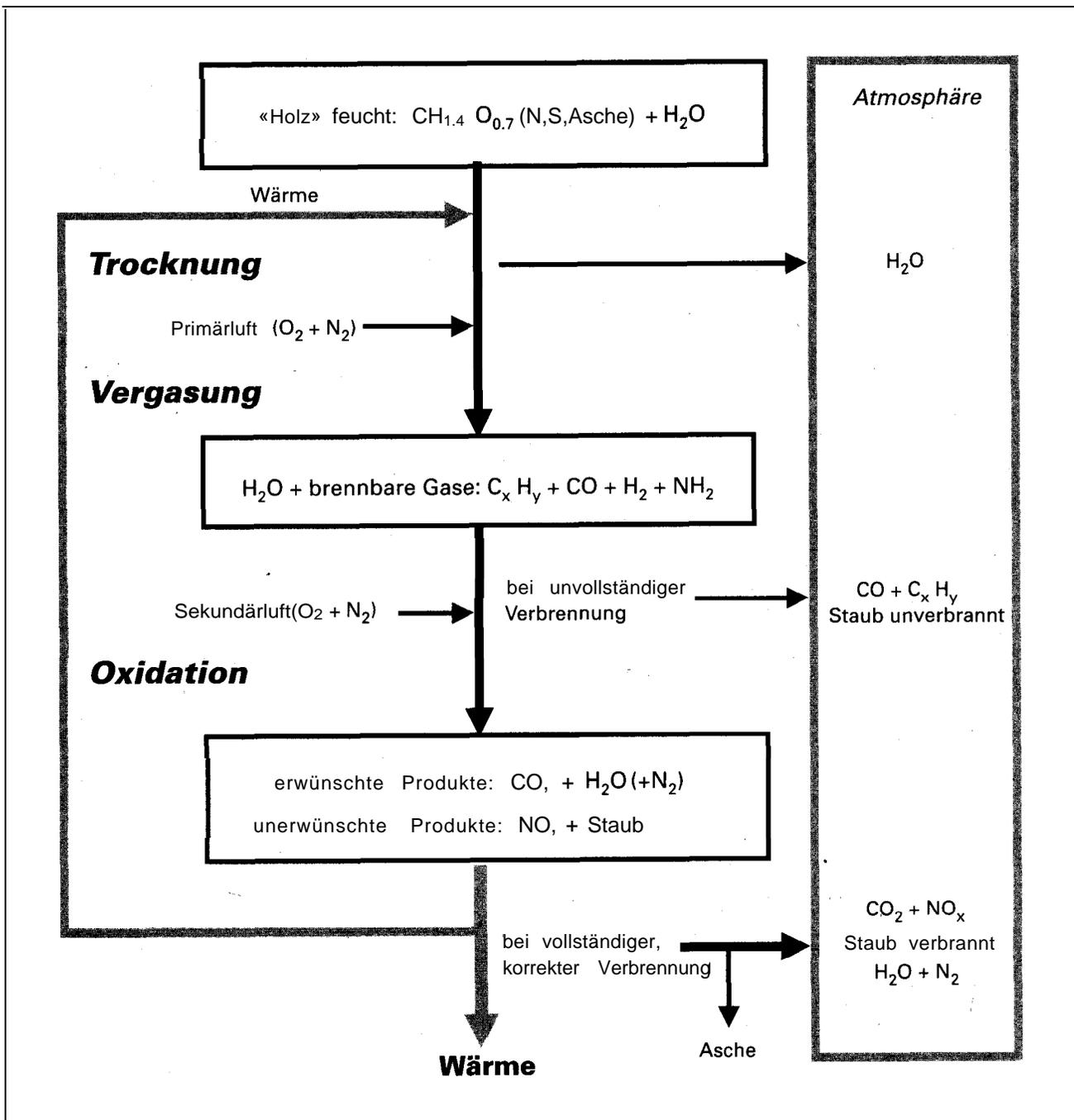
- Kohlenmonoxid CO
- Kohlenwasserstoffe KW (C_xH_y)
- Teer, Russ
- Unverbrannte Partikel (brennbarer Staubanteil)

Schadstoffe aus **vollständiger Verbrennung:**

- Stickoxide NO_x
- Aschepartikel (nichtbrennbarer Staubanteil)

Daneben entstehen folgende erwünschte Produkte der vollständigen Verbrennung:

- Kohlendioxid CO₂
- Wasserdampf H₂O



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. Solange nicht mehr Holz genutzt wird als im Wald nachwächst, erfolgt die Holzenergienutzung deshalb in einem CO₂-neutralen Kreislauf.

Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, leer und Russ

Um einen guten Ausbrand zu erzielen und die Emissionen an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Teer und Russ zu vermeiden, müssen die Abbrandeigenschaften des Holzes bei der Feuer-raumgestaltung wie folgt berücksichtigt werden:

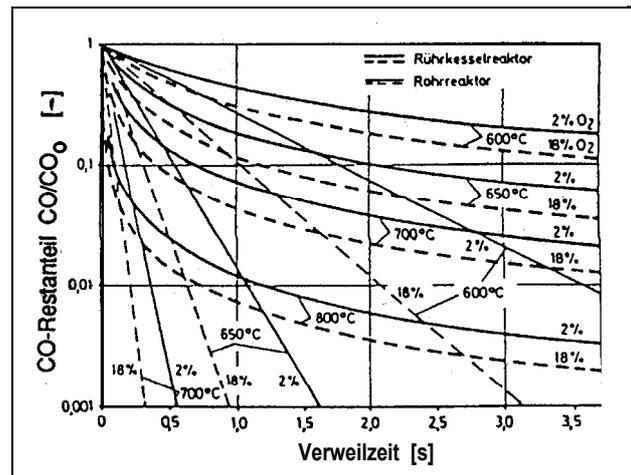
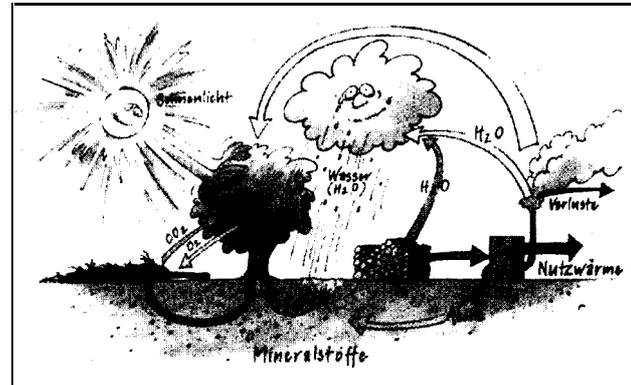
Die lange Flamme der Holzverbrennung erfordert eine grosse Brennkammer.

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 dem Ausbrand der Gase.

Um einen vollständigen Ausbrand zu erzielen, muss die Sekundärluft mit den brennbaren Gasen gut vermischt werden.

Für eine vollständige Verbrennung sind eine Temperatur von mindestens 800 °C und eine ausreichende Verweilzeit der Gase in der heißen Zone erforderlich. Das heisst: Keine vorzeitige Kühlung der Flamme z.B. an kalten Wänden, der Feuerung angepasste Holzfeuchtigkeit und Verbrennung bei richtigem Brennstoff/Luft-Verhältnis.

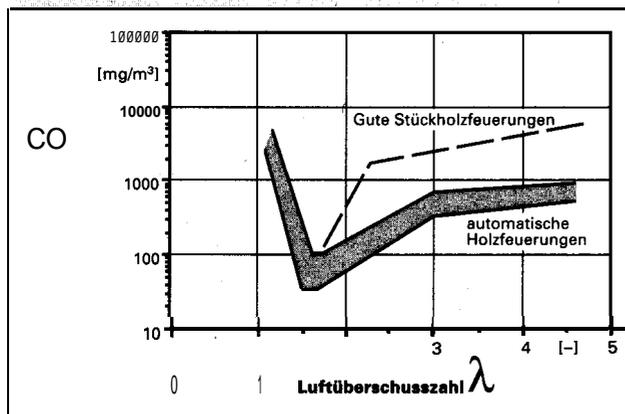
Kreislauf der Holzenergienutzung



CO-Restanteil in Abhängigkeit der Verweilzeit, der Temperatur und des Sauerstoffgehaltes.

Mit zunehmender Temperatur und Verweilzeit wird eine erhöhte Ausbrandqualität erzielt. Daneben ist der Einfluss des Brennraumes entscheidend: Im Rohrreaktor (Pfropfenströmung, keine Rückmischung zwischen Gasen und Verbrennungsluft) wird bei gleicher Verweilzeit eine bessere Ausbrandqualität erzielt als im Rührkesselreaktor (sofortige Rückmischung aller Gase in der Brennkammer). Für die Holzfeuerungen bedeutet dies, dass die brennbaren Gase möglichst gut mit der Verbrennungsluft vermischt und dass Strahlen in der Brennkammer vermieden werden müssen. Zudem soll die Brennkammer einem Rohrreaktor entsprechen (eindeutige Strömungsrichtung, Verhältnis Länge/Durchmesser möglichst gross).

Kohlenmonoxid-Emissionen in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl Lambda



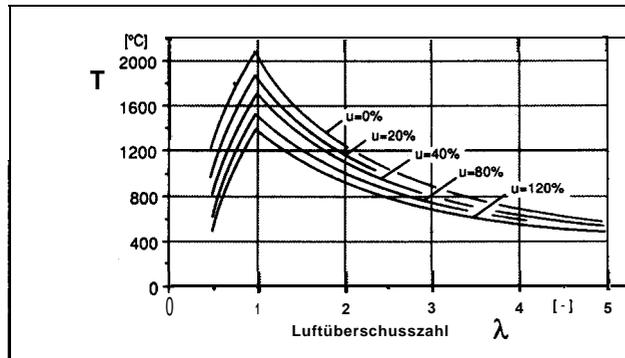
Das Brennstoff/Luft-Verhältnis wird durch die Luftüberschusszahl Lambda wie folgt beschrieben:

$$\text{Lambda } \lambda [-] = \frac{\text{zugeführte Luftmenge}}{\text{minimal notwendige Luftmenge}}$$

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 zu gross (Lambda > 2 ... 3), so wird die Flamme durch die unnötig zugeführte Luft gekühlt, so dass die Verbrennung infolge zu niedriger Temperatur ebenfalls unvollständig wird.

Bei modernen Holzfeuerungen liegt der optimale Luftüberschuss im Bereich 1.5-2.0.

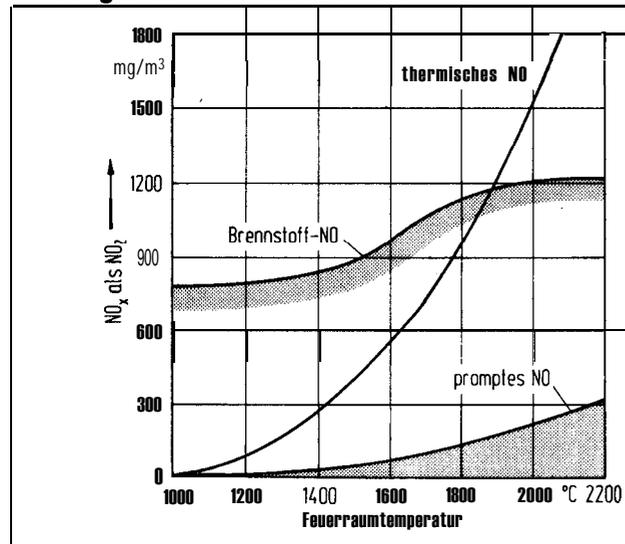
Adiabate (theor. max. mögliche) Verbrennungstemperatur in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl Lambda



Stickoxide (NO_x)

Stickoxide können aus dem Stickstoff der Verbrennungsluft oder aus dem Brennstoffstickstoff stammen. Stickoxide aus dem Luftstickstoff werden vor allem als sogenannt thermische Stickoxide bei sehr hoher Temperatur durch Oxidation des Luftstickstoffs gebildet. Daneben können vor allem bei der Gasverbrennung z.B. in Turbinen sogenannte Prompt-Stickoxide entstehen.

Bildungsarten von Stickoxiden



In gewöhnlichen Holzfeuerungen betragen die Verbrennungstemperaturen weniger als 1300 °C, so dass die thermischen Stickoxide nur von untergeordneter Bedeutung sind. Dagegen enthält Holz Stickstoff, welcher im Baum in Form von Aminen und Proteinen für das Wachstum benötigt wird. Laubholz enthält typischerweise etwa 0.1-0.2 Gew.-% Stickstoff, Nadelholz weist mit ca. 0.05-0.1 Gew.-% einen etwas geringeren Stickstoffgehalt auf. Da in Spanplatten und Holzwerkstoffen z.T. stickstoffhaltige Härter und Leime eingesetzt werden, kann der Stickstoffgehalt in diesen Sortimenten deutlich höher sein als in naturbelassenem Holz, d.h. bis zu rund 3 Gew.-% betragen.

Da ein Teil des Brennstoffstickstoffs bei der Verbrennung zu NO oxidiert wird, sind die Stickoxidemissionen vom Stickstoffgehalt des Brennstoffs abhängig.

Es bestehen Bestrebungen, die Stickoxidbildung im Feuerraum durch gestufte Verbrennung zu vermindern und den Brennstoffstickstoff vermehrt in molekularen Stickstoff (N₂) umzusetzen. Erste Re-

sultate aus der Forschung zeigen, dass unter geeigneten Bedingungen eine Verminderung um rund 40% – 50% möglich ist. Inwieweit eine Anwendung in der Praxis möglich ist, ist derzeit jedoch noch offen.

Stickstoffgehalt **und** NO_x-Emission verschiedener Brennstoffe

Brennstoff	Stickstoffgehalt Gew.-%	NO _x -Emissionen mg/m ³ bei 11 Vol.-% O ₂
Föhre	0.07	173
Buche	0.2	231
UF-Spanplatten	2.85	921

Staub

Die Staubemissionen umfassen einerseits 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. Im Feuerraum wird ein Teil der Asche am Rost abgeschieden. Die mitgerissene Flugasche muss in einer nachgeschalteten Abscheidevorrichtung zurückgehalten werden.

Dioxine und Furane

Bei Verbrennungsprozessen können polychlorierte Dioxine und Furane (PCDD/PCDF) entstehen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Chlor, welches in der Regel aus Chlor im Brennstoff stammt (z.B. aus PVC oder ammoniumchloridgebundenen Spanplatten)
- unverbrannter Kohlenstoff z.B. in Form von Russ oder kohlenstoffhaltigen Stäuben
- Sauerstoff, welcher bei Verbrennung mit Luftüberschuss immer vorhanden ist
- Schwermetalle, insbesondere Kupfer, welches bei der Dioxinbildung als Katalysator wirkt
- Temperaturen zwischen ca. 180 °C bis 500 °C

Diese Bedingungen können bei Feuerungsanlagen vor allem im Abhitzebereich auftreten, also z.B. im Wärmetauscher, in Staubabscheidern oder Kaminrohren. In Deutschland ist für die Verbrennung von Siedlungsabfall ein Dioxingrenzwert von

0.1 ng TE/Nm³ vorgeschrieben. Im weiteren werden in Zukunft bei Überschreiten eines Dioxingehaltes von 0.5 ng TE/Nm³ generell, also z.B. auch für Holzfeuerungen, Massnahmen verlangt. In der Schweiz ist dagegen kein Dioxingrenzwert vorgeschrieben.

Bei der Verbrennung von naturbelassenen Holzbrennstoffen werden in der Regel nur geringe Mengen von Dioxinen gebildet (typischerweise 0.01-0.2 ng TE/Nm³). Dagegen können z.B. bei ammoniumchloridgehärteten Spanplatten sowie Altholz auch bei guten Verbrennungsbedingungen deutlich höhere Dioxinmissionen auftreten. Mindestanforderungen zur Vermeidung hoher Dioxinmissionen z.B. bei Restholzfeuerungen sind ein vollständiger Ausbrand der Flugstäube, ein niedriger Luftüberschuss und ein Betrieb der Staubabscheidung bei Temperaturen unter 180 °C. Um erhöhte Dioxinmissionen aus Holzfeuerungen zu vermeiden, muss jedoch insbesondere das Verbot zur Verbrennung von Abfall und Altholz in gewöhnlichen Holzfeuerungen durchgesetzt werden.

Mögliche zusätzliche Schadstoffe bei der Verbrennung von nicht naturbelassenem Holz

Im Abgas:

- NO_x
- SO₂
- HCl
- Ammoniumchlorid (NH₄Cl), Salze
- Schwermetalle Pb, Zn, Cd, Cu
- Dioxine PCDD/F

In den festen Rückständen

- (Rost-, Zyklon- und Filterasche):
- Schwermetalle Pb, Zn, Cd, Cu
 - Dioxine PCDD/F

2.2 Restholz

Schadstoffe bei der Verbrennung von nicht naturbelassenem Holz

Nicht naturbelassenes Restholz (Spanplatten, verleimte Holzwerkstoffe usw.) kann zusätzlichen Stickstoff aus Leim und Bindemitteln enthalten, was bei der Verbrennung zu rund 2-3mal höheren Stickoxidemissionen führt als bei naturbelassenem Holz.

Wenn Chlor aus PVC-Beschichtungen oder aus Ammoniumchlorid-gehärteten Spanplatten vorhanden ist, wird bei der Verbrennung Salzsäure (HCl) gebildet und es kommt zudem zur Emission von Salzen sowie allenfalls zu erhöhter Dioxinbildung.

Schwermetalle wie Blei, Zink, Cadmium oder Kupfer können in Farben, Lacken oder Holzschutzmitteln vorhanden sein und führen bei der Verbrennung von entsprechend belasteten Resthölzern zu Schwermetallemissionen im Abgas und zu einer Belastung der Rückstände.

Die erwähnten Schadstoffe wie Salzsäure und Schwermetalle sind teilweise wesentlich giftiger als Kohlenmonoxid oder Aschepartikel aus naturbelassenem Holz. Ausserdem können die Rückstände zusätzlich Schwermetalle und Dioxine enthalten und sind deshalb separat zu entsorgen.

Konsequenzen für die Restholznutzung

In einer Restholzfeuerung dürfen nur Holzreste eingesetzt werden, welche keine massgeblichen Gehalte an Chlor und Schwermetallen aufweisen. Insbesondere darf in konventionellen Holzfeuerungen kein Altholz (z.B. Abbruchholz und Holz aus dem Sperrgut) eingesetzt werden, da Altholz unreinigt 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 gilt als Siedlungsabfall und muss in Kehrichtverbrennungsanlagen behandelt werden.

Bei der Verbrennung von Restholz muss aufgrund der Zusammensetzung und der Anlagengrösse abgeklärt werden, welche Anforderungen die Ab-

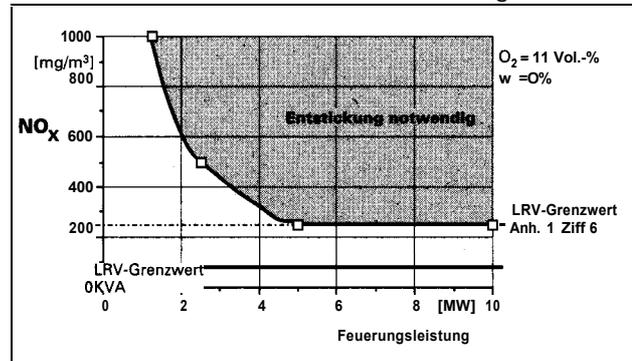
gasreinigung erfüllen muss. Erhöhte Anforderungen werden insbesondere in folgenden Fällen gestellt:

- Restholz mit erhöhtem Stickstoffgehalt:

Sofern der Stickoxidmassenstrom 2500 g/h überschreitet, ist gemäss Luftreinhalte-Verordnung ein Stickoxidgrenzwert von 250 mg/m³ einzuhalten. Bei einem für Restholz typischen NO_x-Gehalt von 500 mg/m³ trifft dies bei einer Anlagengösse ab ca. 2.5 MW zu.

Konsequenz: Verfahren zur Abgasentstickung.

Brennstoff mit erhöhtem Stickstoffgehalt



NO_x-Gehalt in Funktion der Feuerungsleistung als Kriterium für Entstickungsmassnahmen

- Berechnung des Stickoxidmassenstroms in g/h (siehe Anhang A4)
- falls der Massenstrom ≥ 2500 g/h ist, gilt ein Stickoxidgrenzwert von 250 mg/m³ (LRV Anhang 1, Ziffer 61/62)
- falls der Grenzwert überschritten wird, ist eine Abgasentstickung erforderlich

- Restholz mit erhöhtem Chlorgehalt:

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 ist jedoch z.B. auch in gewissen Spanplatten als Härter vorhanden (Ammoniumchlorid NH₄Cl). Bei der Verbrennung solcher Materialien werden Salzsäure (HCl) und Ammoniumchlorid gebildet. Ammoniumchlorid kann als Salzablagerung die Staubmessung beeinflussen. Beim Einsatz eines Gewebe- oder Keramikfilters kann Ammoniumchlorid zudem zum Verkleben des Filters führen, da es beim Anfahren und Abstellen der Anlage auskristallisieren kann. Im weiteren ist zu beachten, dass ein erhöhter Chlorgehalt die Dioxinbildung begünstigen kann.

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

Brennstoff mit erhöhtem Chlorgehalt

- Berechnung des Massenstroms in g/h (siehe Anhang A4)
- Falls der Massenstrom ≥ 300 g/h ist, gilt ein Grenzwert für Chlorverbindungen von 30 mg/m³ (LRV Anhang 1, Ziffer 61/62)
- Falls der Grenzwert überschritten wird: Chlorabscheidung

2.3 Übersicht Holzbrennstoffe und Nicht-Holzbrennstoffe gemäss LRV 92

	Holzbrennstoffe (LRV Anhang 5, Ziffer 3, Absatz 1) (LRV Anhang 3, Ziffer 522)			Nicht-Holzbrennstoffe (LRV Anhang 5, Ziffer 3, Absatz 1) (LRV Anhang 2, Ziffer 72 und 71)	
	Naturbelassen stückig - Scheitholz - Holzbriketts - Reisig - Zapfen	Naturbelassen nicht stückig - Schnitzel - Späne - Sägemehl - Schleifstaub - Rinde	Restholz - Industrie - Gewerbe - Baustellen	Altholz - Gebäudeabbruch - Umbau, Renovation - Verpackungen - Holzmöbel	Holzabfälle - druckimprägnierte Holzschutzmittel - PVC-Beschichtungen
Abgas	CO und KW NO _x Staub				
	X			evtl. + NO _x bis 3–4mal evtl. + HCl (evtl. > 30 mg/m ³) evtl. + SO ₂ (i.d.R. gering) evtl. + Dioxin (i.d.R. gering)	+ NO _x (bis 2–3mal) + HCl + SO ₂ (i.d.R. gering) + Schwermetalle + Dioxin
Rückstände	i.d.R. nicht belastet		i.d.R. belastet evtl. + Salze evtl. + Dioxin	belastet + Salze + Schwermetalle + Dioxin	

Zu beachten: Für Verarbeitungsreste aus Sägereien wird häufig der Begriff Sägereirestholz verwendet. Dabei handelt es sich jedoch um naturbelassenes, nicht stückiges Holz, also nicht um Restholz gemäss LRV.

2.4 Feuerungstechnik

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.

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.

Aufgrund der Bewegungsrichtung von Brennstoff und Gasen können bei Rostfeuerungen drei verschiedene Typen unterschieden werden: Gleichstrom, Gegenstrom (Umkehrflamme) und Mittelstrom. Bei feuchtem Brennstoff wird ein Teil der bei der Verbrennung freigesetzten Energie zur Verdampfung des Wassers benötigt. Ein Strahlungsmantel über dem Brennstoff sorgt für eine hohe Vergasungstemperatur. Für Brennstoffe mit hohem Wassergehalt werden deshalb bevorzugt Rostfeuerungen nach dem Gegenstromprinzip eingesetzt. Für trockene Brennstoffe kommt dagegen auch die Gleichstromfeuerung zum Einsatz.

Bei aschereichem Brennstoff wird eine automatische Entaschung benötigt. Asche von naturbelastetem Holz hat eine Erweichungstemperatur von ca. 1 400 °C, ein Schmelzen der Asche erfolgt bei Temperaturen über ca. 1 600 °C.

Anforderungen an die Feuerungstechnik

- Aufteilung der Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft
- gute Vermischung der Sekundärluft mit den brennbaren Gasen
- ausreichende Verweilzeit der Gase in der heissen Brennkammer
- gut isolierte Brennkammer (hohe Temperatur)

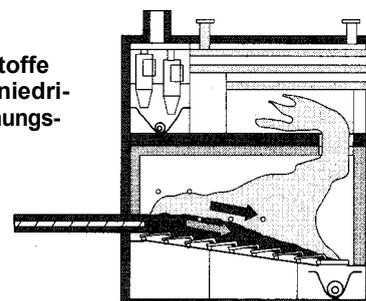
Bei feuchtem Brennstoff ist zu beachten

- Zur Verdampfung des Wassers wird Wärme benötigt, dadurch sinkt die Verbrennungstemperatur
- Zur Vortrocknung des Brennstoffs wird eine Strahlungsdecke bzw. ein Brennraum mit Gegenstromverfahren eingesetzt

Bauarten von Rostfeuerungen

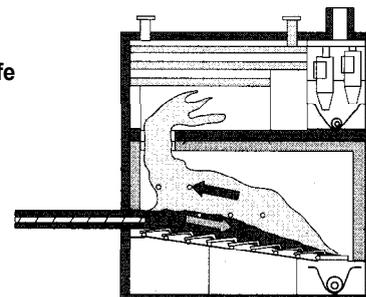
Gleichstrom

- trockene Brennstoffe
- Brennstoffe mit niedriger Ascheerweichungstemperatur



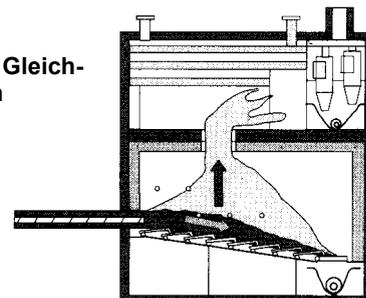
Gegenstrom

- nasse Brennstoffe



Mittelstrom

- Bauart zwischen Gleich- und Gegenstrom



Aschereicher Brennstoff

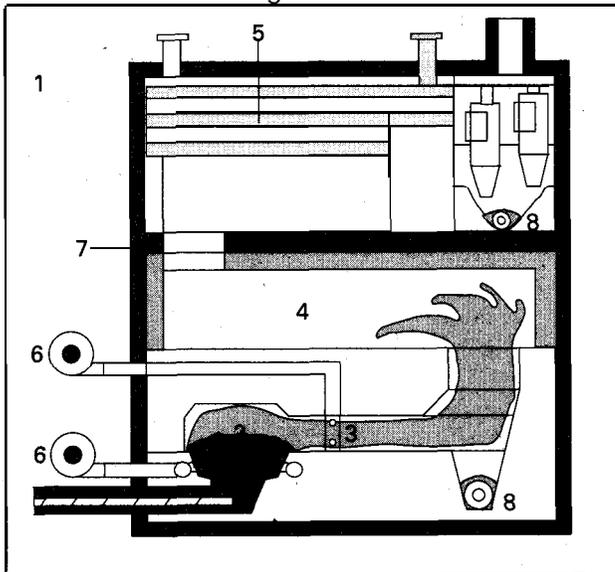
- automatische Entaschung
- Verunreinigungen senken Ascheerweichungstemperatur → Verschlackungsgefahr

Verunreinigungen im Brennstoff durch Farben, Lacke oder Metalle bewirken eine Absenkung der Ascheerweichungs- und Ascheschmelztemperatur. Dies führt zu Verschlackung und Anbackungen am Rost bzw. in der Retorte und an den Wänden. Beim Erkalten werden die Anbackungen glasähnlich und sind nur schwer zu entfernen.

Verbrennungsverhalten in verschiedenen Feuerungstypen

Unterschubfeuerung

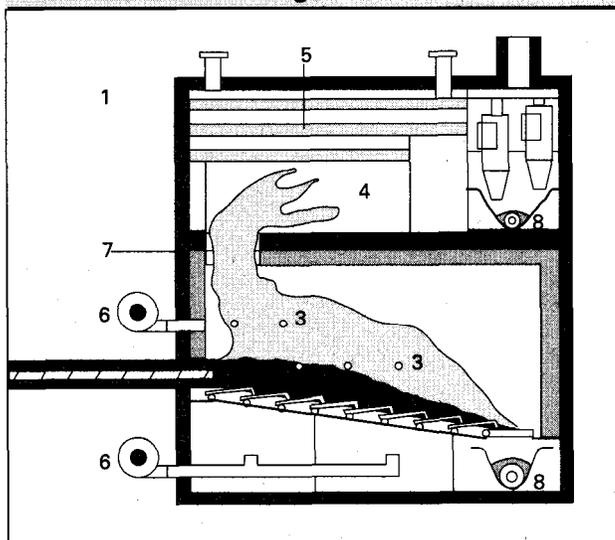
Unterschubfeuerung



Der Brennstoff wird mit einem Förderaggregat von unten in die Feuermulde (Retorte) eingeschoben. Ein Teil der Verbrennungsluft wird als Primärluft in die Retorte eingeblasen. Dort erfolgen die Trocknung und Vergasung des Brennstoffs sowie die Oxidation der Holzkohle. Um die brennbaren Gase vollständig zu oxidieren, wird die Sekundärluft vor dem Eintritt in die heisse Nachbrennkammer mit den brennbaren Gasen vermischt. Anschliessend geben die ausgebrannten Gase im Wärmetauscher ihre Wärme ab, passieren den Trägheitsstauber und gelangen durch das Kamin in die Atmosphäre.

Vorschubrostfeuerung

Vorschubrostfeuerung



Der Brennstoff wird mit einem Förderaggregat auf einen Rost geschoben. Der Brennstoff wird durch Vor- und Rückwärtsbewegungen der Rostelemente langsam nach unten befördert. Am Rostende erfolgt eine automatische Entaschung. Ein Teil der Verbrennungsluft wird als Primärluft durch den Rost eingeblasen.

- 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 Eindüsen verengt.
- 4 heisse Nachbrennkammer zum vollständigen Ausbrand der Gase. Die Flamme darf nicht an gekühlten Wänden abgeschreckt werden.
- 5 Wärmeabgabe im Wärmeüberträger nach der Brennkammer
- 6 Ventilator zur Förderung der Verbrennungsluft
- 7 gute Wärmedämmung zur Verminderung der Strahlungsverluste
- 8 automatische Entaschung

Im oberen Rostbereich erfolgt die Trocknung des Brennstoffs, im mittleren die Vergasung des Holzes und im unteren der Ausbrand der Holzkohle. Die Rostfeuerung ermöglicht damit eine optimale Anpassung an das Abbrandverhalten des Brennstoffs, indem zumindest bei grösseren Anlagen die Primärluft entsprechend dem Luftbedarf in verschiedenen Zonen unter dem Rost zugeführt wird. Die Sekundärluft wird über dem Rost mit den brennbaren Gasen vermischt. Die Gase brennen in der Nachbrennkammer vollständig aus, geben im Wärmetauscher ihre Wärme ab, passieren den Trägheitsentstauber und gelangen durch das Kamin in die Atmosphäre.

Der Rost erfüllt die Funktion des Transports, des Schürens (Verändern der örtlichen Bettstärke) und des Umwälzens des Brennstoffs. Es gibt verschiedenste Rosttypen, die sich vor allem durch die Neigung und Bewegungsart unterscheiden. Vorschubrostfeuerungen werden als Gleich-, Mittel- und Gegenstromfeuerungen ausgeführt.

Funktionen des Rostes:

- Transport von Brennstoff und Asche
- Schüren des Brennstoffs und des Glutbetts
- Umwälzen des Brennstoffs und des Glutbetts

Rosttypen:

- Lage:
- Horizontal
 - Geneigt
- Bewegung:
- nicht bewegt
 - bewegt
- schubweise
 - kontinuierlich

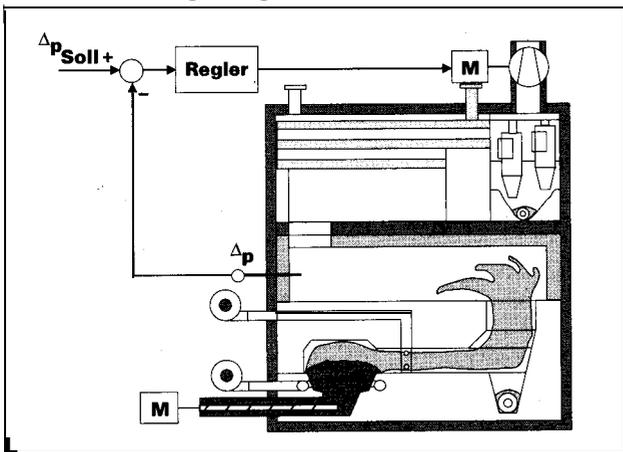
Vorofen, Vorfeuerung

Eine Vorfeuerung ist ein Feuerungssystem bestehend aus einer Brennstoffzufuhr auf einen Rost und einer Luftzuführung. Der Feuerungsteil besteht in der Regel aus einem Rostsystem nach dem Gleichstromprinzip. Die Funktion der Nachbrennkammer und des Wärmetauschers wird von einem nachgeschalteten Kessel übernommen.

Wichtige Regelkreise:

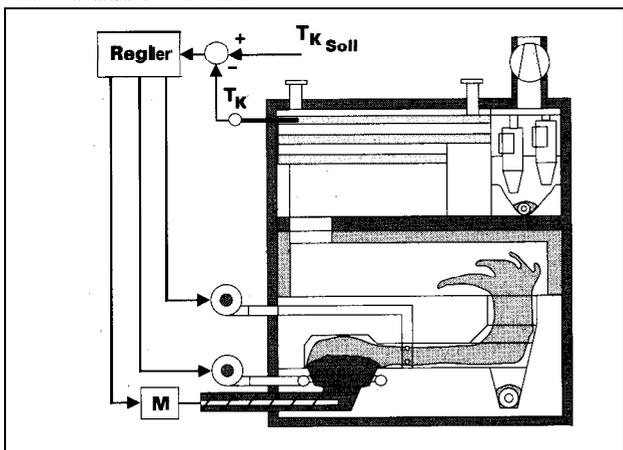
- Unterdruckregelung
- Leistungsregelung
- Verbrennungsregelung

Unterdruckregelung



Messung des Feuerraumunterdrucks Δp und Regelung des Abgasventilators zur Konstanthaltung des Unterdrucks.

Leistungsregelung



Messung der Kesseltemperatur T_K (Vorlauftemperatur des Wassers) und Regelung der Brennstoff- und Luftmenge in Abhängigkeit des Wärmebedarfs.

2.5 Regelung von automatischen Holzfeuerungen

Für einen störungs- und emissionsarmen Betrieb einer automatischen Holzschnitzelfeuerung muss die Anlage mit bestimmten Regelkreisen ausgerüstet sein.

Unterdruckregelung

Mit einem Druckfühler wird der Unterdruck Δp in der Brennkammer gemessen. Abweichungen zum vorgegebenen Sollwert werden durch Veränderung der Drehzahl des Abgasventilators verhindert.

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

Leistungsregelung

Wenn sich der Wärmeleistungsbedarf ändert, steigt bzw. sinkt die Kesseltemperatur T_K . Die Leistungsregelung verändert die Feuerungsleistung so, dass die Leistungsabgabe innerhalb einer gewissen Bandbreite dem Leistungsbedarf angepasst wird.

Automatische Feuerungen verfügen über eine Leistungsregelung, welche einen mehrstufigen oder stufenlos modulierbaren Betrieb ermöglicht. Anhand der Differenz zwischen Soll- und Istwert der Kesseltemperatur werden die Brennstoffzufuhr und die Verbrennungsluft in Schritten von einigen Prozenten der Nominalleistung variiert oder stufenlos verändert. Bei den meisten automatischen Holzfeuerungen ist heute eine Leistungsregelung von 100% bis 50% möglich, bei Anlagen ab 100 kW und sofern nicht Brennstoffe mit hohem Wassergehalt eingesetzt werden von 100% bis 30%. Unterhalb dieses Leistungsbedarfs werden die Anlagen in den meisten Fällen im Ein-/Aus-Betrieb gefahren.

Mit einer Leistungsregelung kann der Jahresnutzungsgrad erhöht werden, da die Bereitschaftsverluste infolge längerer Betriebszeiten der Feuerung vermindert werden.

Verbrennungsregelung

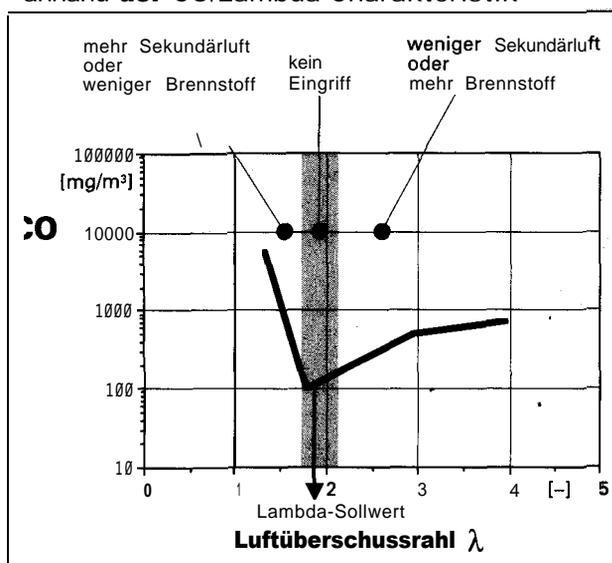
Die Verbrennungsregelung ist eine Ergänzung zur Unterdruck- und Leistungsregelung und dient zur Gewährleistung einer hohen Ausbrandqualität. Eine gute Verbrennung wird bei einer Holzfeuerung nur bei einem optimalen Brennstoff/Luft-Verhältnis erzielt.

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:

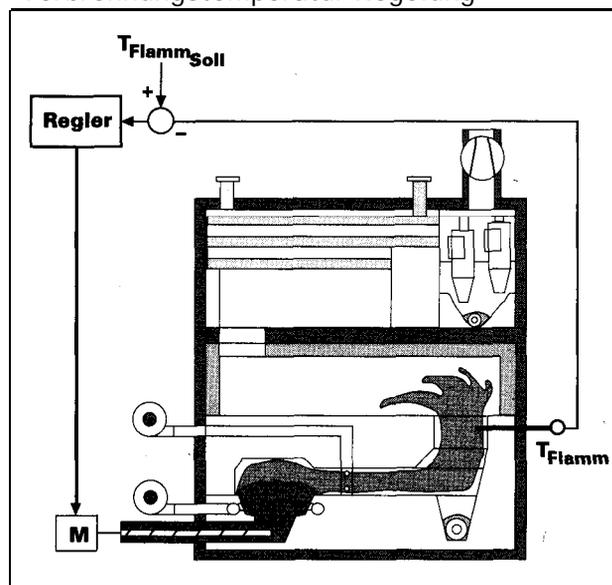
Verbrennungstemperatur-Regelung:

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

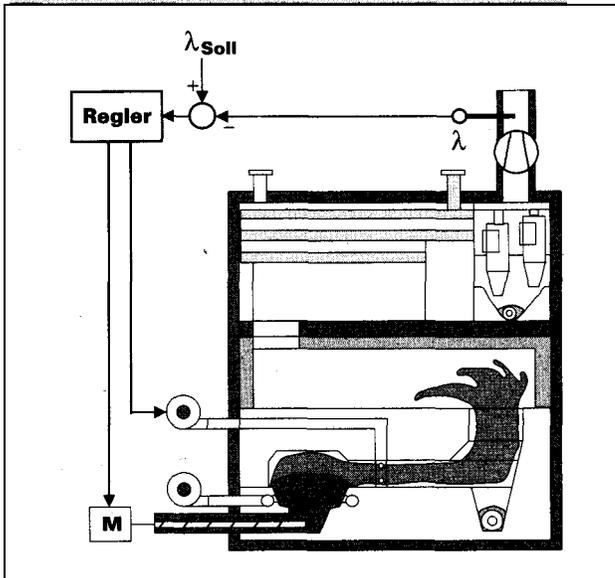
Funktionsprinzip der Verbrennungsregelung anhand der CO/Lambda-Charakteristik



Verbrennungstemperatur-Regelung



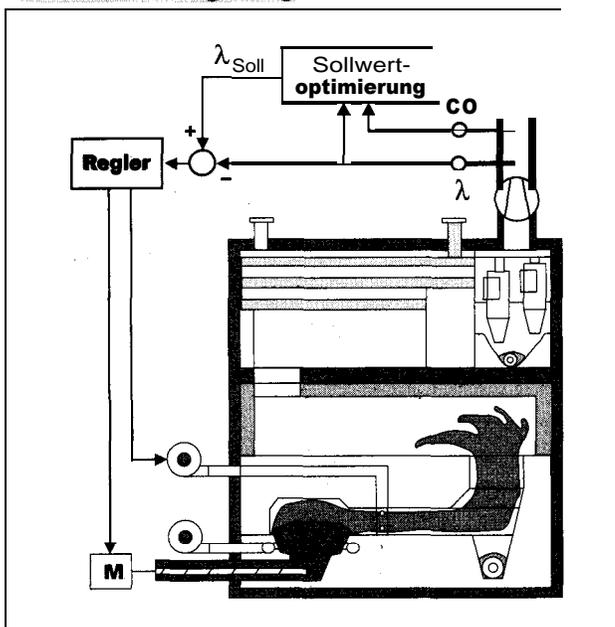
Lambda-Regelung



Lambda-Regelung:

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

CO/Lambda-Regelung



CO/Lambda-Regelung:

Messung des Luftüberschusses und des Kohlenmonoxidgehalts z.B. mittels Lambda-Sonde und CO-Sonde. Gegenüber der Lambda-Regelung ist damit eine zusätzliche Optimierung des Lambda-Sollwertes möglich zur Anpassung an beliebige Brennstoffeigenschaften.

Als Ergänzung zu den erwähnten Leistungs- und Verbrennungsregelungen wird bei Rostfeuerungen auch die **Schichthöhenregelung** eingesetzt. Dabei wird mit mehreren optischen Fühlern die Höhe des Glutbetts an verschiedenen Orten über die Länge des Rostes erfasst. Durch Regelung der Brennstoffzufuhr und durch Bewegung einzelner Rostsegmente wird das Brennstoffbett auf ein konstantes Niveau geregelt. Dies ermöglicht eine gleichmäßigere Verteilung der Primärluft und eine bessere, Trennung der Vergasungs- und Oxidationsprozesse.

2.6 Abgasreinigung

Für naturbelassenes Holz genügt in der Regel eine Staubabscheidung mittels Zyklon zur Einhaltung des Staubgrenzwertes von 150 mg/Nm^3 (bis 5 MW). Demgegenüber kann Restholz 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

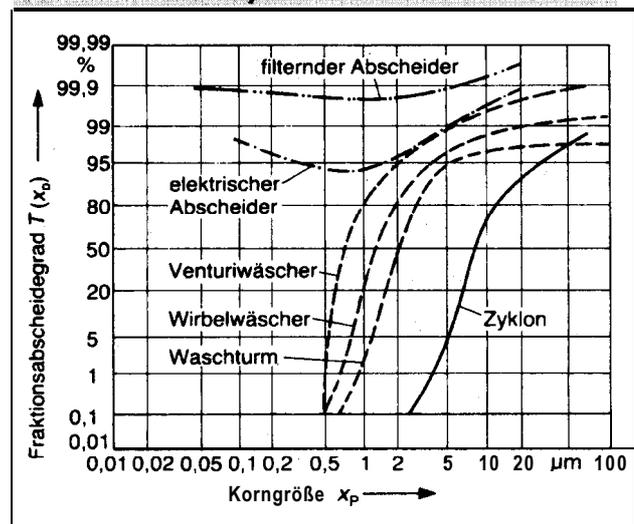
Die Staubemissionen bei der Verbrennung von naturbelassenem Holz setzen sich zusammen aus Aschepartikeln sowie Russ und unverbrannten Stoffen. Der Russ kann durch eine vollständige Verbrennung vermieden werden.

Bei der Verbrennung von Restholz können zudem folgende Stoffe als Staub- bzw. Feststoffemissionen auftreten:

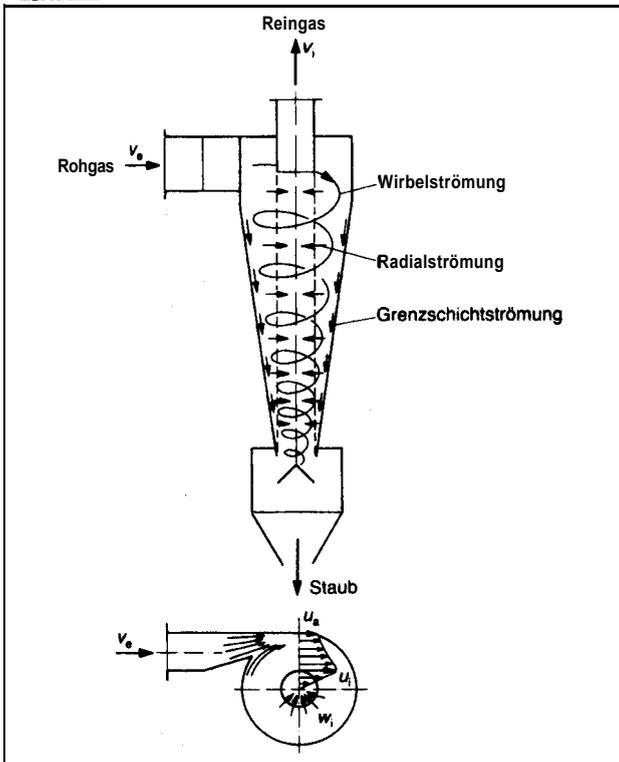
- Schwermetalle wie Blei, Zink, Cadmium, sofern der Brennstoff z.B. Farben oder Holzschutzmittel mit diesen Stoffen enthält
- Feststoffe in Form von Salzen wie z.B. Ammoniumchlorid.

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

Fraktionsabscheidegrade verschiedener Staubabscheidesysteme



Zyklon

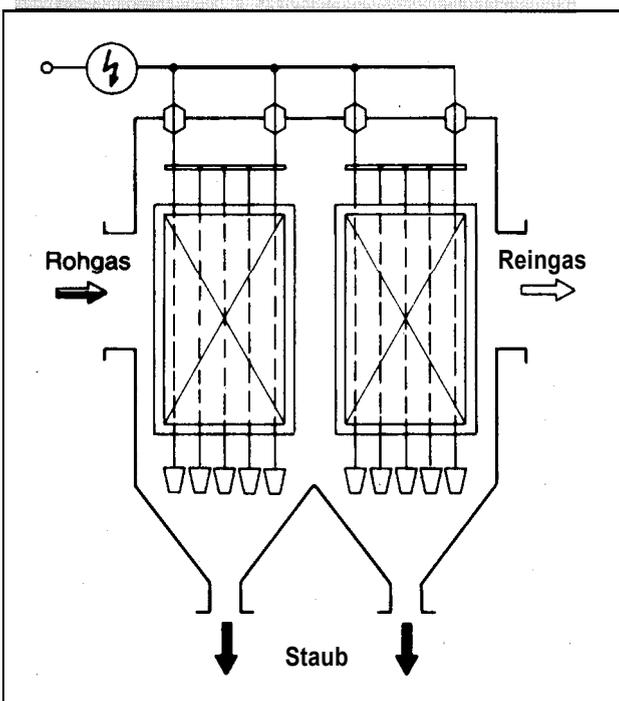


Zyklon

Abscheideprinzip: Durch eine Rotationsbewegung der Strömung 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 μm abgeschieden werden. Typische Reingaswerte bei Holzfeuerungen liegen im Bereich von 50-200 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 unproblematischen Brennstoffen in einer guten Holzfeuerung mit Zyklon in der Regel eingehalten werden. Die kostengünstigen Zyklone sind das wichtigste Staubabschneidungsverfahren 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



Elektrofilter

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

Mit einem Elektrofilter können Staubwerte von 5-20 mg/m^3 erreicht werden. Der Grenzwert von 50 mg/m^3 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.

Beim Elektrofilter besteht die Möglichkeit der Dioxinbildung durch das elektrische Feld. Zur Vermeidung der Dioxinbildung sollte die Betriebstemperatur des Filters 130 $^{\circ}\text{C}$ nicht übersteigen.

Gewebefilter 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 gereinigt, 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 Fliessstoffe 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.

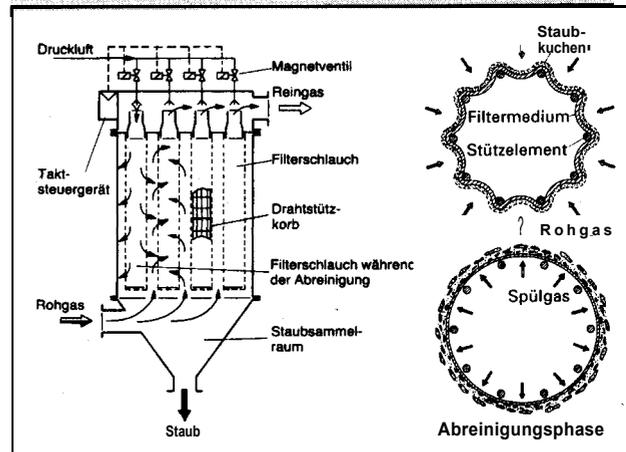
Je nach Filterart und Staubzusammensetzung können Reingaswerte von 2-20 mg/ms erreicht werden. Die zulässige Abgastemperatur wird durch die Wahl des Filtermaterials begrenzt. Gewebefilter können bis maximal ca. 250 °C eingesetzt werden, während die zulässige Gastemperatur bei Keramikfiltern über 400 °C (teilweise bis 800 °C möglich) beträgt.

Bei Gewebefiltern wird die Gefahr von Funkenflug durch Vorschalten eines Zyklons oder durch Umlenkleche eingedämmt, Übertemperatur wird durch Bypass oder Falschlufzugabe verhindert. Eine Taupunktunterschreitung beim Anfahren von Feuerungsanlagen kann durch Bypass oder elektrische Begleitheizung vermieden werden. Zur Vermeidung von Dioxinbildung sollte die Betriebstemperatur unter 180 °C liegen.

Nasswäscher

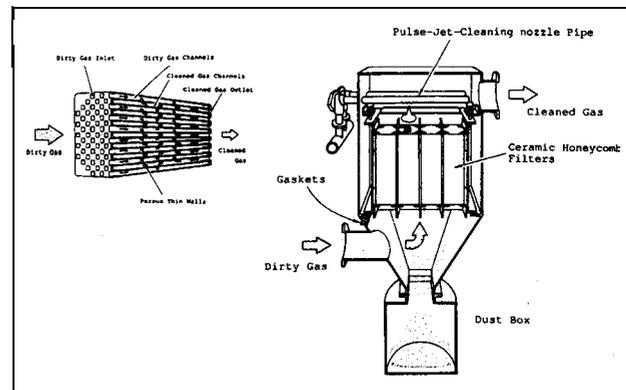
Abscheideprinzip: Der Staub wird mit den Tropfen der Waschflüssigkeit verwirbelt, so dass auch kleine Staubeilchen in einem Abscheider zurückgehalten werden. Da Holzasche schlecht benetzend ist, sind Nasswäscher allerdings nur bedingt geeignet zur Stauabscheidung bei Holzfeuerungen. Dagegen kann mit 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.

Gewebefilter



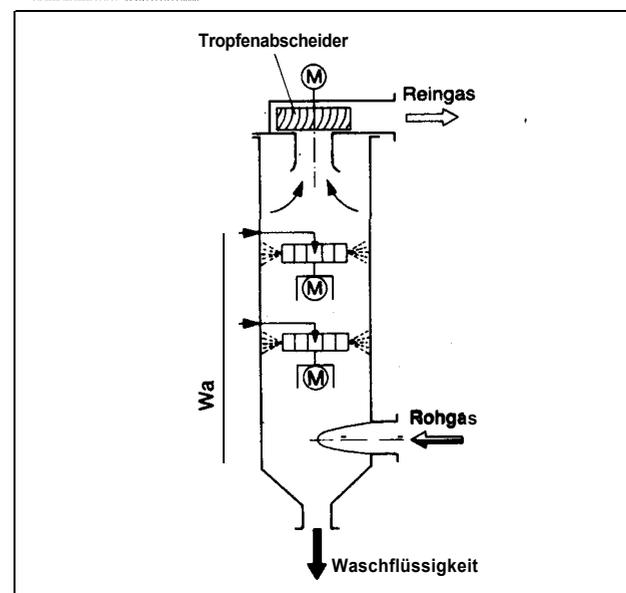
Aufbau eines Schlauchfilters mit Druckstossabreinigung sowie Filtrations- und Abreinigungsphase eines Filterschlauches

Keramikfilter



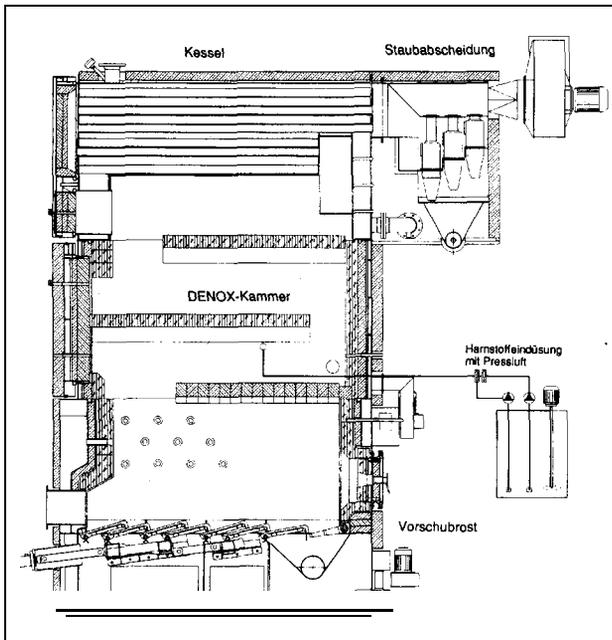
Keramikfilter in Wabenkonstruktion
Links: Filterwabe, rechts: Filtereinheit

Nasswäscher



Zweistufiger Rotationswäscher

SNCR Verfahren



450 kW-Vorschubrostfeuerung mit nachgeschalteter SNCR-Kammer und Harnstoffeindüsung

SCR-Verfahren



1 Feuerung
2 Multizyklon
3 Katalysator

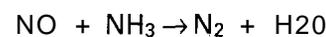
Abscheidung von Salzsäure HCl

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 Washwasser aufbereitet werden muss, ist der Einsatz bei Restholzfeuerungen selten.

Abgasentstickung

Die Luftreinhalte-Verordnung schreibt einen Stickoxidgrenzwert von 250 mg/m^3 vor, sofern der Stickoxid-Massenstrom $2'500 \text{ g/h}$ übersteigt (siehe Anhang A3). 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. Dabei wird ein Reduktionsmittel (Ammoniak oder Harnstoff) eingedüst, mit dessen Hilfe eine Umwandlung der Stickoxide (NO_x) in Luftstickstoff (N_2) erreicht wird:



Bei ungünstigen Reaktionsbedingungen kann Ammoniak oder Lachgas freigesetzt werden. Folgende Verfahren werden zur Zeit bei Pilotanlagen eingesetzt:

SNCR-Verfahren (Selektive nichtkatalytische Reduktion):

- 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. Dabei ist das grössere Bauvolumen (Höhe!) zu beachten.

SCR-Verfahren (Selektive katalytische Reduktion):

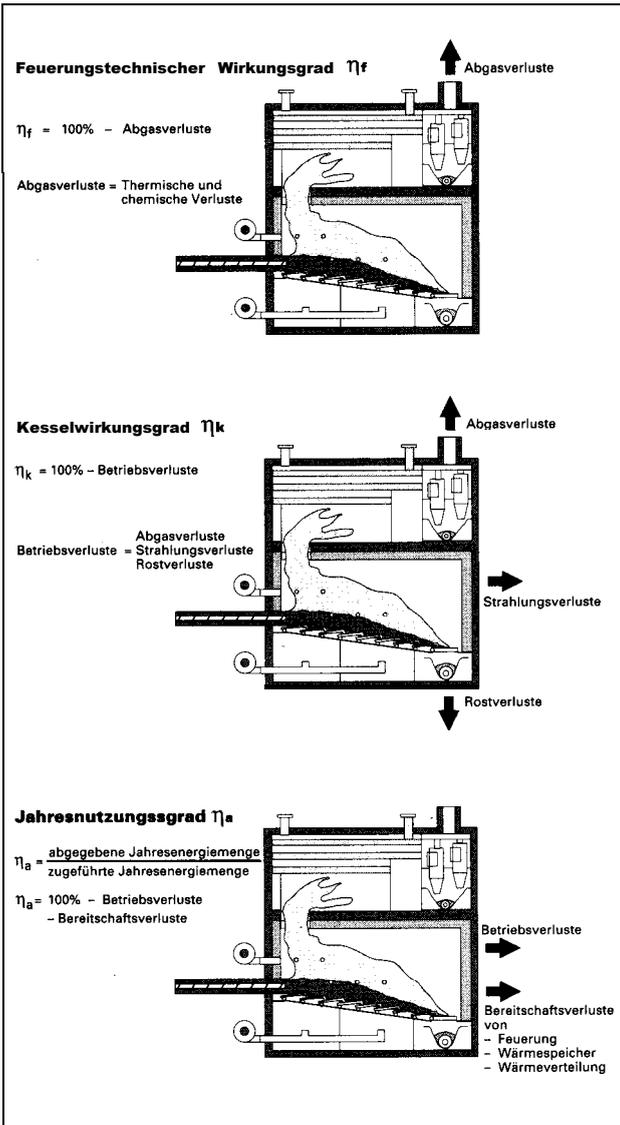
- Stickoxidreduktion durch Eindüsen von Ammoniak oder Harnstoff in das Abgas nach dem Kessel und Reaktion in einem Katalysator bei $250\text{-}450 \text{ }^\circ\text{C}$. Dieses Verfahren ist auch für eine Nachrüstung bestehender Anlagen geeignet.

2.7 Typische Emissionswerte

Für automatische Feuerungen mit Zyklon gelten etwa folgende typische Verbrennungswerte:

Automatische Holzfeuerungen mit Zyklon Bezugsgrösse: 11 Vol.-% O ₂			< 1 MW	1 MW – 5 MW
Lambda (Luftüberschuss)	Ziel	–	1.5 – 1.8	
	typisch	–	1.5 – 2.5	
Abgastemperatur	Ziel	°C	< 160	
	typisch	°C	120 – 250	
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	Ziel	%	92	92
	typisch	%	80 – 90	80 – 93
CO	typisch	mg/Nm ³	< 100 ... 1'000	< 100 ... 250
NO _x	Waldhackschnitzel	typisch	150 – 300	
	Restholz	typisch	400 – 600	
Staub	typisch	mg/Nm ³	50 – 150	

Wirkungsgrade und Jahresnutzungsgrad



2.8 Wirkungsgrade und Jahresnutzungsgrad

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad η_f berücksichtigt die Abgasverluste. Diese setzen sich zusammen aus den thermischen Verlusten durch fühlbare Wärme der Abgase und den chemischen Verlusten durch unvollständige Verbrennung.

Wichtige Einflussgrößen sind:

- Abgastemperatur
- Luftüberschuss (O_2 - bzw. CO_2 -Gehalt)
- CO -Gehalt der Abgase.

Ein hoher feuerungstechnischer Wirkungsgrad wird erreicht durch tiefe Abgastemperatur, tiefen Luftüberschuss und geringe CO -Emissionen.

Kesselwirkungsgrad

Der Kesselwirkungsgrad η_k wird aus dem Verhältnis von abgegebener und zugeführter Leistung bzw. Energie bestimmt.

Der Kesselwirkungsgrad berücksichtigt neben den Abgasverlusten zusätzlich die Strahlungs- und Rostverluste. Strahlungsverluste entstehen durch Wärmeabgabe der heißen Feuerung an den Heizraum. Rostverluste entstehen durch unverbrannte Rückstände in der Rostasche. Unter dem Begriff Betriebsverluste werden Abgas-, Strahlungs- und Rostverluste zusammengefasst.

Ein hoher Kesselwirkungsgrad wird erreicht durch einen hohen feuerungstechnischen Wirkungsgrad, gute Isolation der Feuerung und guten Ausbrand der Rostasche.

Jahresnutzungsgrad

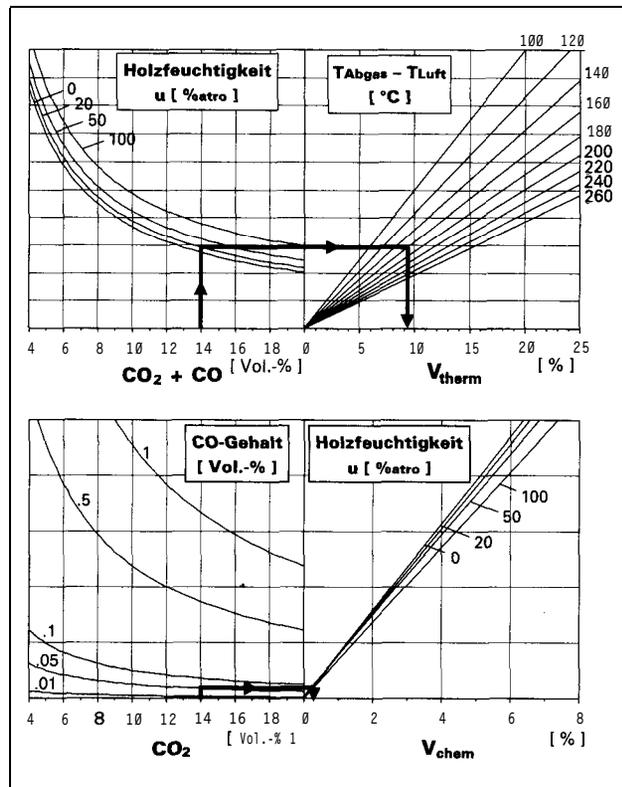
Der Jahresnutzungsgrad η_a wird aus dem Verhältnis der während einer Heizperiode abgegebenen und zugeführten Energiemenge bestimmt.

Neben den Betriebsverlusten berücksichtigt der Jahresnutzungsgrad auch die Bereitschaftsverluste der Feuerung sowie die Verluste von Speicher und Wärmeverteilung. Die Stillstandsverluste treten auf bei Betriebsphasen mit Glutbeterhaltung.

Ein hoher Jahresnutzungsgrad wird erreicht durch:

- hohen feuerungstechnischen Wirkungsgrad
- hohen Kesselwirkungsgrad
- richtige Dimensionierung der Feuerungsleistung
- evtl. Aufteilung der Leistung auf zwei oder mehrere Kessel (monovalente Mehrkesselanlage, bivalente Anlagen)
- gute Isolation von Speicher und Wärmeverteilung
- sinnvolle Warmwasseraufbereitung im Sommer
- automatische Zündung.

Nomogramm zur Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrads



Beispiel:

CO_2 = 14 Vol.-%
 CO = 0.05 Vol.-%
 u = 20%_{atro}
 $T_{Abgas} - T_{Luft}$ = 160 °C

thermische Verluste V_{therm} = 9.3%
 chemische Verluste V_{chem} = 0.2%

Abgasverluste = 9.5%
 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad = 90.5%

3 Systeme

3.1	Wärmeerzeugungsanlagen und Zusatzkomponenten	51
	Einkesselanlage mit Speicher	52
	Bivalente Anlage Holz/Öl, Holz/Gas	54
	Monovalente Mehrkesselanlage	55
	Zusatzwärmetauscher	56
	Abgaskondensation	57
	Stromerzeugung aus Holz und Wärmekraftkopplung mit Holz	59
3.2	Wärmeverbund	60
	Zweck	60
	Auslegung	60
	Sommer- und Winterbetrieb	61



3 Systeme

3.1 Wärmeerzeugungsanlagen und Zusatzkomponenten

Wärmeerzeugungsanlagen können mit Ein- oder Mehrkesselanlagen realisiert sowie monovalent oder bivalent ausgeführt werden. Ziel der Auslegung ist:

- ein möglichst hoher Jahresnutzungsgrad
- Vermeidung einer Überdimensionierung
- wenig Anfahr- und Ausbrandphasen
- wenig Verluste durch Glutbetherhaltung
- geringe Luftbelastung durch optimale Verbrennungsqualität.

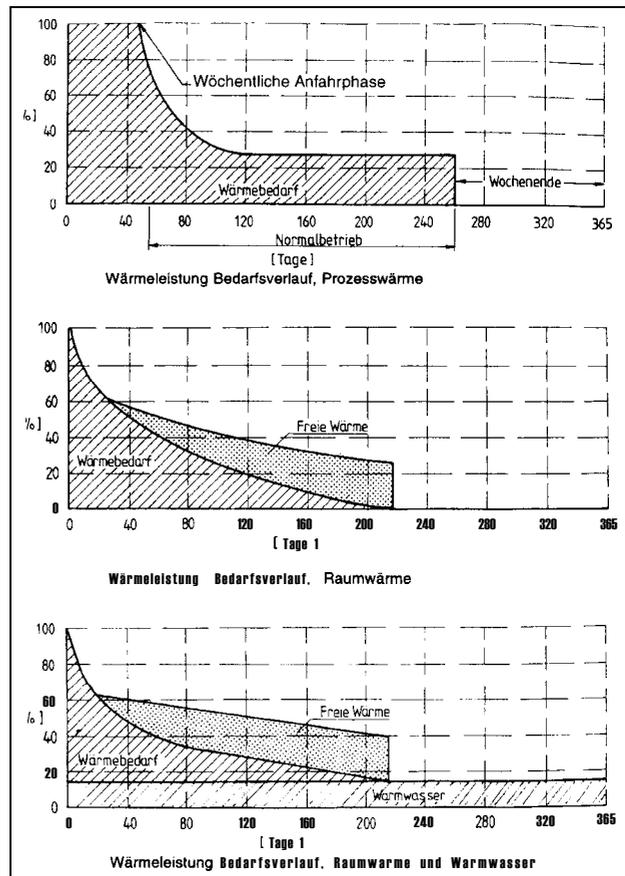
Der unterschiedliche Leistungsbedarf über ein Jahr kann häufig durch mehrere Heizkessel besser abgedeckt werden als mit nur einer Feuerung. Durch einen Mehrkesselbetrieb wird die Anlage länger im optimalen Betriebsbereich eingesetzt.

Die Art und Menge des Wärmebedarfs beeinflusst die Auslegung der Wärmeerzeugung. Bei der Auslegung muss deshalb beachtet werden, wozu die Wärme benötigt wird:

- für Raumwärme, welche während der Heizperiode den ganzen Tag benötigt wird
- für Prozesswärme, welche das ganze Jahr während der Arbeitszeit benötigt wird
- für Raum- und Prozesswärme.

Kurze und extreme Leistungsspitzen sollten nicht mit einem Holzkessel, sondern durch den Einsatz einer bivalenten Anlage oder mit einem technischen Speicher abgedeckt werden.

Wärmeleistungsbedarf für typische Verbraucher



Freie Wärme: Innere Lasten + passive Sonnenenergie

Kurze und extreme Lastspitzen sollten nicht mit Holz abgedeckt werden

Einsatzbereich von Einkesselanlagen

- Gewerbebauten mit geringem Kornfortanspruch
- Neubauten in Massivbauweise mit hohem Wärmespeichervermögen
- Wärmeverteilsysteme mit niedriger Rücklauf-temperatur (möglichst < 50 °C)
- Leistungsbereich bis ca. 500 kW

Ausführung von Einkesselanlagen

- Dimensionierung des Heizkessels ohne Leistungsreserven gemäss SIA 384/2
- Feuerungssystem mit einer stufenlosen Leistungsregelung zwischen 30-100%
- technischer Hilfsspeicher für mindestens eine Volllaststunde
- prompter Störungsdienst mit 24 Stunden Pikettendienst und regelmässige Anlagewartung

Optionen für Einkesselanlagen

- Während der Übergangszeit möglichst trockene bzw. vorgetrocknete Holzschnitzel verwenden.
- Elektronisches Überwachungssystem.

Betriebsweise

- Der Heizkessel ist mit einer Rücklaufhochhaltung auszurüsten.
- Die Speicherkapazität ist optimal, wenn eine hohe Vorlauf-temperatur vom Heizkessel und eine niedrige Rücklauf-temperatur der Verbraucher gehalten wird.
- Die Warmwasseraufbereitung während der Heizperiode ergibt eine wertvolle Grundlast in der Übergangszeit.
- Ein Sommerbetrieb ist ungeeignet.

Einkesselanlage mit Speicher

Einzelanlagen eignen sich speziell bei Neuüberbauungen mit klar definiertem Wärmebedarf und gut wärmegeämmter Gebäudehülle mit Speicherkapazität. Sie werden vorwiegend für kleine bis mittlere Leistungen eingesetzt und erfordern eine sorgfältige Abklärung der Einsatzbedingungen. Hauptmotiv für die Wahl einer Einkesselanlage ist die verbesserte Wirtschaftlichkeit durch den Wegfall der Kosten für **einen** zusätzlichen Ölkessel, Öltank und Kamin. Allerdings muss sichergestellt werden, dass die gesparten Investitionen nicht durch höhere Betriebskosten (nicht effizienter Betrieb) kompensiert werden.

Anlagen mit einem Heizkessel sollten trotz der heute erhältlichen Leistungsregelung immer mit einem Speicher betrieben werden. Kleine technische Speicher mit einer Kapazität von mindestens einer Stunde Vollastbetrieb reduzieren die Anzahl Anfahr- und Ausbrandphasen deutlich. Lastspitzen nach Absenkerperioden werden geglättet und der Leistungsregelung steht mehr Zeit für die Anpassung zur Verfügung.

Grössere Speicher mit einer Kapazität von mehreren Stunden Vollastbetrieb dienen vorwiegend zur Überbrückung allfälliger Störungen an der Feuerungsanlage. Der Einsatz grösserer Speicheranlagen empfiehlt sich auch in Leichtbauten oder schlecht isolierten Altbauten, welche nur eine geringe Speicherkapazität besitzen.

Regelkonzept für Einkesselanlagen

Speicher und Heizkessel sind parallel geschaltet. Der Heizkessel wird leistungsabhängig geregelt. Der Speicher wird in Abhängigkeit der Aussentemperatur über vier Temperaturstufen geladen. Bei hoher Aussentemperatur erfolgt bereits bei einer Teilladung des Speichers eine Verminderung der Kesselleistung, so dass der Speicher mit Teillast weiter geladen wird, während bei tiefen Aussentemperaturen der Speicher im Vollastbetrieb geladen wird. Zusätzlich bestimmt die Aussentemperatur den Startpunkt zur Neuladung und die Intensität der Ladekapazität. Die Anlage ist so auszuliegen, dass der Wärmeinhalt des Speichers in der Übergangszeit mehrere Stunden ohne zusätzliche Wärmeproduktion überbrücken kann. Während dieser Zeit ist die Anlage ausgeschaltet. Ziel der Regelung:

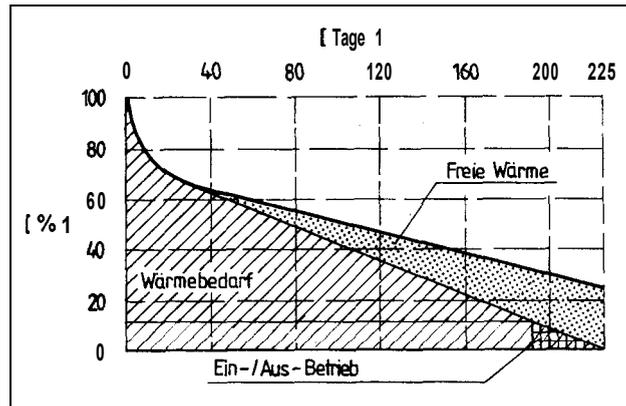
- möglichst lange Betriebszeiten, der Kessel wird bei möglichst geringer Leistung betrieben, so dass die Feuerungsleistung gerade der erforderlichen Leistung entspricht
- bei Ein/Aus-Betrieb der Feuerung soll der Speicher vor dem Einschalten der Feuerung entladen und vor dem Ausschalten geladen werden.

Eine automatische Zündung ermöglicht eine komfortable Fortsetzung des Feuerungsvorganges. Dieser Befehl wird bei folgenden Situationen ausgelöst:

- Unterschreiten der minimalen Kesseltemperatur
- leerer Speicher
- Vorlauftemperatur wird trotz Speicher nicht mehr erreicht.

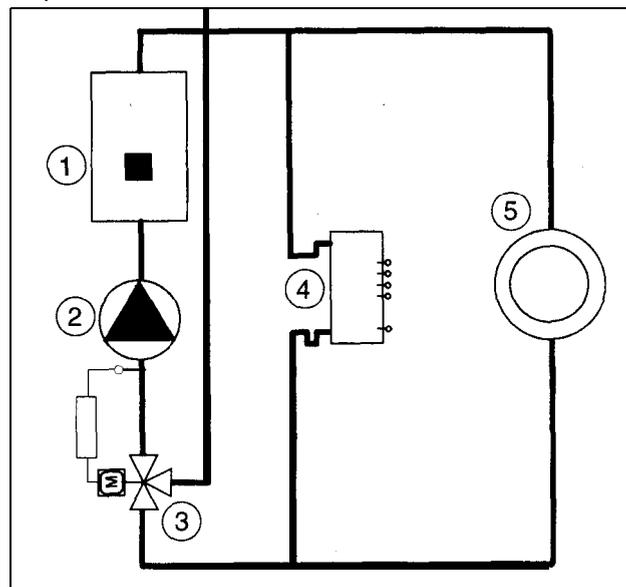
Bei feuchten Holzschnitzeln ist die automatische Zündung problematisch.

Wärmeleistungsbedarf mit Ein/Aus-Betrieb einer Einkesselanlage mit automatischer Zündung



Ein/Aus-Betrieb: Die Feuerung wird abgestellt und mit automatischer Zündung wieder in Betrieb genommen. Ein Ein/Aus-Betrieb mit Glutbatterhaltung stellt sich dagegen bereits bei höherer Leistung ein.

Hydraulischeschema einer Einkesselanlage mit Speicher



- | | |
|---------------------------------|---------------|
| 1 Automatische Holzfeuerung | 4 Speicher |
| 2 Pumpe | 5 Verbraucher |
| 3 Rücklauftemperaturhochhaltung | |

Einsatzbereich von bivalenten Anlagen

- praktisch alle Objekte von Klein- bis Grossanlagen

Ausführung des Holzkessels

- Dimensionierung auf ca. 60-80% des Wärmeleistungsbedarfs
- stufenlose Leistungsregelung zwischen 30-100%
- automatische Zuschaltung des Spitzenlastkessels (lastabhängig und im Störfall)
- Inbetriebnahme des Holzkessels erfolgt manuell.

Ausführung des Spitzenlastkessels

- Dimensionierung auf ca. 50-60% des Wärmeleistungsbedarfs
- Brenner zweistufig oder modulierend.

Optionen

- technischer Speicher für den Holzkessel
- automatische Zündung des Holzkessels.

Betriebsweise

- beide Heizkessel sind mit Rücklaufhochhaltung auszurüsten
- der Spitzenlastkessel ist parallel zum Holzkessel geschaltet
- Warmwasseraufbereitung während der Heizsaison ist erwünscht
- Sommerbetrieb mit Spitzenlastkessel (Öl/Gas) möglich; bei grösseren Wärmenetzen infolge hoher Verluste aber nicht sinnvoll.

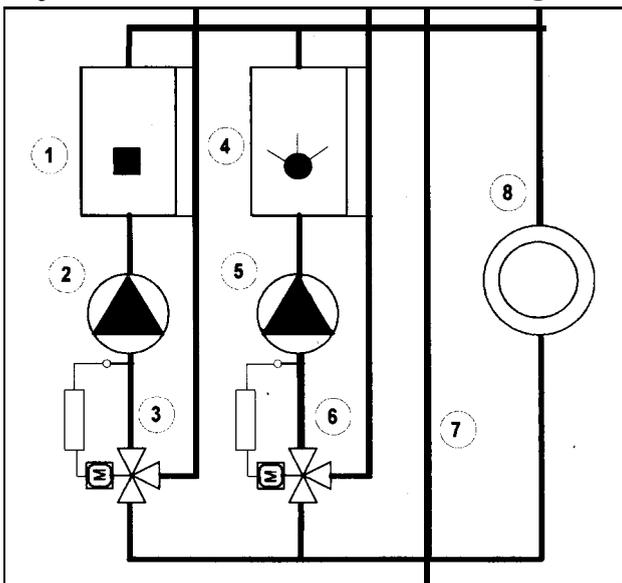
Bivalente Anlage Holz/Öl Holz/Gas

Grössere automatische Holzfeuerungen werden als bivalente Mehrkesselanlagen mit einem Öl- oder Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung ausgeführt. Die Gründe für den Einsatz eines zweiten Brennstoffs sind:

- hohe Betriebssicherheit
- automatische Betriebsweise
- Einsatz für Schwachlast- und Spitzenlast
- evtl. Sommerbetrieb für die Warmwasseraufbereitung.

Eine bivalente Feuerungsanlage besteht aus mindestens zwei Heizkesseln mit unterschiedlichen Brennstoffen. Der Holzkessel wird dabei als Grundlasteinheit möglichst während der ganzen Heizsaison eingesetzt, mit Ausnahme der Übergangszeit mit kleinem und schwankendem Wärmebedarf. Für die Grundlastabdeckung reicht eine Kesselgrösse von 60% bis 80% des berechneten Wärmeleistungsbedarfs. Der Spitzenlastkessel mit Öl- oder Gasfeuerung sollte auf 50% bis 60% des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt und mit einem zweistufigen oder modulierenden Brenner ausgerüstet werden. Mit dieser Leistungsaufteilung kann der Jahreswärmebedarf zu über 80% - 90% mit Holz gedeckt werden.

Hydraulikschema einer bivalenten Anlage



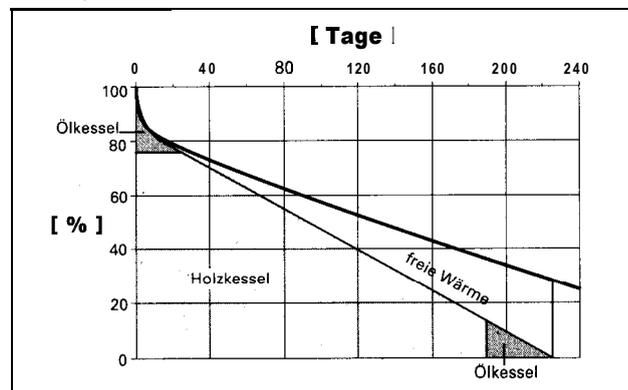
- | | |
|------------------------------------|---------------|
| 1 Automatische Holzfeuerung | 4 Ölfeuerung |
| 2, 5 Pumpe | 7 Überlauf |
| 3, 6 Rücklauftemperaturhochhaltung | 8 Verbraucher |

Regelkonzept für bivalente Anlagen

Die beiden Heizkessel sind parallel geschaltet. Die Zuschaltung des Spitzenlastkessels erfolgt von Hand oder über einen Einschaltbefehl von der Lastregelung des Holzkessels, wenn die Vorlauf-solltemperatur nicht mehr erreicht wird.

Bei bivalenten Anlagen bringt ein Wärmespeicher kaum Vorteile und wird deshalb selten eingesetzt. In der Übergangszeit und bei Lastspitzen wird der Spitzenlastkessel eingesetzt. Der Holzkessel kann dadurch optimal betrieben werden.

Wärmeleistungsverlauf einer bivalenten Anlage mit Holz und Öl



Die Schwach- und Spitzenlast wird mit Öl abgedeckt.

Einsatzbereich von bivalenten Anlagen

- praktisch alle Objekte von Klein- bis Grossanlagen

Ausführung des Holzkessels

- Dimensionierung auf ca. 60-80% des Wärmeleistungsbedarfs
- stufenlose Leistungsregelung zwischen 30-100%
- automatische Zuschaltung des Spitzenlastkessels (lastabhängig und im Störfall)
- Inbetriebnahme des Holzkessels erfolgt manuell.

Ausführung des Spitzenlastkessels

- Dimensionierung auf ca. 50-60% des Wärmeleistungsbedarfs
- Brenner zweistufig oder modulierend.

Optionen

- technischer Speicher für den Holzkessel
- automatische Zündung des Holzkessels.

Betriebsweise

- beide Heizkessel sind mit Rücklaufhochhaltung auszurüsten
- der Spitzenlastkessel ist parallel zum Holzkessel geschaltet
- Warmwasseraufbereitung während der Heizsaison ist erwünscht
- Sommerbetrieb mit Spitzenlastkessel (Öl/Gas) möglich; bei grösseren Wärmenetzen infolge hoher Verluste aber nicht sinnvoll.

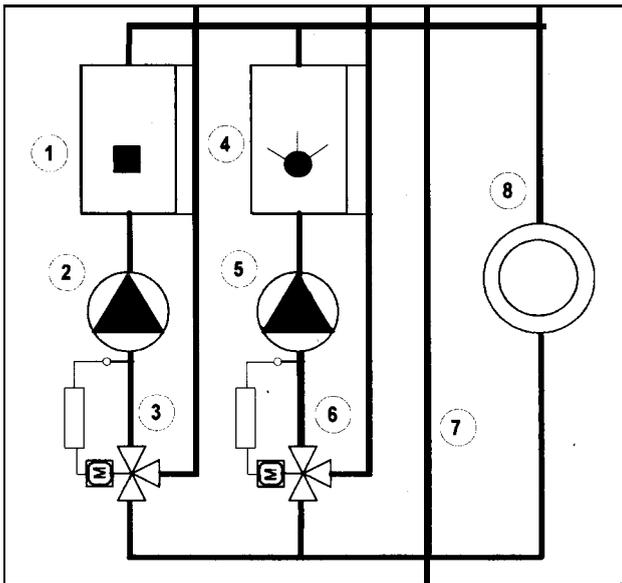
Bivalente Anlage Holz/Öl Holz/Gas

Grössere automatische Holzfeuerungen werden als bivalente Mehrkesselanlagen mit einem Öl- oder Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung ausgeführt. Die Gründe für den Einsatz eines zweiten Brennstoffs sind:

- hohe Betriebssicherheit
- automatische Betriebsweise
- Einsatz für Schwachlast- und Spitzenlast
- evtl. Sommerbetrieb für die Warmwasseraufbereitung.

Eine bivalente Feuerungsanlage besteht aus mindestens zwei Heizkesseln mit unterschiedlichen Brennstoffen. Der Holzkessel wird dabei als Grundlasteinheit möglichst während der ganzen Heizsaison eingesetzt, mit Ausnahme der Übergangszeit mit kleinem und schwankendem Wärmebedarf. Für die Grundlastabdeckung reicht eine Kesselgrösse von 60% bis 80% des berechneten Wärmeleistungsbedarfs. Der Spitzenlastkessel mit Öl- oder Gasfeuerung sollte auf 50% bis 60% des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt und mit einem zweistufigen oder modulierenden Brenner ausgerüstet werden. Mit dieser Leistungsaufteilung kann der Jahreswärmebedarf zu über 80% - 90% mit Holz gedeckt werden.

Hydraulikschema einer bivalenten Anlage



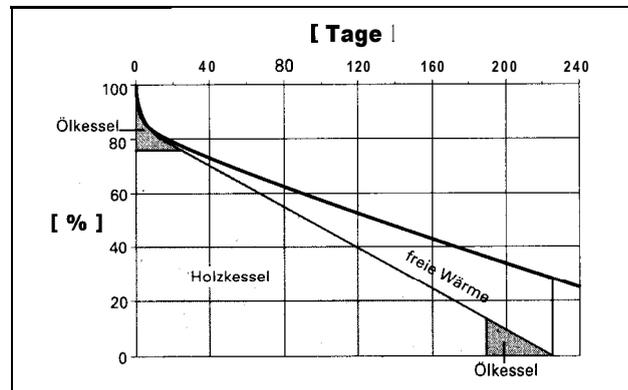
- | | |
|------------------------------------|---------------|
| 1 Automatische Holzfeuerung | 4 Ölfeuerung |
| 2, 5 Pumpe | 7 Überlauf |
| 3, 6 Rücklauftemperaturhochhaltung | 8 Verbraucher |

Regelkonzept für bivalente Anlagen

Die beiden Heizkessel sind parallel geschaltet. Die Zuschaltung des Spitzenlastkessels erfolgt von Hand oder über einen Einschaltbefehl von der Lastregelung des Holzkessels, wenn die Vorlauf-solltemperatur nicht mehr erreicht wird.

Bei bivalenten Anlagen bringt ein Wärmespeicher kaum Vorteile und wird deshalb selten eingesetzt. In der Übergangszeit und bei Lastspitzen wird der Spitzenlastkessel eingesetzt. Der Holzkessel kann dadurch optimal betrieben werden.

Wärmeleistungsverlauf einer bivalenten Anlage mit Holz und Öl



Die Schwach- und Spitzenlast wird mit Öl abgedeckt.

Monovalente Mehrkesselanlage

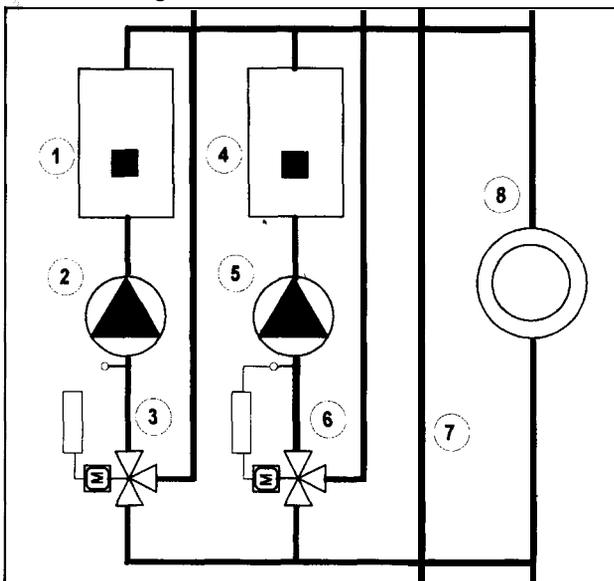
Durch die Aufteilung der Wärmeerzeugung auf zwei oder mehr Kesseleinheiten mit gleichem Brennstoff kann ein Betriebsverhalten ähnlich einer bivalenten Anlage erreicht werden. Dies ermöglicht auch bei grösseren Anlagen eine maximale Holzenergienutzung. Die Aufteilung der Leistung bringt eine feinere Leistungsregelung und damit auch energetische und lufthygienische Vorteile. Bei Ausfall einer Kesseleinheit übernimmt der zweite Heizkessel automatisch den Betrieb und gewährleistet einen Teillastbetrieb, bis die Störung behoben ist.

Aus Kostengründen kommen Zweikesselanlagen vor allem bei Anlagen mittlerer und grösserer Leistung zum Einsatz. Sie sind insgesamt nur unwesentlich teurer als eine bivalente Anlage.

Regelkonzept

Die Inbetriebnahme der einzelnen Kessel erfolgt von Hand durch den Anlagenwart oder mit automatischer Zündung.

Hydraulikschema einer monovalenten Mehrkesselanlage



- 1, 4 Automatische Holzfeuerung
- 2, 5 Pumpe
- 3, 6 Rücklaufftemperaturhochhaltung
- 7 Überlauf
- 8 Verbraucher

Einsatzbereich monovalenter Mehrkesselanlagen

- grosse Einzelobjekte oder Wärmeverbundanlagen mit grossem Wärmeleistungsbedarf (> ca. 500 kW)
- Alt- und Neubauten

Ausführung

- Aufteilung der Leistung auf beide Kesseleinheiten mit $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ des Wärmeleistungsbedarf
- stufenlose Leistungsregelung zwischen 30-100% für beide Kessel
- professionelle Anlagenbetreuung und 24 Stunden-Pikettdienst für Störungen sind Voraussetzung

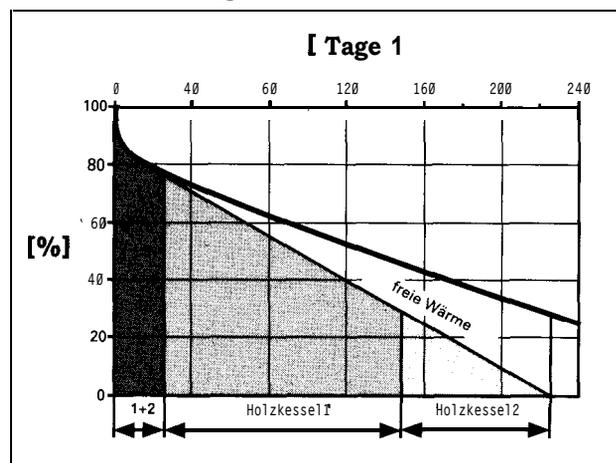
Optionen

- automatische Zündung der Holzessel
- Vortrocknung feuchter Holzchnitzel im warmen Heizraum

Betriebsweise

- Die Heizkessel sind mit Rücklauffhochhaltung ausgerüstet
- Kaskadenschaltung mittels übergeordneter Steuerung
- paralleler Anschluss der beiden Heizkessel auf den Speicher
- Warmwasseraufbereitung während der Heizsaison erwünscht
- Sommerbetrieb nur in Ausnahmefällen sinnvoll.

Wärmeleistungsverlauf einer monovalenten Mehrkesselanlage



Betriebsweise

- mit dem nachgeschalteten Wärmetauscher werden die Abgase bis knapp über dem Kondensationspunkt abgekühlt

Ausführung

- bei einem Luftüberschuss von $\lambda = 2$ ergibt eine zusätzliche Abkühlung der Abgase um 10 °C eine Wirkungsgradverbesserung um 1% .

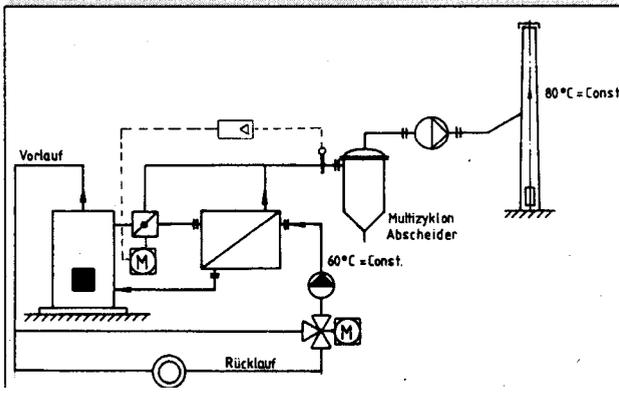
Einsatzbereich

- Anlagen ab 100 kW

Zusatzwärmetauscher

Der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung kann erhöht werden, wenn die Abgase in einem zusätzlichen Wärmetauscher weiter abgekühlt werden, so dass die Abgastemperatur im Kamin konstant ca. 80 °C beträgt. Die Abkühlung der Abgase wird dabei durch Vorwärmung des Systemrücklaufs erreicht.

Beim Anfahren der Heizanlage oder bei Unterschreitung der Solltemperatur von 80 °C im Kamin wird ein Teil des Abgasstroms über eine Klappe direkt in den Kamin geleitet, bis die Solltemperatur wieder erreicht wird.

Zusatzwärmetauscher im Abgasstrom

Abgaskondensation

Durch eine Abkühlung des Abgasstroms auf Temperaturen unterhalb des Taupunkts kann ein Teil der Energie, welche in der Feuerung zur Verdampfung des Wassers im Brennstoff aufgebracht werden muss, zurückgewonnen werden. Anstelle des Heizwertes kann somit der um die Verdampfungswärme höhere Brennwert ausgenutzt werden. Anlagen mit Abgaskondensation werden deshalb auch als Brennwertkessel bezeichnet.

Bei Anlagen mit **Abgaskondensation** wird die Energienutzung nicht vermindert, wenn nasse Holzschnitzel verbrannt werden.

Sofern die Holzfeuerung mit einem Luftüberschuss von $\lambda < 1.8$ betrieben wird und die Abgase auf 50 °C abgekühlt werden, kann für feuchte Holzschnitzel eine Wirkungsgraderhöhung um ca. 10-20% erreicht werden. Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz der Abgaskondensation sind ein hoher Wassergehalt (zwischen 40-60%) und eine niedrige mittlere Rücklauftemperatur des Heizsystems (mindestens 10 °C unter dem Taupunkt der Abgase).

In der Schweiz wird der Einsatz der Abgaskondensation bei automatischen Holzfeuerungen zur Zeit an Pilotanlagen erprobt. In Dänemark und Österreich sind zahlreiche Anlagen bereits seit einigen Jahren im Einsatz.

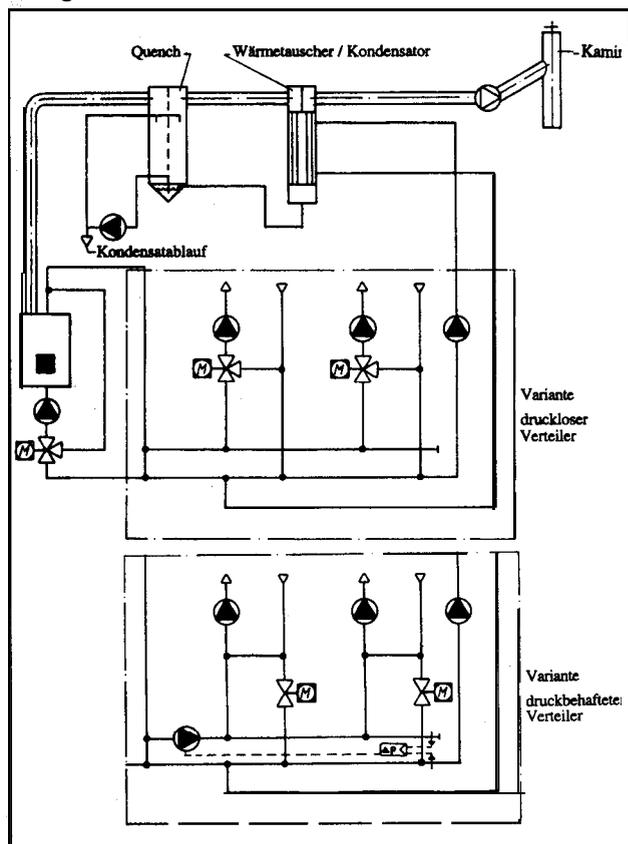
Betriebsweise

- Das Kondensat kann bei hoher Verbrennungsqualität ($\text{CO} \leq 250\text{ mg/Nm}^3$ bei 11 Vol.-% O_2) ohne Vorbehandlung in die Kanalisation eingeleitet werden.
- Die Feuerungsanlage sollte mit einer Verbrennungsregelung ausgerüstet und bei einer Luftüberschusszahl $\lambda \leq 1.8$ betrieben werden.

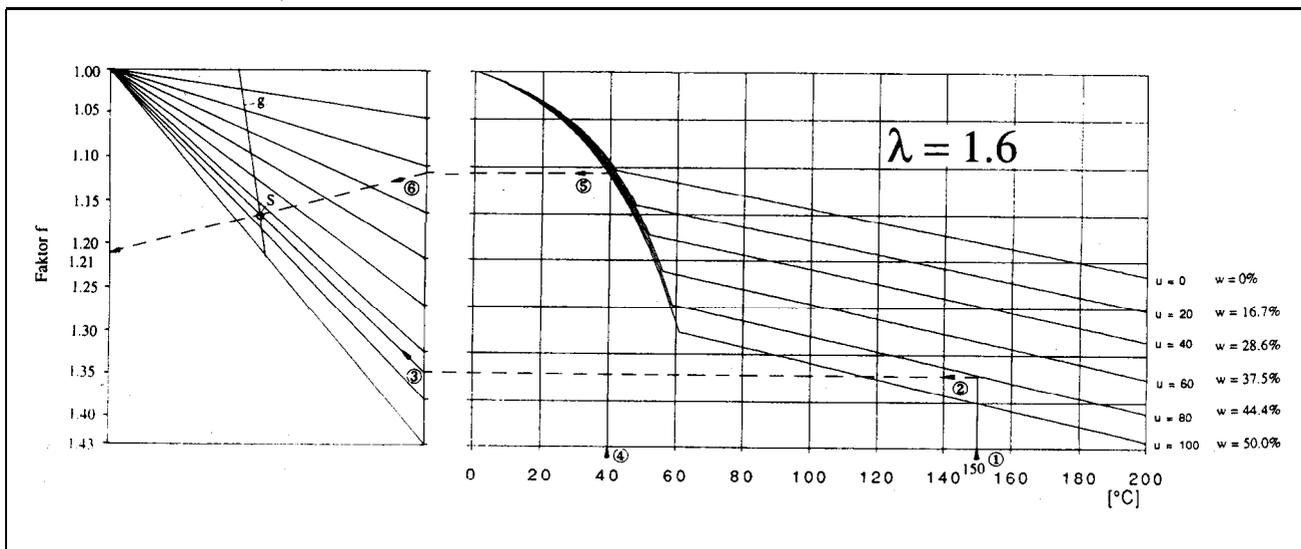
Einsatzbereich

- Die Abgaskondensation eignet sich insbesondere für Feuerungen ab ca. 500 kW und für den Einsatz von Brennstoffen mit hohem Wassergehalt.
- Für trockenen Brennstoff ($w \leq 30\%$) ist die Abgaskondensation nicht sinnvoll.

Hydraulikschema einer Holzfeuerung mit Abgaskondensation



Prozentualer Mehrertrag **der Wirkungsgrads in Funktion der Abgastemperatur bei einem Luftüberschuss von $\lambda = 1.6$**



Beispiel: Brennstoff $u = 80\%$, $w = 44\%$, die Abgase können von 150 °C ($\eta_f = 90\%$) auf 40 °C abgekühlt werden.

Bestimmung: Die Bestimmung der Wirkungsgradverbesserung erfolgt nach den Schritten 1 bis 6 wie oben im Diagramm eingezeichnet. Bei Schritt 6 ist eine Gerade durch den Schnittpunkt S zu legen. Der Schnittpunkt S liegt immer auf der Geraden g und ergibt sich aus Schritt 3.

Resultat: Durch die Abkühlung der Abgase erhöht sich der Wirkungsgrad gegenüber dem Ausgangspunkt um den Faktor 1.21. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad bei 40 °C beträgt somit $1.21 \cdot 90\% = 109\%$.

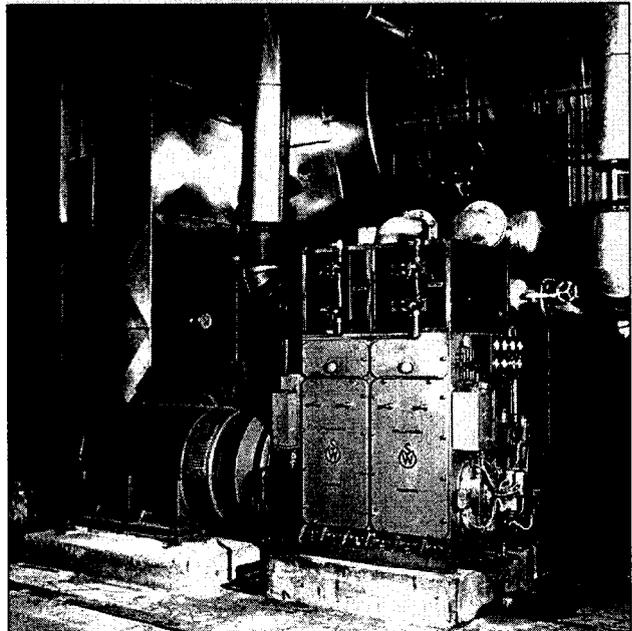
Stromerzeugung aus Holz und Wärmekraftkopplung mit Holz

In kommunalen Anlagen und in holzverarbeitenden Betrieben mit grossem Strombedarf besteht häufig das Interesse zur Stromerzeugung aus Holz. Im Vordergrund steht dabei die kombinierte Nutzung von Wärme und Strom durch Wärmekraftkopplung (WKK). Zur Krafterzeugung aus Holz kommemvor allem die Holzvergasung mit Nutzung des Gases in einem Verbrennungsmotor sowie die Dampferzeugung zum Antrieb eines Dampfmotors oder einer Dampfturbine in Frage. Die Stromerzeugung aus Holz ist damit wesentlich aufwendiger als die Wärmeerzeugung und ein wirtschaftlicher Betrieb ist nur unter besonderen Voraussetzungen möglich.

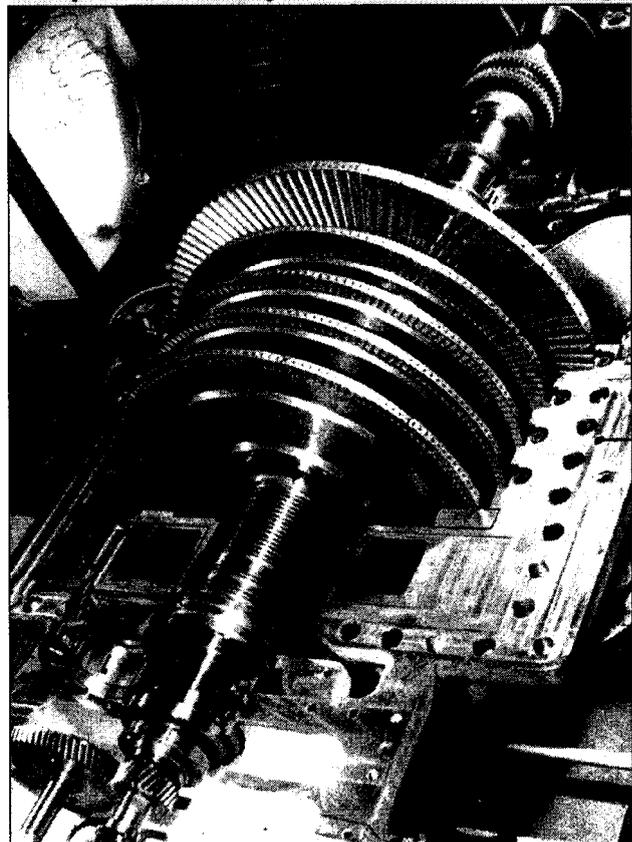
Anlagen zur Holzvergasung in Festbettvergäsern werden ab einigen kW bis zu einigen MW thermischer Leistung angeboten. Die Holzvergasung ist technisch jedoch noch nicht so ausgereift, dass marktreife Systeme zur Stromerzeugung verfügbar sind. Ein einwandfreier Betrieb kann häufig nur mit speziellen Brennstoffsportimenten erreicht werden (z.B. trockene Hartholzklötzchen). Da nebst Holzgas auch Holzkohle anfällt ist der Vergasungswirkungsgrad in der Regel relativ niedrig. Im weiteren ist das erzeugte Holzgas in der Regel mit Teer und Partikeln verschmutzt. Zur Nutzung in einem Motor ist deshalb eine Gasreinigung notwendig. Die Anlage wird dadurch aufwendig und es ist mit Rückständen und Kondensaten zu rechnen, die separat entsorgt werden müssen.

Die Technik zur Dampferzeugung aus Holz ist grundsätzlich verfügbar, ebenso die entsprechenden Dampfmaschinen zur Krafterzeugung. Allerdings sind die spezifischen Investitionskosten (Fr./kWel) für kleine und mittlere Anlagen hoch. Im unteren Leistungsbereich (bis ca. 3 MWel) kommen sowohl Dampfmaschinen als auch Dampfturbinen zum Einsatz. Die Stromwirkungsgrade in Kleinanlagen sind jedoch relativ gering. Bei reiner Stromerzeugung werden typischerweise Wirkungsgrade von ca. 15-20% erreicht. Bei kombinierter Wärmekraftkopplung kann die Gesamtausnutzung des Brennstoffs (Strom und Wärme) erhöht werden, wobei jedoch gleichzeitig der Stromwirkungsgrad abnimmt. Für grössere Leistungen (biseinige 100 MWel) kommen nur Dampfturbinen zum Einsatz. Bei grösseren Leistungen können durch den Einsatz **mehrstufiger Turbinen** und weiterer anlagentechnischer Massnahmen wesent-

Beispiel eines 2-Zylinder-Dampfmotors



Beispiel einer Dampfturbine kleiner Leistung



lich höhere Wirkungsgrade erzielt werden als in Kleinanlagen.

Wegen der hohen Kosten und der vergleichsweise geringen Gesamtwirkungsgrade ist der Einsatzbereich von Wärmekraftkopplungsanlagen für Holz beschränkt. Das verfügbare Energieholz sollte grundsätzlich so genutzt werden, dass eine maximale Substitution nichterneuerbarer Energieträger erzielt wird. Bei der heutigen Energieversorgung in der Schweiz ist somit vor allem eine Substitution fossiler Brennstoffe im Wärmemarkt anzustreben.

Zur raschen Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Holzverstromungsanlagen mit Dampfmaschinen und Dampfturbinen im Leistungsbereich von 1 MW_{th} bis 10 MW_{th} wird auf folgende Broschüre verwiesen:

Stromerzeugung aus Holz

Grobbeurteilung der Wirtschaftlichkeit von Holzverstromungsanlagen

DIANE 8, Energie aus Altholz + Altpapier
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
EDMZ Nr. 805.182 d
Bezugsquelle:
EDMZ, 3000 Bern

3.2 Wärmeverbund

Zweck

Die Motivation für einen Wärmeverbund besteht darin, dass grössere automatische Holzfeuerungen einen höheren Jahresnutzungsgrad und tiefere Nutzwärmepreise erzielen. Gleichzeitig können der Komfort für die Verbraucher verbessert und die Schadstoffemissionen vermindert werden.

Bei idealer Einbindung, guter Auslastung und hoher Anschlussdichte können grössere automatische Holzfeuerungen einen Jahresnutzungsgrad von 80-85% erreichen.

Auslegung

Bei der Konzeption eines Wärmeverbundes sind folgende Punkte zu beachten:

- Das Fernwärmenetz soll sternförmig um das Heizwerk angelegt werden. Die Stranglänge soll in der Regel 1.5 km nicht überschreiten.
- Die Übergabestation beim Verbraucher kann direkt (ohne Wärmetauscher) oder indirekt (mit Wärmetauscher zur Trennung von Fernwärme- und Verbrauchermedium) ausgeführt werden. Aus Kostengründen ist ein direkter Wärmeübergang vorzuziehen.
- Die Anschlussdichte sollte aus wirtschaftlichen Gründen mindestens 1-2 kW/Grabenmeter betragen.
- Das Fernleitungsnetz muss eine hohe Wasserqualität aufweisen.
- Zur Minimierung der Wärmeverluste sollte die Vorlauftemperatur witterungsgeführt sein und 80 °C nicht übersteigen. Die Differenz zwischen Vor- und Rücklauf sollte ca. 25-30 °C betragen.
- Die Wärmeverluste sollten während der Heizperiode 5% und bei Ganzjahresbetrieb 10% nicht übersteigen.
- Die Pumpe für das Fernleitungsnetz muss mit einem Differenzdruckregler am Ende der Fernleitung so gesteuert werden, dass sie immer an der Pumpenkennlinie arbeitet.
- Für eine allfällige Warmwasseraufbereitung im Sommer kann eine kleinere, dem geringeren Volumenstrom angepasste Pumpe eingesetzt werden.

Sommer- und Winterbetrieb

Eine Warmwasseraufbereitung im Sommer kommt nur bei grossem Bedarf wie bei Sportanlagen oder Mehrfamilienhäusern in Frage. Die Verluste müssen dabei durch gestaffelte Warmwasserlieferung und einen speziellen Sommerbetrieb der Feuerung reduziert werden.

In den meisten Fällen darf jedoch wegen der grossen Wärmeverlustevon Feuerung und Fernleitung kein Sommerbetrieb zur Warmwasseraufbereitung erfolgen. Oft ist schon der Stromverbrauch des Wärmeverbundes grösser als derjenige für die dezentrale Warmwasseraufbereitung.

Beispiel: Sommerbetrieb zur Warmwassererzeugung für eine Schulanlage

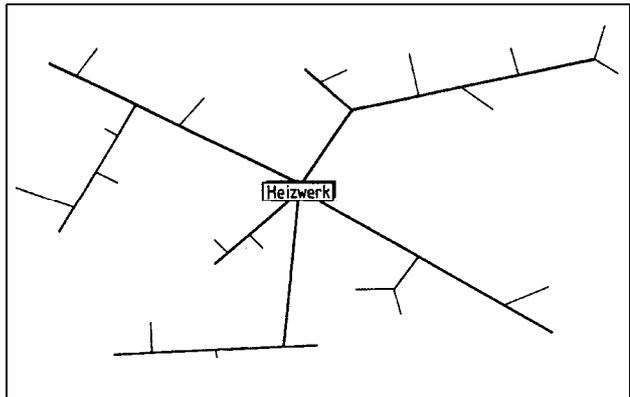
Fernleitung	400 m mit DN 100
Tageswärmebedarf	300 kWh/Tag
mittl. Tageswärmebedarf	200 kWh/Tag

(Schulbetrieb 6 Tage/Woche und 14 Wochen Ferien)

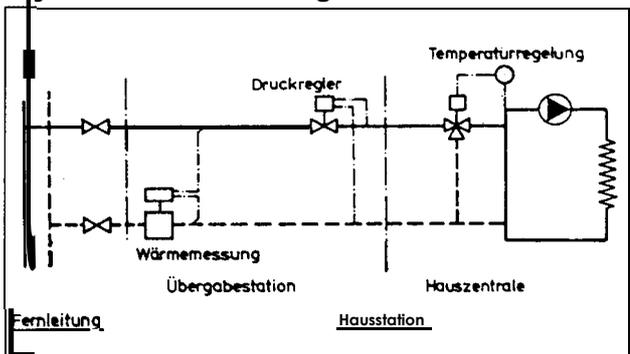
Wärmeverlust Fernleitung	260 kWh/Tag
Wärmeverlust Feuerung	200 kWh/Tag
Hilfsenergiebedarf	30 kWh/Tag

Die Wärmeverluste sind somit wesentlich grösser als der Wärmebedarf. Der Betrieb des Wärmeverbundes im Sommer ist somit nicht sinnvoll.

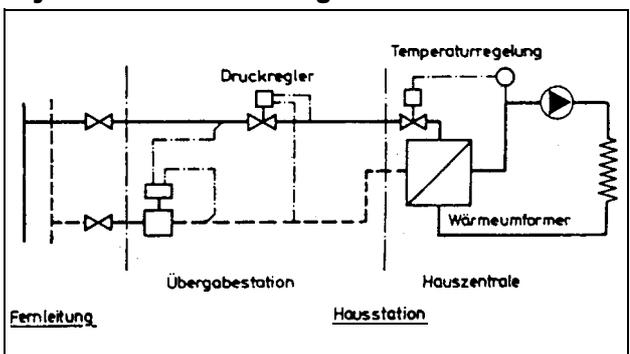
Fernwärmenetz in Sternform



Hydraulikschema Übergabestation direkt



Hydraulikschema Übergabestation indirekt



4 Komponenten

4.1	Silobeschickung, Lagerhallenbeschickung und Austragungssysteme	65
	Silobeschickung	65
	Silodeckel	65
	Einschubförderer	67
	Siloverteiler	68
	Pumpcontainer	68
	Silou Austragung	69
	Schubboden	69
	Kratzbodenförderer	70
	Zentrumsschnecke	70
	Konusschnecke	71
	Pendelschnecke	72
	Container mit Austrag als Siloersatz	73
	Befüllen und Austragen bei Lagerhallen	73
	Pneulader	73
	Hallenkran	74
	Kratzkettenförderer	75
	Be- und Entladesystem mit verschiebbarem Kratzkettenträger	76
4.2	Fördersysteme	77
	Pneumatische Förderung	77
	Schnecken	78
	Schubsystem	78
	Kratzkettenförderer	79
4.3	Feuerungssysteme	80
	Unterschubfeuerung	80
	Vorfeuerung mit Rost	81
	Vorschubrostfeuerung	82
	Feuerung mit Wurfbeschickung	83
4.4	Auswahlkriterien für das Feuerungssystem	84

4 Komponenten

4.1 Silobeschickung, Lagerhallenbeschickung und Austragungssysteme

Die geeignete Energieholzlagerung ist abhängig vom Brennstoffverbrauch und der Anlieferungsform. Bei externem Energieholzbezug sollte das Lagervolumen möglichst zehnmal pro Jahr umgesetzt werden. Bei kleineren und mittleren Anlagen wird in der Regel ein Silo zur Energieholzlagerung verwendet, bei Anlagen über 2 MW ist dagegen eine Lagerhalle wesentlich kostengünstiger. Bei Anlagen für frische Waldhackschnitzel kann der Bau einer Lagerhalle und eines Tagessilos eine wirtschaftliche Lösung sein.

Bei der Energieholzversorgung aus erhöhten Regionen, in welchen kein ganzjähriger Holzschlag möglich ist, wird das Holz in tieferen Lagen im Polter zwischengelagert und dort bei Bedarf gehäckselt. Dies ermöglicht den Bau von kleinen und damit kostengünstigen Silos bei den Verbrauchern.

Bei grossem Holzschnittelbedarf und kurzen Umschlagszeiten kann das Energieholz auch auf einer Halde gelagert werden. Um Verunreinigungen durch Sand und Steine zu vermeiden, wird die Halde auf einem geteerten Platz eingerichtet. Entsprechende Erfahrungen haben gezeigt, dass die Eindringtiefe von Regenwasser bei sehr grossen Halden begrenzt ist und der Wassergehalt deshalb 50% nicht übersteigt. Die Lagerung auf einer Halde eignet sich vor allem für Rinde. Es muss jedoch beachtet werden, dass je nach Brennstoff und Feuerung ein erhöhter Fremdwassergehalt bei der Verbrennung problematisch sein kann.

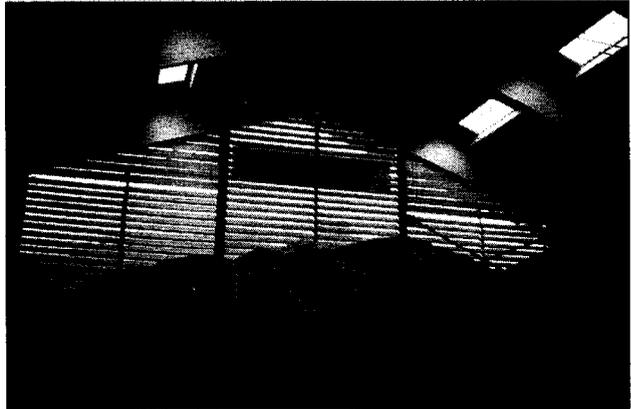
Silobeschickung

Je nach Art und Zyklus der Brennstoffanlieferung kommen verschiedene Beschickungssysteme zum Einsatz. Die Beschickung muss einfach, robust und kostengünstig sein und sie sollte einen möglichst geringen Wartungsaufwand verursachen. Im weiteren muss die Beschickung vor allem der örtlichen Situation angepasst sein.

Silodeckel

Bei bodenebenen Silos, welche direkt mit Lastwagen befüllt werden, ist die Konstruktion des Silodeckels sehr wichtig.

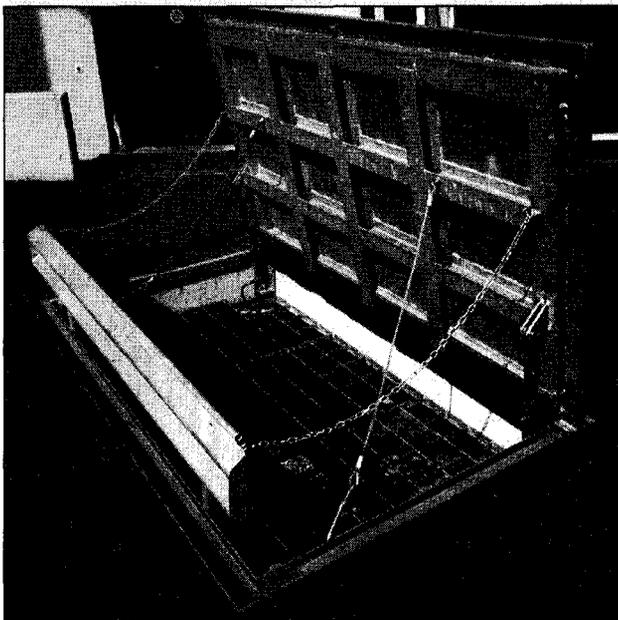
Lagerhalle für Holzschnittel



Polter als Zwischenlager



Befahrbarer Silodeckel



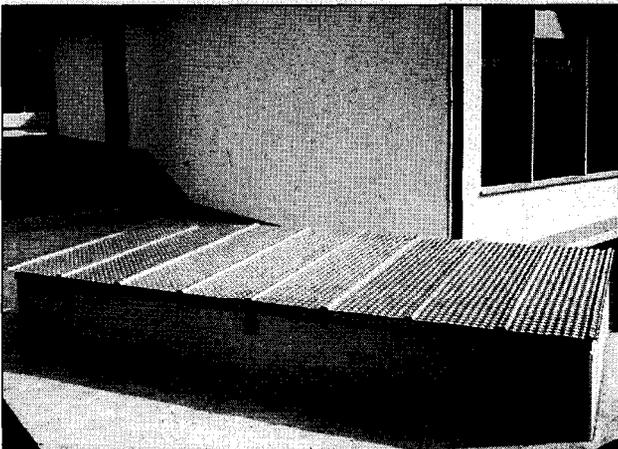
Sofern ein befahrbarer Deckel erforderlich ist, muss darauf geachtet werden, dass nach der Befüllung ein Verschliessen ohne Reinigungsaufwand für die Abwasserrinne und den Scharnierbereich möglich ist. Wegen der hohen Kosten und der Problematik des Wassereintruchs sind befahrbare Deckel jedoch wenn möglich zu vermeiden.

Wenn der Deckel nicht befahrbar ausgeführt werden muss, wird er auf einer ca. 20 cm hohen Betonumrandung aufgesetzt. Damit besteht keine Gefahr des Wassereintruchs und es können zudem Kosten eingespart werden.

Die heute üblichen Abmessungen für Silodeckel betragen 2.0 x 3.0 m. Vom betrieblichen Ablauf her sind jedoch Silodeckel mit grösserer Einfüllöffnung anzustreben, da dadurch der Arbeitsaufwand beim Abladen verringert werden kann:

- kürzere Abladezeit durch weniger Manöver des Lastwagens und besseres Fliessverhalten der Holzschnitzel
- kein nachträgliches Reinigen des Abladeplatzes
- weniger Beschädigungen am Silodeckel.

Nicht befahrbarer Silodeckel



Der Silodeckel kann auch in geteilter Ausführung gefertigt werden. Dadurch wird die Festigkeit verbessert, durch das geringere Gewicht der einzelnen Deckelteile erhöht sich der Bedienungs-komfort. Gleichzeitig fallen bei dieser Anordnung die Holzschnitzel nicht seitlich neben die Einfüllöffnung und es besteht keine Gefahr, dass der Silodeckel abgedrückt wird, wenn die Holzschnitzel als kompakter Block aus dem Lastwagen rutschen.

Gemäss SUVA-Vorschrift muss die Einfüllöffnung mit einem Schutzgitter oder einem Rost abgedeckt werden. Die Maschenweite des Gitters darf maximal 20 x 20 cm betragen, bei einem Rost ist ein maximaler Stababstand von 15 cm vorgeschrieben. Da Holzschnitzel zu Brückenbildung neigen, setzen sie sich beim Einfüllen auf dem Gitter fest, wodurch der Materialfluss verlangsamt wird.

Für einen problemlosen Ablad ist von Vorteil, wenn der Deckel um mehr als 90°, also über den Totpunkt hinaus, geöffnet werden kann. Dadurch ergibt sich ausreichend Platz für das Kippfahrzeug und es wird gleichzeitig verhindert, dass der Deckel selbständig zufallen kann.

Einschubförderer

Zweck: Bei Silos in Untergeschossen übernimmt der Einschubförderer den Schnitzeltransport vom Einfüllschacht in das Silo und erhöht zusätzlich den Füllgrad.

Funktion: Hydraulische Zylinder bewegen mehrere Schubstangen mit Querstreben horizontal vor und zurück. Durch die keilförmige Form der Querstreben wird der Brennstoff in die gewünschte Richtung transportiert.

Merkmale: Die durch die Hydraulikzylinder erzeugten und recht grossen Kräfte müssen vom Gebäude aufgenommen werden.

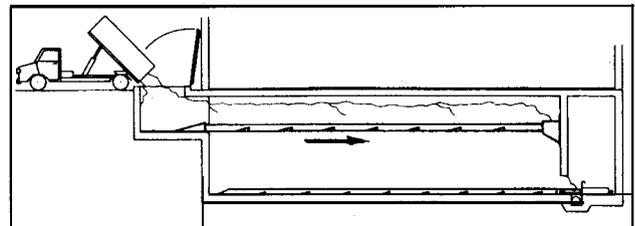
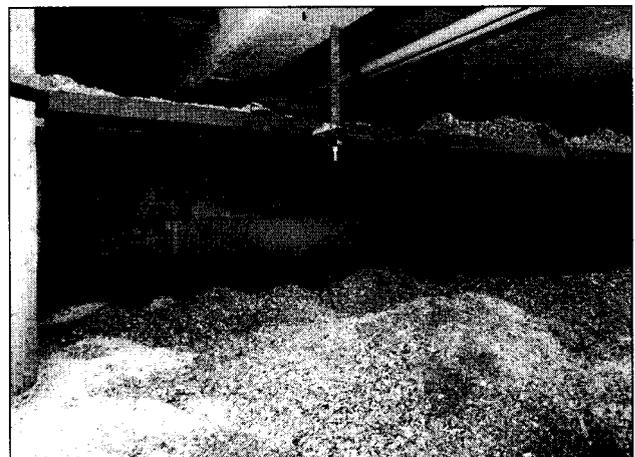
Einschubförderer

Vorteile:

- Höherer Füllgrad im Silo
- Bessere Raumnutzung für die Heizanlage.

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Längere Abladezeiten und (Wartezeit für den Holzlieferanten)



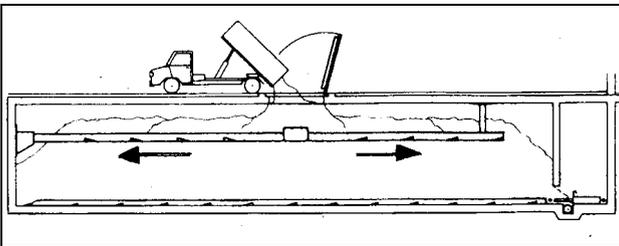
Siloverteiler

Vorteile:

- geringer Energieverbrauch
- unabhängig von Brennstoffform und Wassergehalt
- unempfindlich gegen grössere Fremdkörper
- lange Silos möglich
- spart zusätzliche Silodeckel

Nachteile:

- Längere Abladezeiten (und Wartezeit für den Holzlieferanten)
- hohe Investitionskosten



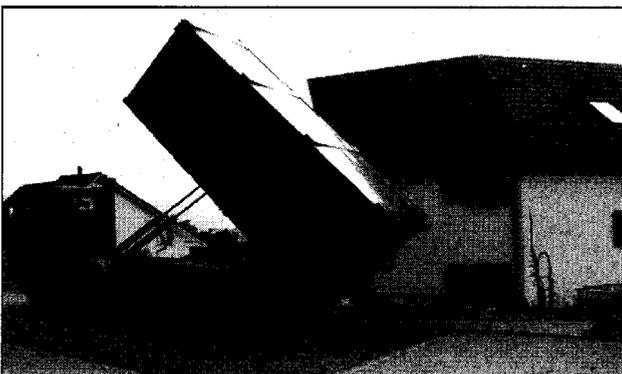
Pumpcontainer für Holzschnitzel

Vorteile:

- keine lokalen Einrichtungen nötig
- keine Verschmutzung durch danebenfallende Holzschnitzel
- spart Investitionskosten für Beschickungs- und Verteilsysteme
- höchster Silofüllgrad (bis 98%)

Nachteile:

- Abhängigkeit von Energieholzlieferant
- längere Abladezeiten (ca. 20 Min. gegenüber Kippcontainer von ca. 5 Min.)
- Staubentwicklung bei trockenen Holzschnitzeln, ungeeignet für Schleifstaub und Hobelspäne
- Anlieferungskosten ca. Fr. 4.-/Sm³ höher
- Lärm durch Pumpsystem



Siloverteiler

Zweck: Der Siloverteiler fördert die Holzschnitzel horizontal so, dass das Silo unabhängig von der Form gleichmässig befüllt wird.

Funktion: Der Siloverteiler funktioniert wie der Einschubförderer, wirkt jedoch von der Einfüllöffnung aus in zwei entgegengesetzte Richtungen.

Merkmale: Einfache, stabile Konstruktion zur horizontalen Förderung. Die Kräfte der Hydraulikzylinder müssen vom Gebäude aufgenommen werden.

Hinweis: Wenn die baulichen Voraussetzungen dies erlauben, ist der Einbau von drei Silodeckeln anstelle eines Deckels mit Siloverteiler vorzuziehen.

Pumpcontainer

Zweck: Sichert die Befüllung von Silos, bei welchen eine direkte Zufahrt mit Lastwagen nicht möglich ist.

Funktion: Die Holzschnitzel werden direkt vom Container (Füllvolumen ca. 25 m³) in das Silo gepumpt. Mit einem internen Austragungssystem werden die Schnitzel über eine flexible Leitung ins Silo gefördert. Zum Entleeren wird der Container gekippt, damit die Holzschnitzel in die Austragzone rutschen und von dort in das Silo gefördert werden.

Merkmale: Mobil und vielseitig einsetzbar, vor allem geeignet für frische Waldhackschnitzel.

Siloaustragung

Schubboden

Zweck: Kontinuierlicher Austrag des Energieholzes bei grossflächigen Silos.

Funktion: Eine oder mehrere Schubstangen mit Mitnehmern werden durch Hydraulikzylinder horizontal vor und zurück bewegt. Durch die keilförmige Form wird der Brennstoff in die Austragschnecke geschoben. Bei modernen Systemen werden die einzelnen Schubstangen miteinander vorwärtsbewegt und einzeln zurückgeführt, wodurch die Schubkräfte der einzelnen Schubstangen verringert werden.

Merkmale: Die Kräfte der Hydraulikzylinder müssen vom Gebäude aufgenommen werden. Das Gewicht des Brennstoffs über dem Schubsystem bestimmt die Schubkräfte. Die Einrichtung wird dem Silo angepasst.

Einsatz: Für alle Brennstoffe geeignet.

Schubboden

Vorteile:

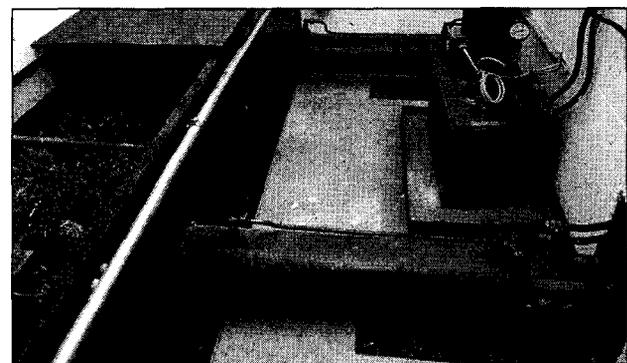
- grossflächiger Austrag
- betriebssicher und unabhängig vom Wassergehalt
- keine Antriebsteile im Silo
- unabhängig von Form und Grösse des Energieholzes

Nachteile:

- hohe Schubkräfte auf Gebäude
- beschränkte Förderlänge und -menge
- nur geradliniger Einsatz möglich



Schubboden



Hydraulik-Zylinder für Schubboden und Querförderer

Kratzbodenförderer

Vorteile:

- grosse Anpassungsmöglichkeiten an Brennstoff und Silosituation

Nachteile:

- Antriebsteile im Siloraum
- hohe Investitionskosten
- Wartung und Unterhalt erforderlich
- komplexe Konstruktion

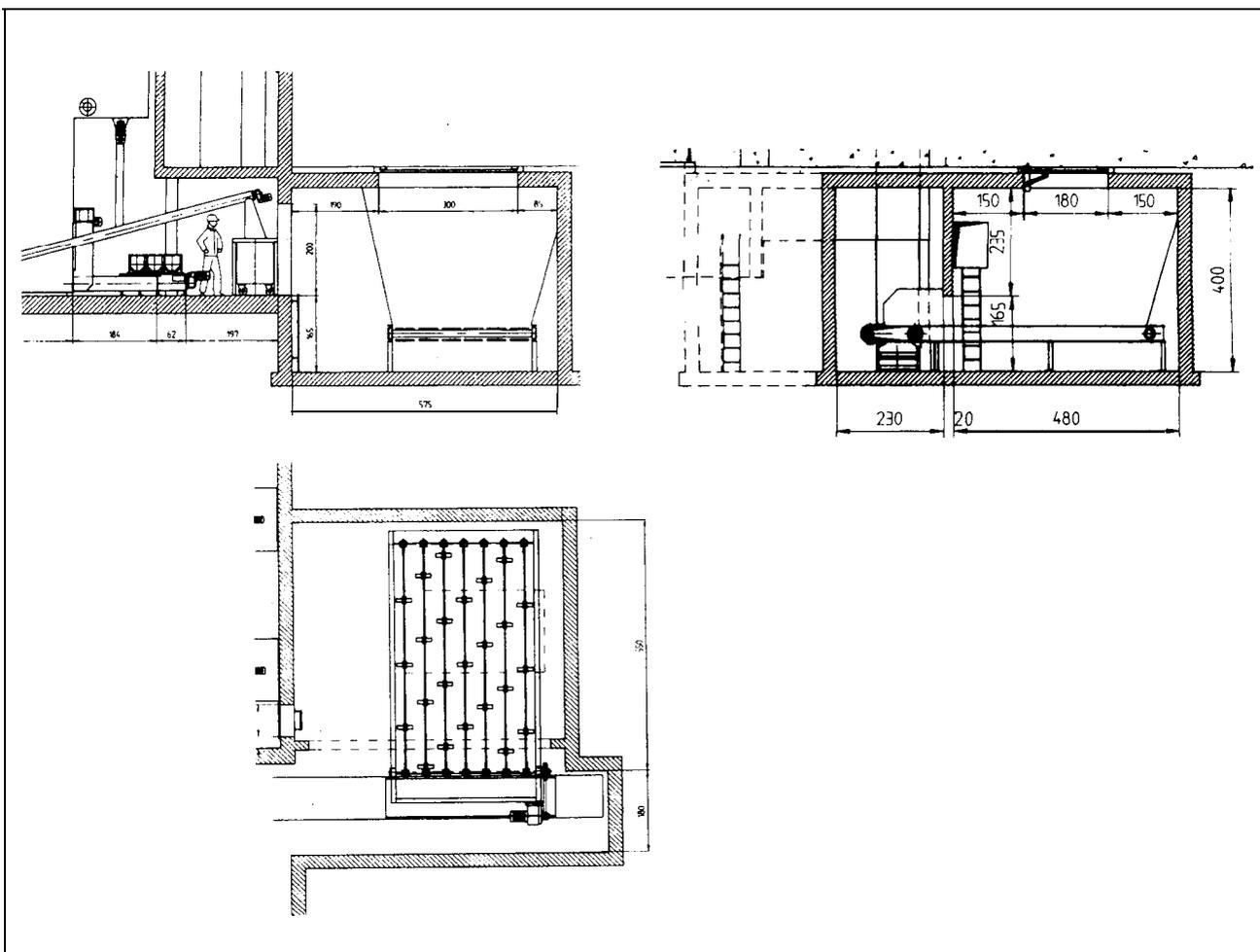
Kratzbodenförderer

Zweck: Fördert das Energieholz aus kleinflächigen Silos (Vorsilo, Tagessilo).

Funktion: Der Kratzbodenförderer funktioniert ähnlich wie ein Förderband. Auf Transportketten sind Querprofile befestigt, welche das Energieholz mitnehmen. Die Einrichtung kann auf die Silosituation zugeschnitten werden. Die Silobreite und -höhe bestimmt die Anzahl der Transportketten.

Merkmale: Der Kratzbodenförderer wird auf den jeweiligen Brennstoff ausgelegt und erzielt dadurch eine hohe Förderleistung.

Einsatz: Für alle Brennstoffe geeignet.



Zentrumsschnecke

Zweck: Zum Entleeren von quadratischen und runden Silos.

Funktion: Die Zentrumsschnecke beschreibt am Boden des Silos einen Kreis um das Zentrum und fördert den Brennstoff horizontal in die Silomitte.

Merkmale: Wirkungsdurchmesser ab 4.0 m.

Einsatz: Geeignet für trockene Holzschnitzel sowie für Späne und Staub aus Holzverarbeitenden Betrieben (ohne Endstücke und Steine).

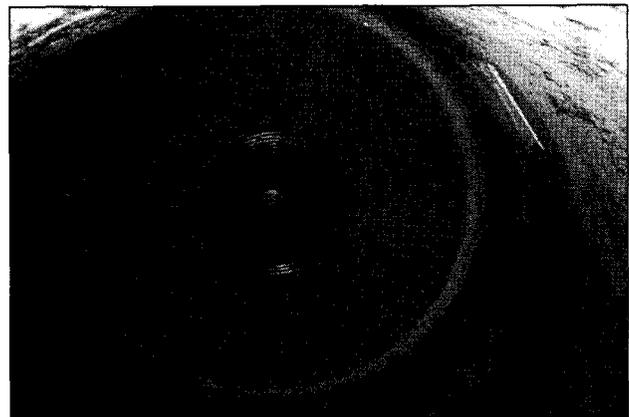
Zentrumsschnecke

Vorteile:

- einfache Konstruktion
- geringe Brückenbildung
- grosse Silohöhe (geeignete Stocheröffnungen vorausgesetzt)

Nachteile:

- empfindlich auf grosse Stücke (Endstücke und Steine müssen aussortiert werden)
- Antriebsteile im Siloraum



Konusschnecke

Zweck: Zum kontinuierlichen Entleeren von hohen Silos mit kreisförmiger, achteckiger oder quadratischer Grundfläche.

Funktion: Aufbau ähnlich demjenigen der Zentrumsschnecke, die Zuführungsschnecke ist jedoch nicht horizontal, sondern geneigt. Der Brennstoff wird zu der Austragsvorrichtung im Zentrum des Silos gefördert.

Merkmale: Wirkungsdurchmesser 1.5 bis 5.0 m. Für hohe Silos geeignet, sofern nur geringe Gefahr von Brückenbildung besteht.

Einsatz: Geeignet für trockene Holzschnitzel sowie für Späne und Staub aus Holzverarbeitenden Betrieben (ohne Endstücke und Steine).

Konusschnecke



Vorteile:

- einfache Konstruktion
- geringe Brückenbildung
- grosse Silohöhe (geeignete Stocheröffnungen vorausgesetzt)

Nachteile:

- keine volle Ausnutzung des Lagervolumens, ein Restvolumen bleibt im Silo
- die erfasste Grundfläche ist beschränkt
- Antriebsteile im Siloraum

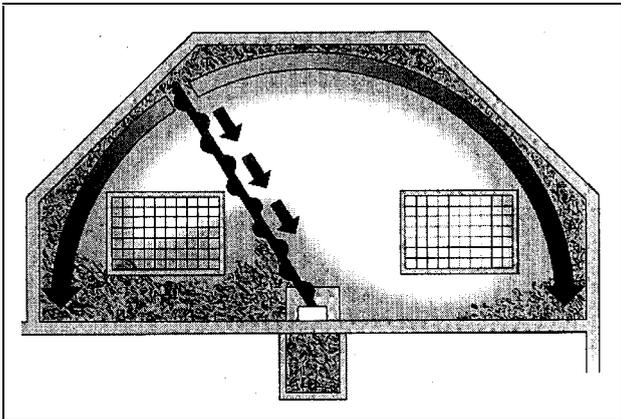
Pendelschnecke

Vorteile:

- einfache Konstruktion
- geringe Brückenbildung
- grosse Silohöhe (geeignete Stocheröffnungen vorausgesetzt)
- keine Antriebsteile im Siloraum

Nachteile:

- keine volle Ausnutzung der Grundfläche, ein Restvolumen bleibt im Silo
- empfindlich auf grosse Brennstoffstücke (Endstücke und Steine müssen aussortiert werden)



Pendelschnecke

Zweck: Zum kontinuierlichen Entleeren von quadratischen und rechteckigen Silos.

Funktion: Die Austragsschnecke ist am Silorand angeordnet. Sie pendelt kreisförmig innerhalb eines begrenzten Sektors am Siloboden horizontal hin und her und fördert das Energieholz zur Austragsvorrichtung.

Merkmale: Die Pendelaustragschnecke wird hauptsächlich in quadratischen und rechteckigen Silos eingesetzt. Die Antriebsteile sind ausserhalb des Silos angebracht.

Einsatz: Geeignet für frische Waldhackschnitzel, sofern Steine und Endstücke entfernt werden, sowie für Späne und Staub aus Holzverarbeitenden Betrieben.

Container mit Austrag als Siloersatz

Zweck: Direkte Beschickung einer Heizanlage durch ein mobiles Containersystem.

Funktion: Der volle Schnitzelcontainer (Füllvolumen ca. 30 m³) wird mit dem Lastwagen abgeladen. Das interne Austragsystem wird mit der Beschickungsvorrichtung der Feuerung gekoppelt. Das Feuerungssystem steuert die Brennstoffaustragung des Containers an. Ein zweiter voller Container steht bereit, damit bei Bedarf sofort umgestellt werden kann und die kontinuierliche Brennstoffzufuhr nicht unterbrochen wird.

Merkmale: Keine stationäre Lagereinrichtung. Je nach Leistung des Heizwerkes sind mehrere volle Container notwendig. Eine kontinuierliche Holzschnitzelanlieferung in Containern ist Bedingung. Diese Art der Schnitzelversorgung ist derzeit nur in der Nordwestschweiz verfügbar, wo die Container auch gemietet werden können.

Einsatz: Geeignet für frische Waldhackschnitzel.

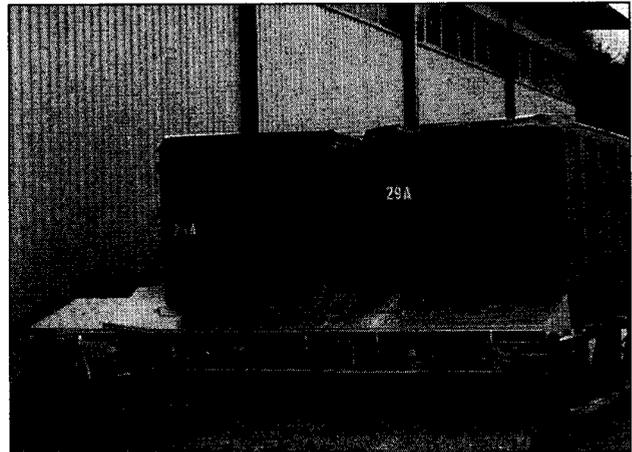
Mobile Schnitzelcontainer als Siloersatz

Vorteile:

- keine Investitionen für stationäres Silo
- kurze Abladezeiten bei der Schnitzellieferung

Nachteile:

- Abhängigkeit vom Holzlieferanten
- Lagerfläche ausserhalb des Heizsystems nötig
- vorteilhaft ist ein einfacher Sichtschutz der Container (Windschutz im Winter)
- höhere Betriebskosten durch Mietkosten für die Container (ca. Fr. 6.-/Tag)
- Einfriergefahr im Winter



Befüllen und Austragen bei Lagerhallen

Pneulader

Zweck: Be- und Entladen von Lagerplätzen und Lagerhallen.

Funktion: Der Pneulader fördert das angelieferte oder auf Platz frisch gehackte Energieholz in die Lagerhalle oder schüttet es auf die Halde. Von dort wird bei Bedarf ein Vorsilo befüllt.

Merkmale: Die Arbeitsweise ist arbeitsintensiv und zeitaufwendig. Der Pneulader kann nicht automatisiert werden, ist jedoch polyvalent einsetzbar.

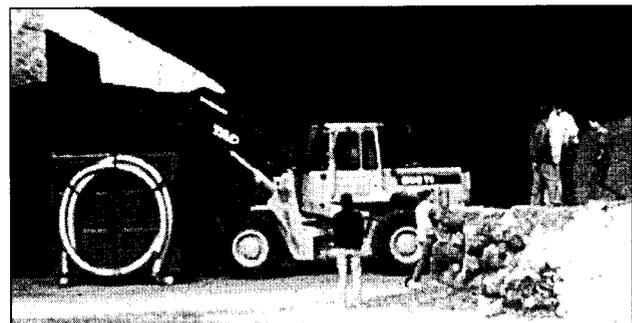
Pneulader

Vorteile:

- platzunabhängig und polyvalent einsetzbar
- kann dem Brennstoff optimal angepasst werden
- Möglichkeit, verschiedene Brennstoffarten zu separieren

Nachteile:

- personalaufwendig
- hoher Energieverbrauch
- Lärm



Hallenkran

Vorteile:

- auf die Brennstoffart speziell anpassbar
- Automation möglich, jedoch komplex

Nachteile:

- nur für grössere Lagerplätze sinnvoll
- mehrheitlich Handbetrieb
- aufwendiger Betrieb, gesetzliche Wartungspflicht



Hallenkran

Zweck: Be- und Entladen von Lagerhallen.

Funktion: Der Greifkran übernimmt automatisch oder handgesteuert das Be- und Entladen von Lagerhallen. Der Kran greift das Energieholz aus einer Halde oder einem Bunker von oben und beschickt ein Tagessilo.

Merkmale: Innerhalb der Kranbahnen höhen- und flächenunabhängig. Stundenleistung max. 60 m³.

Kratzkettenförderer

Zweck: Fördert klein- bis grossförmiges Energieholz horizontal bis vertikal.

Funktion: Der Kratzkettenförderer funktioniert ähnlich wie ein Förderband. In einer geschlossenen Kastenkonstruktion laufen zwei Ketten parallel. Dazwischen sind Mitnehmer montiert, welche das Energieholz an den Bestimmungsort schieben.

Merkmale: Der Kratzkettenförderer kann für verschiedene Brennstoffarten und Wassergehalte eingesetzt werden. Die Förderrichtung ist horizontal bis vertikal, jedoch nur geradlinig. Mit entsprechenden Modifikationen (verschiedene Abwurföffnungen, verschiebbare Quertransporte) können grossflächige Silos oder Lagerhallen beladen werden.

Kratzkettenförderer

Vorteile:

- hohe Förderleistung
- vielfältige Einsatzmöglichkeiten

Nachteile:

- aufwendige Konstruktion
- hohe Investitionskosten
- Wartung und Unterhalt erforderlich
- Lärm

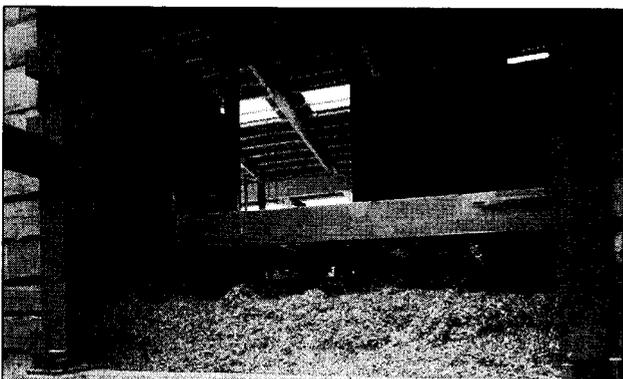
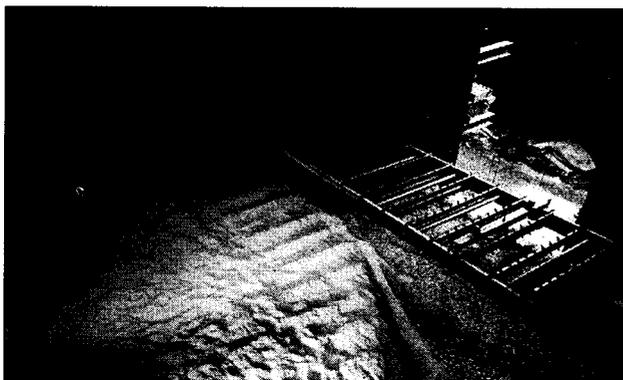
Be- und Entladesystem mit horizontal und vertikal verschiebbarem Kratzkettenförderer

Vorteile:

- optimale Ausnutzung des Hallenvolumens
- auf die Energieholzart speziell anpassbar

Nachteile:

- nur für grössere Lagerplätze sinnvoll
- aufwendige Konstruktion



Be- und Entladesystem mit verschiebbarem Kratzkettenförderer

Zweck: Automatisches Beladen und Verteilen in Lagerhallen.

Funktion: Ein Kratzkettenförderer mit Quermitnehmern ist in einem Rahmen montiert, welcher gleichzeitig höhenverstellbar und horizontal verschiebbar ist. Dadurch passt sich das Be- und Entladesystem dem jeweiligen Füllgrad der Lagerhalle automatisch an. Beim Beladen wirkt das System als Verteiler, beim Entladen fördert es die Holzschnitzel zur Beschickungseinrichtung der Feuerung.

Merkmale: Passt sich immer dem Lagervorrat in der Halle an. Einsatzlänge bis ca. 28 m.

4.2 Fördersysteme

Pneumatische Förderung

Zweck: Horizontale oder vertikale Förderung.

Funktion: Das trockene und kleinformatische Energieholz wird durch einen Luftstrom, welcher durch einen Druckventilator erzeugt wird, in das Silo gefördert. Durch die vergrösserte Querschnittsfläche im Silo wird der Förderstrom entspannt, so dass die Holzschnitzel ins Silo fallen. Ein automatisch reinigendes Filtersystem scheidet die Feianteile aus der Abluft aus. Bei zentralen Absaug-Systemen trennt ein Zyklon die Transportluft vom Energieholz. Je nach Feianteil ist ein zusätzliches Filtersystem für die Abluft nötig. Bei einzelnen Fördersystemen wird die Transportluft zurückgeführt und wieder verwendet.

Merkmale: Exakte Auslegung für das jeweilige Energieholzsortiment erforderlich. Unabhängig von Höhendifferenz und Länge. Je nach Schalldämmung und Brennstoffgrösse mehr oder weniger lärmintensiv.

Einsatz: Geeignet für trockene Späne und Staub aus holzverarbeitenden Betrieben.

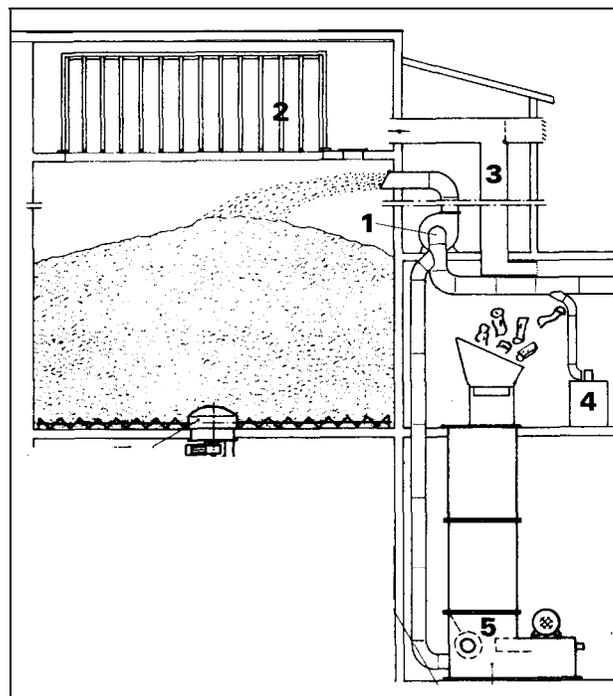
Pneumatische Förderung

Vorteile:

- gut der Gebäudesituation anpassbar
- sauber
- grosse Distanzen horizontal und/oder vertikal sind problemlos zu überwinden

Nachteile:

- nur für kleinformatische, trockene Brennstoffe
- empfindlich auf hohen Wassergehalt
- lärmintensiv
- benötigt zusätzliche Siloeinrichtungen
- Explosionsgefahr durch Staubanteil
- hoher Stromverbrauch



- 1 Absaugventilator
- 2 Filter
- 3 Rückluftkanal
- 4 Holzbearbeitungsmaschinen
- 5 Hacker mit Aufsatz für stückiges Restholz

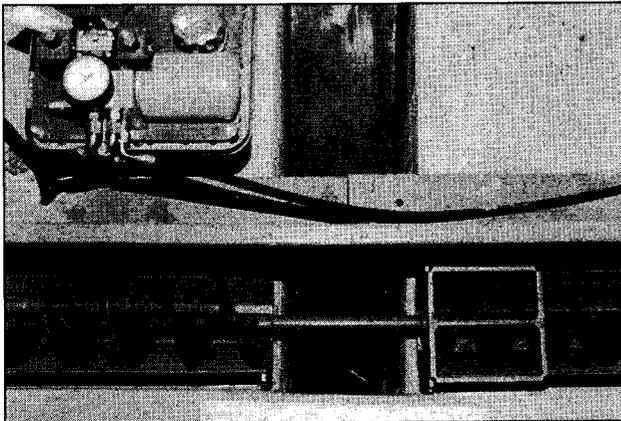
Förderschnecke

Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad
- kleine Baumasse
- kostengünstige und einfache Konstruktion
- einfache Anwendung
- kleiner elektrischer Energieverbrauch

Nachteile:

- die Brennholzgrösse ist beschränkt (keine Endstücke oder Steine)
- nur geradlinige Förderung möglich, keine Kurven
- beschränkter Förderneigungswinkel



Schubsystem

Vorteile:

- betriebssicher
- unabhängig von Form, Grösse und Wassergehalt des Energieholzes
- keine Antriebsteile im Silo

Nachteile:

- hohe Schubkräfte auf Gebäude
- beschränkte Förderlänge und Fördermenge
- nur geradliniger Einsatz möglich



Schnecken

Zweck: Horizontale oder leicht geneigte Förderung.

Funktion: Ein Schneckenwendel in Einfach- oder Zwillingsausführung fördert das Energieholz in einem offenen oder geschlossenen Schnecken-trog. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, welcher wenn nötig regelbar ist. Der Förderwendel ist als Vollblatt- oder Drahtschnecke ausgeführt. Die Grösse des Kerndurchmessers ist mitbestimmend für die zu fördernde Brennstoffgrösse.

Merkmale: Unabhängig vom Wassergehalt des Brennstoffs. Einfache Konstruktion und unkomplizierte Handhabung.

Einsatz: Geeignet für alle Brennstoffe.

Schubsystem

Zweck: Horizontale Förderung von Energieholz.

Funktion: Ein oder mehrere hydraulische Zylinder bewegen eine oder mehrere Schubstangen mit Querstreben als Mitnehmer vor und zurück. Durch die keilförmige Gestaltung der Mitnehmer wird der Brennstoff in die gewünschte Richtung geschoben. Die Mitnehmer werden der örtlichen Situation entsprechend angepasst. Das Gewicht über dem Schubsystem bestimmt die Schubkräfte.

Merkmale: Kräfte durch Hydraulik müssen vom Gebäude aufgenommen werden.

Einsatz: Geeignet für alle Brennstoffarten.

Kratzkettenförderer

Zweck: Horizontale bis vertikale Förderung.

Funktion: Der Kratzkettenförderer funktioniert ähnlich wie ein Förderband. In einer geschlossenen Kastenkonstruktion laufen zwei Ketten parallel. Dazwischen sind Mitnehmer montiert, welche das Energieholz an den Bestimmungsort schieben.

Merkmale: Die Förderrichtung ist horizontal bis vertikal, jedoch nur geradlinig. Der Kratzkettenförderer ist mit den entsprechenden Modifikationen auch als Siloverteiler einzusetzen.

Einsatz: Geeignet für alle Brennstoffarten.

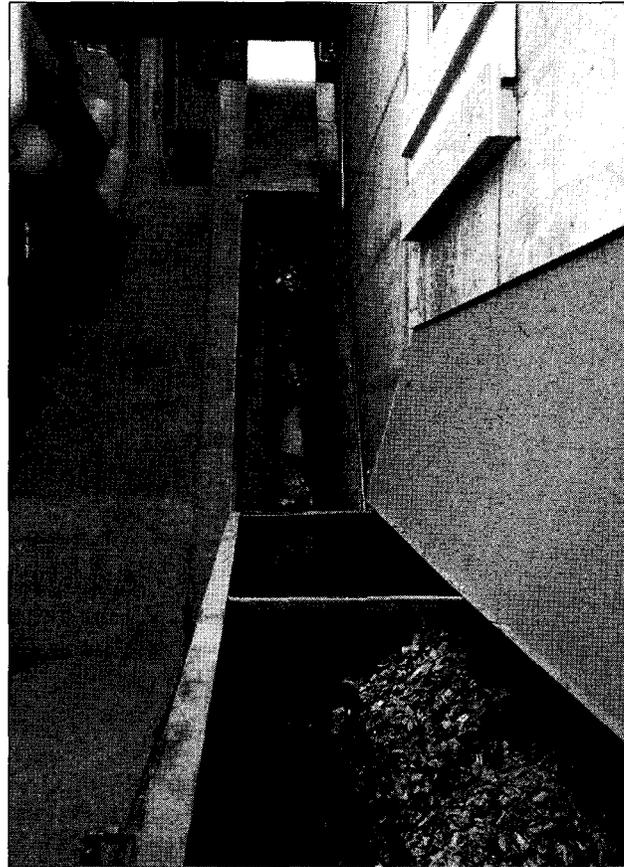
Kratzkettenförderer

Vorteile:

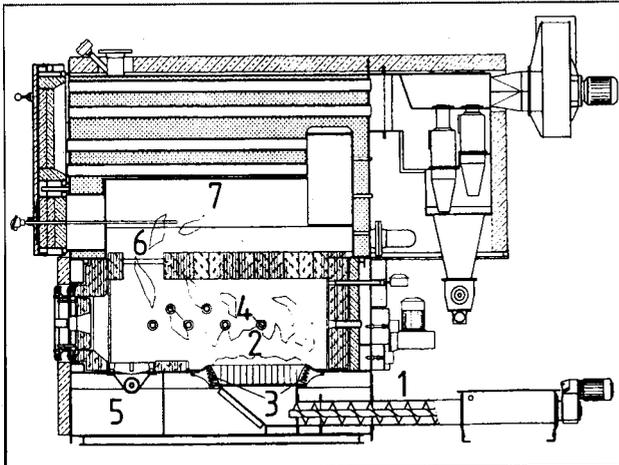
- hohe Förderleistung
- vielfältige Einsatzmöglichkeiten

Nachteile:

- aufwendige Konstruktion
- hohe Investitionskosten
- Wartung und Unterhalt erforderlich
- Lärm



Unterschubfeuerung



Prinzipskizze

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

Betriebsdaten

- Feuerungsleistung: 20 kW-2.5 MW
 Betriebsweise: regelbare Leistungsabgabe von 30-100%
 Verbrennungsregelung möglich automatisch
 Beschickung: Flur- und Waldhackschnitzel, Späne mit max. 50% Staubanteil, Wassergehalt $w = 5-50\%$
 Brennstoff:
 Kesselreinigung: Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung von Hand ist mindestens alle 4 Wochen notwendig.

Speziell zu beachten

- Der Nachbrennraum muss der Brennstoffqualität (vor allem dem Wassergehalt) angepasst sein
- Die Primärluft muss gleichmässig in die Feuermulde eingeblasen werden
- Mehrstufige Anlagen erreichen auf allen Leistungsstufen einen hohen Kesselwirkungsgrad

4.3 Feuerungssysteme

Der Markt bietet eine Vielzahl von Holzfeuerungen an, die sich vor allem in bezug auf die Verbrennungstechnik, die Leistungsgrösse und den Automatisierungsgrad unterscheiden. Bei einer Holzfeuerung ist vor allem darauf zu achten, dass ein für das jeweilige Holzsortiment geeignetes System eingesetzt wird, welches betriebssicher ist und die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung sicher einhalten kann.

Unterschubfeuerung

Verbrennungsablauf

Das Beschickungssystem fördert das Energieholz vom Silo oder Tagesbehälter von unten in die Feuermulde (Retorte), 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 darüberliegenden Nachbrennkammer verbrennen die Schwelgase. Nach der Verbrennung der Gase in der Brennkammer werden die heissen Abgase in den Wärmetauscher geführt.

Betrieb

Der Heizbetrieb erfolgt vollautomatisch. Bei Wärmebedarf werden die Brennstoffförderung und die Luftzufuhr eingeschaltet. Wird keine Wärme mehr verlangt, werden Brennstoffförderung und Luftzufuhr ausgeschaltet. Für den Feuerunterhalt wird die Brennstoffzufuhr periodisch wieder eingeschaltet (Zeitrelais). Durch Veränderung der Fördergeschwindigkeit oder des Beschickungsintervalls wird das Fördervolumen und damit die Brennstoffmenge eingestellt. Das Fördervolumen muss bei der Einregulierung dem eingesetzten Brennstoff angepasst werden. Heute sind diese Funktionen in programmierbaren SPS-Steuerungen zusammengefasst.

Moderne, mehrstufige Anlagen sind so ausgelegt, dass auf allen Laststufen eine gute Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad erreicht wird. Der optimale Luftüberschuss liegt im Bereich $\lambda = 1.5-2.0$.

Merkmale

In Unterschubfeuerungen werden Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 5-50% verfeuert. Feuerraum und Nachbrennkammer müssen der Brennstoffqualität, insbesondere dem Wassergehalt, angepasst sein. Eine Anlage für Hackschnitzel mit einem Wassergehalt bis 50% erreicht beim Verbrennen von trockenem Holz eine zu hohe Feuerraumtemperatur. Dies kann zu Materialproblemen und Schlackenbildung führen.

Vorfeuerung mit Rost

Verbrennungsablauf

Als Vorfeuerungen werden vom Kessel getrennt angeordnete Feuerungssysteme bezeichnet. Im Vorofen wird der Brennstoff von der Trocknung zur Schwelgas- und Verbrennungszone transportiert. Nach dem Gashals werden die brennbaren Schwelgase unter Beimischung von Sekundärluft der Brennkammer im Kessel zugeführt, wo die Nachverbrennung und die Wärmeabgabe an das Heizungswasser stattfinden.

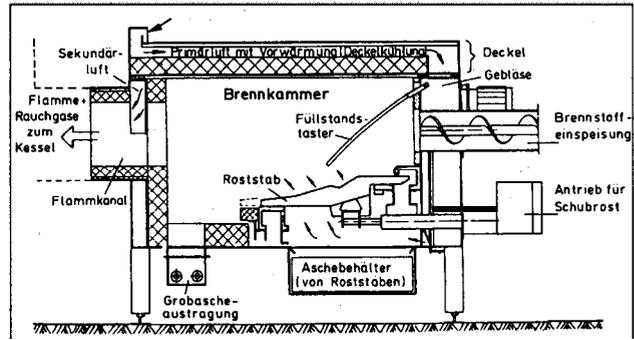
Betrieb

Eine Dosierschnecke beschickt den Vorofen automatisch mit Holzschnitzeln. Die Nachverbrennung der Schwelgase erfolgt in der Nachbrennkammer im Kessel. Die Leistungsabgabe ist regelbar.

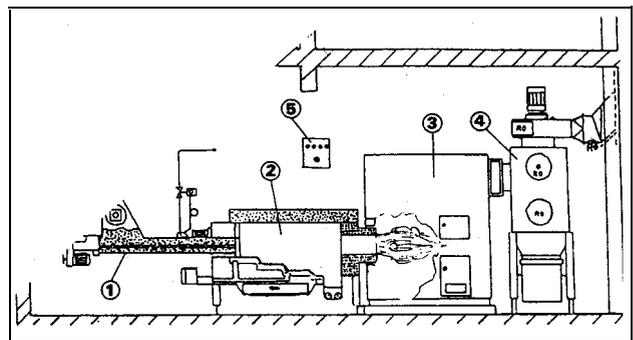
Merkmale.

Die Vorfeuerung erzielt hohe Temperaturen, was Voraussetzung für eine gute Verbrennung mit geringen Emissionen ist. Allerdings ist zu beachten, dass ungenügend isolierte und nicht wassergekühlte Vorfeuerungen hohe Strahlungsverluste aufweisen.

Vorfeuerung



Vorfeuerung (ohne Kessel)



Vorfeuerung (mit Kessel und Staubabscheider)

- 1 Dosierschnecke
- 2 Vorfeuerung mit Schubrost
- 3 Heizkessel
- 4 Staubabscheider
- 5 Schaltschrank

Betriebsdaten

Feuerungsleistung: bis 2 MW

Betriebsweise: Verbennungsregelung, regelbare Lastabgabe von 30-100%

Beschickung: automatisch

Brennstoff: Flur- und Waldhackschnitzel, Späne, Schreinerei- und Baurestholz
Wassergehalt $w = 5-45\%$

Kesselreinigung: Die Entschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung von Hand ist mindestens alle 4 Wochen notwendig

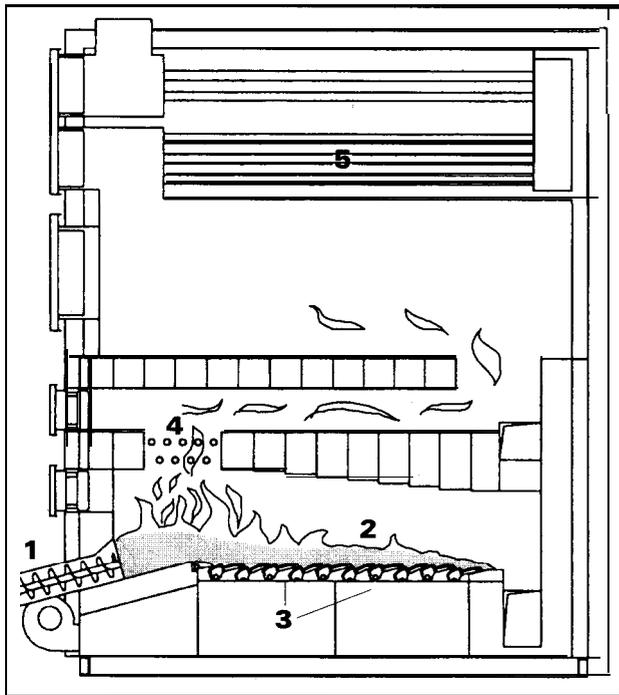
System-Varianten

- . Planrost (Vorschub- oder Festrost)
- . Treppenrost (Vorschub- oder Festrost)
- . Tunnelbrenner
- . Unterschubfeuerung

Speziell zu beachten

- . Vorfeuerung und Kessel müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt sein

Vorschubrostfeuerung



- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1 Brennstoffzufuhr | 4 Sekundärluft |
| 2 Rost | 5 Wärmetauscher |
| 3 Primärluft | |

Betriebsdaten

Feuerungsleistung: ab 150 kW

Betriebsweise: Verbrennungsregelung, regelbare Lastabgabe von 30-100%

Beschickung: automatisch

Brennstoff: Restholz, Späne, bis zu 10% Staub, Rinde, Flur- und Waldhackschnitzel,

Wassergehalt $w = 5-60\%$

Kesselreinigung: Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung von Hand ist mindestens alle 4 Wochen notwendig

Vorschubrostfeuerung

Verbrennungsablauf

Das Energieholz wird vom Silo meist mit einem Schneckenförderer oder mit einer Schubförderung 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. Am Rostende erfolgt eine automatische Entaschung.

Betrieb

Der Heizbetrieb verläuft vollautomatisch. Das Ein- und Ausschalten in Abhängigkeit des Wärmebedarfs geschieht wie bei der Unterschubfeuerung. Je nach Rostsystem bieten einzelne Hersteller nur einstufige Lösungen an. Moderne, mehrstufige Anlagen sind dagegen so ausgelegt, dass auf allen Stufen **eine einwandfreie Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad erreicht wird. Der optimale Luftüberschuss liegt im Bereich $\lambda = 1.5 - 2.0$.**

Merkmale

Rostfeuerungen eignen sich vor allem für asche- und schlackereiche Brennstoffe. Im weiteren können auch Brennstoffe mit hohem Wassergehalt eingesetzt werden. Insbesondere in Vorschubrostfeuerungen mit Umkehrflamme (Gegenstromprinzip) erfolgt auf der ersten Zone des Rostes eine Brennstoffvortrocknung, so dass Energieholz mit bis zu 60% Wassergehalt verbrannt werden kann.

System-Varianten Vorschubrost

- . Planrost
- . Treppenrost

System-Varianten weiterer Rostfeuerungen

- . Schneckenrost
- . Wanderrost

Speziell zu **beachten:**

- -Das Rostsystem muss auf das Energieholzsortiment abgestimmt sein.
- Der Feuerraum muss der Brennstoffqualität (vor allem dem Wassergehalt) angepasst sein.
- Anlagen mit mehr als einer Leistungsstufe sind möglich, werden aber nicht von allen Herstellern angeboten. Ein hoher Kesselwirkungsgrad bei geringen Emissionen sollte auf allen Laststufen erreicht werden. Der optimale Luftüberschuss liegt im Bereich $\lambda = 1.5 - 2.0$.

Feuerung mit Wurfbeschickung

Verbrennungsablauf

Eine Schleudereinrichtung fördert das Energieholz in den Feuerraum und verteilt es gleichmässig über das gesamte Glutbett. Das zugeführte Holz wird also - im Gegensatz zu einer Unterschubfeuerung - auf die bestehende Glut beschickt. Die Primärluft wird durch das Glutbett zugeführt, die Sekundärluft wird oberhalb des Glutbetts eingedüst.

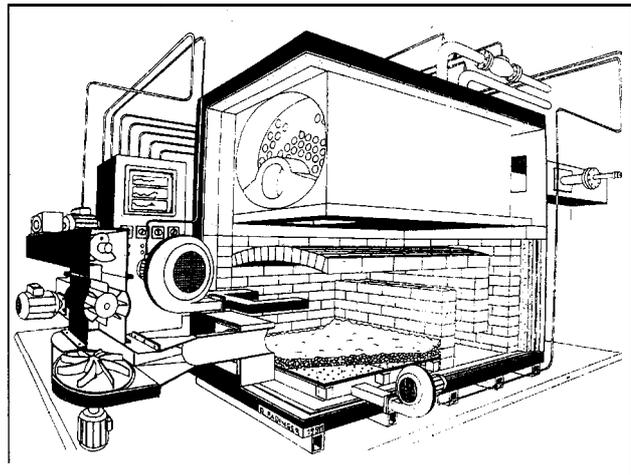
Betrieb

Der Heizbetrieb erfolgt vollautomatisch. Die Verbrennungsluftmenge wird über eine Abgassonde (Oxi-Sonde, welche auf brennbare Gase anspricht) geregelt, bis der brennbare Anteil im Abgas minimal ist. Die Brennstoffzufuhr wird nicht nur durch die Kesseltemperatur bestimmt, sondern der momentanen Wärmeleistung angepasst.

Merkmale

Dieses Verbrennungssystem eignet sich vor allem für trockenes, kleinformatiges Energieholz mit niedrigem Aschegehalt. Durch einen stationären Betrieb mit optimalen Verbrennungsbedingungen kann auf allen Laststufen ein hoher Kesselwirkungsgrad erreicht werden. Der Luftüberschuss liegt im Bereich $\lambda = 1.5 - 2.0$.

Automatische Holzfeuerung mit Schleuder- radbeschickung



Betriebsdaten

Feuerungsleistung: ab 150 kW

Betriebsweise: Leistungsregelung, regelbare Lastabgabe von 30-100%

Beschickung: automatisch

Brennstoff: Restholzschnitzel und Späne mit hohem Staubanteil

Kesselreinigung: Die Entaschung erfolgt manuell oder automatisch; eine Kesselreinigung von Hand ist mindestens alle 4 Wochen notwendig

Ablauf der Entscheidung

1. Schritt: LEISTUNG ⇒ ENERGIEHOLZANGEBOT
Ausgehend von der Leistung wird das in Frage kommende Energieholzsortiment bestimmt
2. Schritt: HOLZSORTIMENT ⇒ FEUERUNGSSYSTEM
Für jedes Energieholzsortiment eignen sich nur ganz bestimmte Feuerungssysteme
3. Schritt: FEUERUNGSSYSTEM ⇒ LIEFERANT
Für die Wahl des Kessellieferanten sind verschiedene Kriterien zu berücksichtigen:
<ul style="list-style-type: none"> . Vergleich des Jahresnutzungsgrads . Messwerte von Wirkungsgrad und Emissionen (offizielle Prüfungen) . Abbrandzeit und Kesseldimension . Garantie und Lieferbedingungen . Preis und Service-Leistung

4.4 Auswahlkriterien für das Feuerungssystem

Die verschiedenen Feuerungstypen sind für die unterschiedlichen Einsatzgebiete mehr oder weniger gut geeignet. Die wichtigsten Kriterien für die Systemwahl sind

- . das Energieholzsortiment und
- . die Wärmeleistung.

Auch innerhalb einer Kategorie von Feuerungen (z.B. Vorschubrost) bestehen grosse Unterschiede zwischen verschiedenen Fabrikaten. Die Auswahl der Feuerung muss deshalb vom Feuerungslieferanten oder unter Absprache mit dem Lieferanten vorgenommen werden. Immerhin kann als Orientierungshilfe angegeben werden, welche Feuerungstypen für die verschiedenen Brennstoffe und Leistungskategorien besonders geeignet sind.

Typische Einsatzgebiete der wichtigsten Feuerungssysteme

Feuerungssystem	Leistung [kW]	Energieholzsortiment			
		A	B	C	D
Unterschub	20 – 2 500	-	++	++	
Vorfeuerung	c 2 000	+	++*	+	
Vorschubrost	> 150	++	+	+	++

Energieholzsortiment

A = Baurestholzschnitzel

B= Holzschnitzel und Späne
Wassergehalt w = 5-50%

c = Holzschnitzel und Späne mit
max. 50% Staubanteil
Wassergehalt w < 20%

D= Holzschnitzel und Rinde mit
Wassergehalt w < 60%

Beurteilung

- nicht geeignet

+ geeignet

++ geeignet, typisches Einsatzgebiet

* maximaler Wassergehalt 45%

5 Vorstudien und Vorprojekt

5.1	Vorabklärungen	87
	Ökologische Aspekte	87
	Volkswirtschaftliche Aspekte	87
	Betriebliche Aspekte	88
	Öffentliche Interessen	88
5.2	Waldholz und Restholz: Unterschiede im Vorgehen	89
	Unterschiede bei der Planung	89
	Energieholz aus dem Wald	89
	Restholz im holzverarbeitenden Betrieb	90
5.3	Ablauf von Vorstudie und Vorprojekt	91
	Frühzeitige Kontaktnahme	91
	Schrittweises Vorgehen	91
	Übergeordnete Planungsgrundsätze	92
5.4	Ermittlung der Grundlagen	93
	Bauliche und betriebliche Voraussetzungen	93
	Herkunft und Lieferbedingungen des Energieholzes	93
	Wärmeverbund	93
	Kombination mit anderen Energieträgern	93
	Gesetzliche Bestimmungen	94
	Feuerungstypen	94
5.5	Grobplanung	95
	Abschätzung von Wärmeleistungs- und Jahresbrennstoffbedarf	95
	Dimensionierung des Wärmeerzeugers	95
	Abgasentstickung und Abgaskondensation	95
	Dimensionierung des Brennstoffsilos	9 6
	Saisonale Schnitzelzwischenlager	97
	Platzbedarf und Heizraumgrösse	97
5.6	Grobkostenschätzung	98
	Zweck	98
	Abschätzung des Nutzwärmepreises	98
5.7	Variantenvergleich	99
	Form und Inhalt	99
	Wirtschaftlichkeitsvergleich	99
	Kostenstruktur des Nutzwärmepreises	100
	Einfluss des Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit	100
	Sensitivität wichtiger Einflussfaktoren	100
5.8	Vorprojekt	101
	Ausgangslage nach der Systemwahl	101
	Plazierung von Feuerung, Kamin und Silo	101
	Integration der Entaschungseinrichtung	101
	Spezielle Sicherheitseinrichtungen	102



5 Vorstudien und Vorprojekt

5.1 Vorabklärungen

Ökologische Aspekte

Solange nicht mehr Holz genutzt wird als nachwächst, wird durch die Verbrennung von Holz kein zusätzliches CO₂ in den Kreislauf eingebracht. Die Holzenergienutzung ist damit CO₂-neutral, was im Vergleich zu fossilen Energien einer der wichtigsten Vorteile ist.

Um die Schadstoffemissionen einer Holzfeuerung mit einer Öl- oder Gasfeuerung zu vergleichen, sind nicht allein die Emissionen am Kamin von Bedeutung. Vielmehr muss die Ökobilanz der gesamten Versorgungskette betrachtet werden. Damit können die Vorteile des einheimischen, erneuerbaren Energieträgers Holz aufgezeigt werden:

- bessere Waldpflege und bessere Lawenschutzfunktion in den Bergregionen
- Schaffung von Arbeitsplätzen in wirtschaftlich schwächeren Regionen
- Stützung der Forstwirtschaft, vor allem in Berggebieten mit Standortnachteilen.

Wenn gegenüber heute 1 Mio m³ Energieholz zusätzlich genutzt werden, können 200'000 t Öl substituiert und 1'200 Arbeitsplätze in der Schweiz geschaffen werden. Bei volkswirtschaftlichen Mehrkosten von ca. 90 Millionen Franken pro Jahr würden damit 621'000 t CO₂ weniger in die Öko-abgegeben (BUWAL Schrift 131).

Volkswirtschaftliche Aspekte

Die externen Kosten des Energieverbrauchs, welche durch Schäden an Umwelt und Natur, durch erhöhte Gesundheitskosten usw. entstehen, werden heute nicht durch die Verursacher gedeckt, sondern auf zukünftige Generationen abgewälzt oder durch die Allgemeinheit getragen.

Vom Bund wurden Richtlinien erarbeitet, wie die externen Kosten im Energiepreis durch einen kalkulatorischen Energiepreiszuschlag berücksichtigt werden können. Damit wirken sich die ökologischen Vorteile von Holz gegenüber anderen Energieträgern entsprechend aus. Investitionsentscheide können so volkswirtschaftlich besser beurteilt und verschiedene Energieträger im Hinblick auf die Kostenwahrheit verglichen werden.

Schadstoffemissionen am Kamin

Schadstoff	Ölfeuerung		Holzschnitzel-feuerung*	
	mg/m ³	mg/kWh	mg/m ³	mg/kWh
Schwefeldioxid SO ₂	248	312	38	71
Kohlenmonoxid CO	18	23	712	1317
Stickoxid NO _x	72	90	232	429
Staub	14	18	142	263
Kohlendioxid CO ₂	215000	270'000	0 **	0 **
Kohlenwasserstoffe KW	24	30	6	10

Verbrennung von naturbelassenem Holz

** Bei der Verbrennung von Holz werden ca. 300 mg CO₂/m³ freigesetzt, welche den CO₂-Kreislauf jedoch nicht zusätzlich belasten

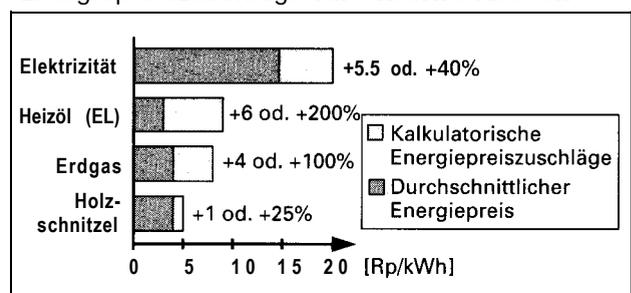
Schadstoffbelastung durch die gesamte Versorgungskette pro kWh Endenergie

Schadstoff	Ölfeuerung		Holzschnitzel-feuerung*	
	Inland	Global	Inland	Global
	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh
Schwefeldioxid SO ₂	358	663	77	77
Kohlenmonoxid CO	27	47	1412	1412
Stickstoffdioxid NO _x	115	244	521	521
Staub	19	24	271	211
Kohlendioxid CO ₂	215 000	300 000	7	7
Kohlenwasserstoffe KW	84	161	41	41

* Verbrennung von naturbelassenem Holz

Quelle: BUWAL Schrift 131, Energie aus Heizöl oder Holz, Bern 1990, Zahlen umgerechnet auf kWh Endenergie

Energiepreise und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für externe Kosten



Quelle: Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich, EDMZ-Nr. 724.270 d, EDMZ, 3000 Bern, Bern 1994

Tätigkeiten für den Anlagebetreiber

Täglich:

- Kontrolle des Feuerbildes und der Abgastemperatur
Leeren der Ascheschublade
zudem an der Heizgrenze: Inbetriebnahme der Feuerung mittels Handzündung im Anfeuerungsmodus

Wöchentlich:

- Reinigen der Feuermulde mit Aschesauger
- alle zwei bis drei Wochen Absaugen der Rauchzüge
- Leeren des 90-l-Aschebehälters
- Ölstandskontrolle Hydraulikaggregat
- Füllstandskontrolle Schnitzelsilo
- bei Bedarf: Anfordern und überwachen der Schnitzellieferung

Halbjährlich:

- Grosse Reinigung (in Abstimmung mit Kaminfeger)
- nach Saisonende: Ausschaufeln des Schnitzelsilos (Restmenge, die vom Schubboden nicht erfasst wird)
- Ölwechsel Hydraulikaggregat

Die VHe als Anlaufstelle für Informationen

Die Schweizerische Vereinigung für Holzenergie VHe fördert eine sinnvolle, umweltgerechte, moderne und effiziente Verwendung der Holzenergie. Sie unterhält einen Informations- und Beratungsdienst, vermittelt Adressen, leistet Öffentlichkeitsarbeit, leitet das Förderprogramm Holz des Aktionsprogrammes Energie 2000 und nimmt laufend Stellung zu energiepolitischen Fragen.

Die VHe ist die erste Anlaufstelle für alle Kreise, die in irgendeiner Form an der Holzenergie interessiert sind.

Schweizerische Vereinigung für Holzenergie VHe
Falkenstrasse 26
8008 Zürich
Tel. 01/252 30 70

Association suisse pour l'énergie du bois ASEB
En Budron H6
1052 Le Mont-Sur-Lausanne
Tel. 0211653 07 77

Betriebliche Aspekte

Moderne automatische Holzfeuerungen erlauben es, den Bedienungsaufwand auf **ein Minimum zu reduzieren. Dennoch muss der zukünftige Besitzer wissen, dass gegenüber modernen Gas- oder Ölfeuerungen ein gewisser Mehraufwand für Bedienung und Unterhalt zu erbringen ist.**

Zum Betrieb einer automatischen Holzfeuerungen gehören tägliche, wöchentliche und halbjährliche Tätigkeiten.

Öffentliche Interessen

In vielen Regionen der Schweiz besteht aus forstwirtschaftlichen und ökologischen Gründen ein öffentliches Interesse, den einheimischen Energieträger Holz vermehrt zu nutzen. Dieses Interesse steht oft im Gegensatz zu den vorwiegend betriebswirtschaftlichen Vorgaben des Bauherrn. Um diesen Interessenkonflikt zumindest teilweise zu überbrücken, fördern der Bund und einzelne Kantone Holzfeuerungen mit Investitionshilfen und Finanzbeiträgen.

Die Abklärung möglicher Subventionshilfen gehört deshalb zum Aufgabenbereich des Planers. Auch wenn zum Zeitpunkt der Vorstudie meistens noch keine definitiven Beitragszusicherungen gesprochen werden, ist eine frühe Kontaktnahme mit möglichen Subventionsgebern vorteilhaft.

Im weiteren ist zu beachten, dass einzelne Banken besondere Ökokredite mit Zinsvergünstigung anbieten. Auch hier lohnt es sich, den Bauherrn auf solche Finanzierungshilfen aufmerksam zu machen.

5.2 Waldholz und Restholz: Unterschiede im Vorgehen

Unterschiede bei der Planung

Holz ist kein homogener Brennstoff mit stets gleichen chemischen und physikalischen Eigenschaften. Form, Energieinhalt und Wassergehalt verändern sich von Charge zu Charge und können je nach Herkunft und Aufbereitung sehr unterschiedlich sein. Diese Unterschiede beeinflussen auch die für Umschlag, Lagerung und Verbrennung notwendige Anlagentechnik.

Während für Energieholz aus dem Wald eine überschaubare Anzahl bewährter Systeme und Komponenten zur Verfügung steht, sind die Verhältnisse beim Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben bedeutend schwieriger. Meistens stellen sich dort neben wärmetechnischen auch betriebliche Fragen: Die Erfassung von Spänen und Schleifstaub bei Bearbeitungsmaschinen, die Weiterverwendung der Späne (z.B. Brikettierung) oder die Beschaffung von geeigneten Hackern für stückige Holzreste.

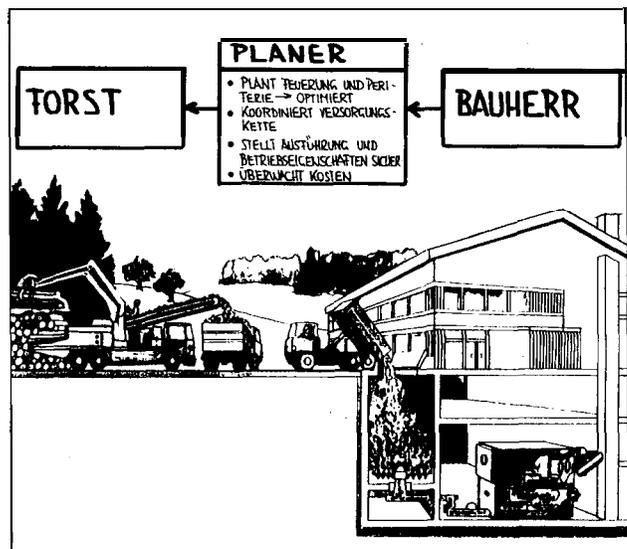
Energieholz aus dem Wald

Beim Energieholz aus dem Wald steht im Vordergrund, dass ein **reibungsloser** Ablauf zwischen der Energieholzversorgungskette und der Feuerung gewährleistet wird. Dabei ist zu unterscheiden, ob der Feuerungsbetreiber gleichzeitig das Energieholz liefert (z.B. bei einer Gemeinde mit eigenem Forst), oder ob der Brennstoff von einem externen Lieferanten bezogen wird.

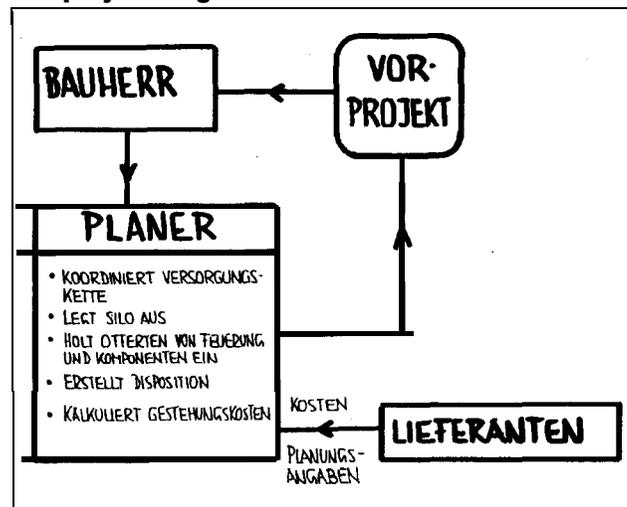
Die Koordination mit der Versorgungskette ergibt für den Planer zusätzlichen Aufwand. Die SIA-Honorarordnung regelt diese Zusatzaufgabe nicht. Es ist Sache des Planers, sie im einzelnen Fall mit dem Auftraggeber zu regeln.

Planungsverhältnis für Energieholz aus dem Wald:

Holzaufbereitung, Lagerung und Holzumschlag stehen im Vordergrund

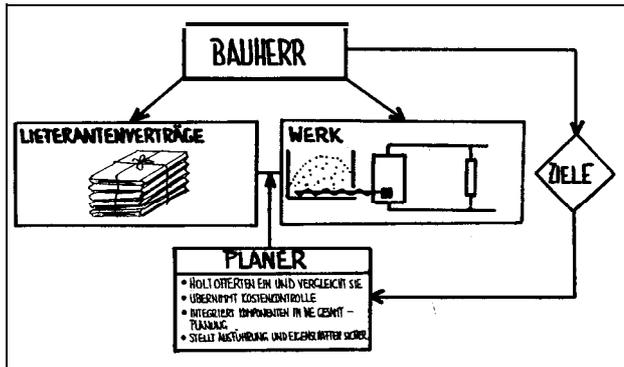


Vorprojektaufgaben für Waldholz

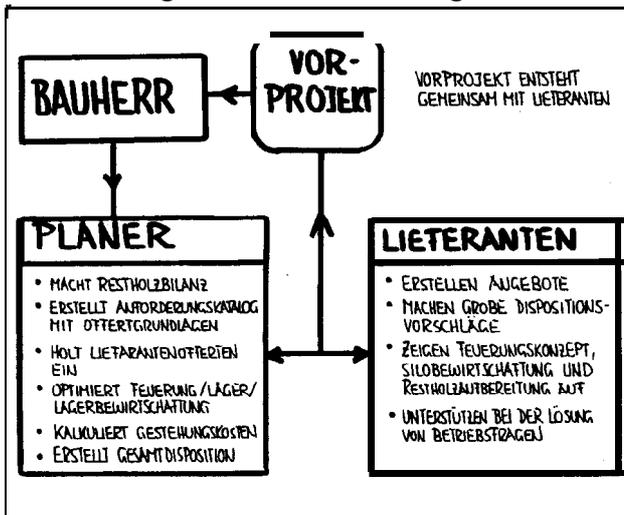


Planungsverhältnis im Holzindustriebetrieb:

Betriebsfragen stehen im Vordergrund



Planungsverhältnis im Holzindustriebetrieb:
Betriebsfragen stehen im Vordergrund



Restholz im holzverarbeitenden Betrieb

Wegen der spezifischen Besonderheiten jedes holzverarbeitenden Betriebes ist ein Heizungsplaner ohne spezielle Branchenkenntnisse auf die Unterstützung entsprechender Spezialisten angewiesen. Dazu müssen in der Regel bereits in einem frühen Stadium geeignete Lieferanten für die Holzfeuerung und die Holzaufbereitung beigezogen werden. Der unabhängige Heizungsplaner kann für den Bauherrn dennoch eine wichtige Hilfe sein bei der Systemwahl und Zursicherung der Ausführungsqualität der Holzfeuerung und aller weiteren Komponenten.

Eine Übersicht über die wichtigsten Besonderheiten in holzverarbeitenden Betrieben kann folgender Dokumentation entnommen werden:

Energie aus Restholz
 Dokumentation zum gleichnamigen PACER-Kurs
 Bundesamt für Konjunkturfragen
 Bern 1994
 EMDZ-Nr. 724.238 d

EDMZ, 3000 Bern.

5.3 Ablauf von Vorstudie und Vorprojekt

Frühzeitige Kontaktnahme

Im Gegensatz zur konventionellen Wärmeversorgung ist bei Holzfeuerungen nicht der gesamte Bereich der Brennstofflogistik (Herkunft, Aufbereitung, Transport, Zwischenlagerung, Anlieferung, Beschickung) bereits im voraus bestimmt. Es ist deshalb eine der zentralen Aufgaben des Planers, diesen Bereich richtig vorzubereiten und dem Bauherrn die verschiedenen Versorgungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Dazu braucht es die Unterstützung weiterer Fachleute, insbesondere:

- Lieferanten von geeigneten Feuerungen und Brennstoffördereinrichtungen
- Forstfachleute mit Erfahrung bei Energieholzernte, Holzaufbereitung und Schnitzelverbundlösungen
- Energieholzanbieter mit breitem Angebot an Einfülltechniken (Silobeschickung)
- Baumeister mit Kenntnissen im Silobau.

Schrittweises Vorgehen

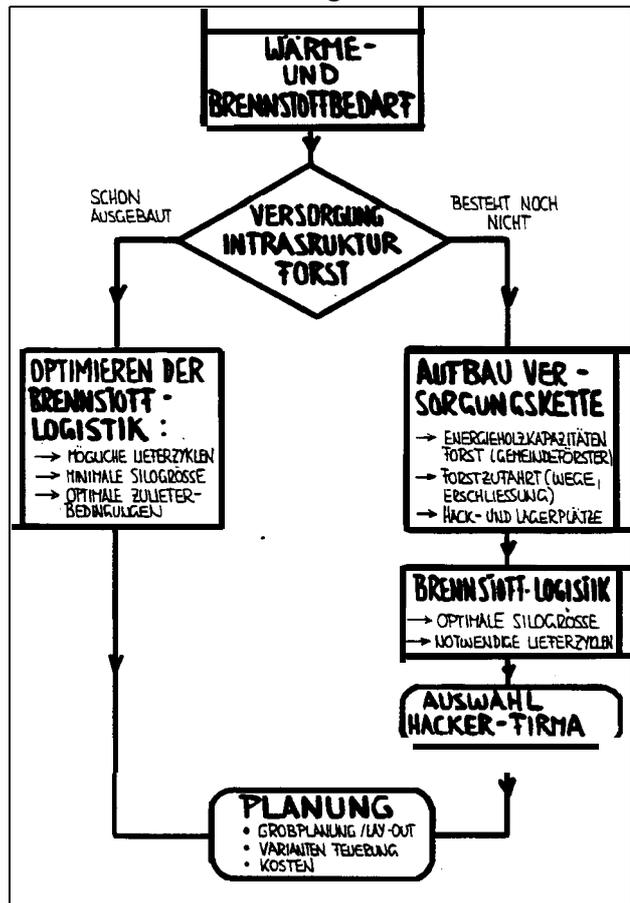
Für die erfolgreiche Realisierung einer automatischen Holzfeuerung müssen eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein:

- bauliche Voraussetzungen müssen gegeben sein
- das regionale Umfeld muss stimmen
- das betriebswirtschaftliche Konzept, inklusive Kostenstrukturen, muss aufgehen
- der finanzielle Rahmen muss abgesteckt sein.

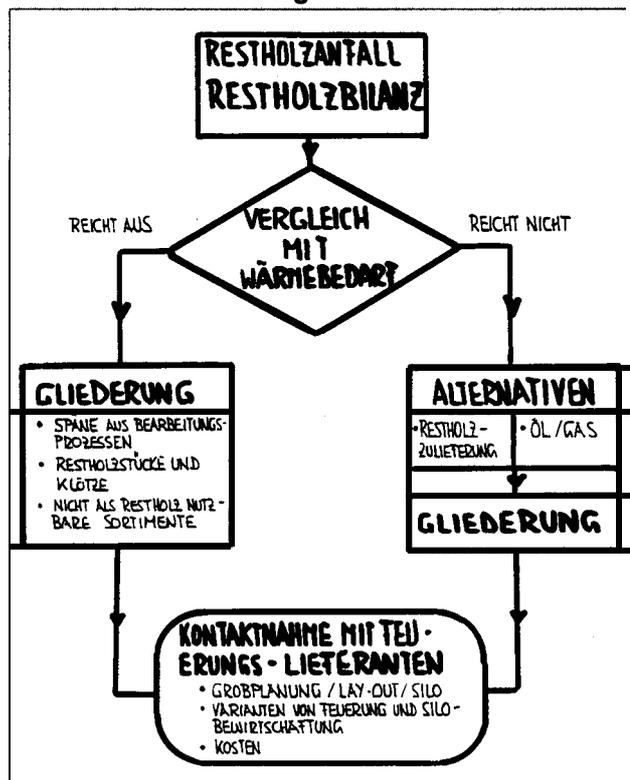
Vor Projektbeginn hat der Planer eine Reihe von Vorabklärungen zu treffen und dem Bauherrn die Entscheidungshilfen vorzubereiten, welche am Ende zum Lösungsvorschlag führen. Ein Alleingang des Planers bis zum Abschluss der Vorstudie kann nie zu einer optimalen Lösung führen. Vielmehr ist ein schrittweises Vorgehen notwendig, wobei zwischen den Teilschritten dem Bauherrn geeignete Entscheidungsgrundlagen vorgelegt werden müssen.

Die Vorstudie ist somit ein Gemeinschaftswerk von Planer, Forstspezialist, Feuerungslieferant und Bauherr.

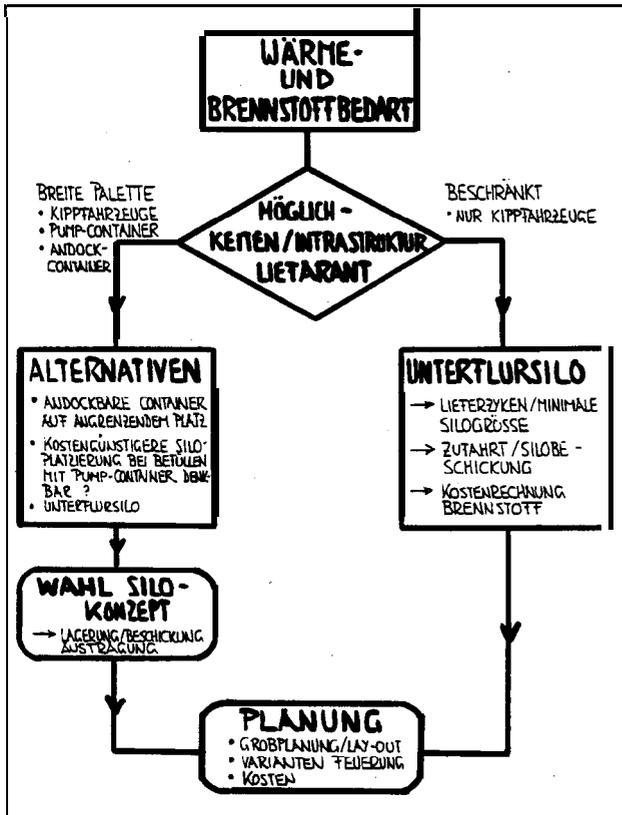
Fall 1: Gemeinde mit eigenem Forst



Fall 2: Restholz im eigenen Betrieb



Fall 3: Energieholzbezug von externem Lieferanten



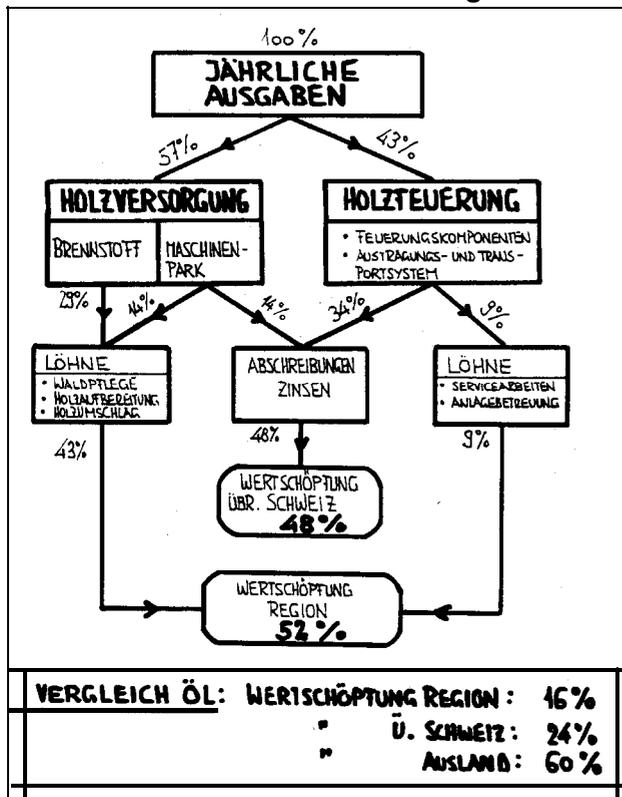
Übergeordnete Planungsgrundsätze

Vor Beginn der Vorstudie sind einige grundsätzliche Punkte zu klären. Neben der Standortfrage, unter Einbezug der übergeordneten Energie- und Luftreinhaltepolitik, müssen auch regionalwirtschaftliche Auswirkungen geprüft und betriebswirtschaftliche Zielwerte gesteckt werden.

Regionale Luftreinhaltepolitik

Im Einzugsbereich städtischer Ballungsgebiete hat die Verminderung der Stickoxidfrachten Priorität. Bei Betrachtung der lokalen Immissionssituation ist zu beachten, dass Holzfeuerungen lokal mehr Stickoxide emittieren als Ölfeuerungen. In stark NO_x-belasteten Gebieten ist der Einsatz von Energieholz in grösserem Rahmen deshalb unter Umständen aus Sicht der Luftreinhaltepolitik unerwünscht. Es gehört deshalb zu den Aufgaben des Planers, sich im Vorfeld des Projekts über das geltende Luftreinhaltekonzept zu orientieren.

Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen



Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen

Gerade grössere Projektvorhaben (z.B. Wärmeverbund) sind regionalwirtschaftlich von Bedeutung. So hat der Betrieb einer 500-kW-Holzfeuerung eine regionale Wertschöpfung von etwa Fr. 70'000.- pro Jahr zur Folge. Das regionale Gewerbe profitiert davon ebenso wie die Energieholzlieferanten. In ländlichen Gebieten entspricht dies rund einem Arbeitsplatz, was in wirtschaftlich schwachen Regionen entscheidend ist. Besonders bei der Beratung von Gemeinden muss der Planer deshalb auf die wirtschaftlichen Auswirkungen hinweisen.

Betriebswirtschaftliche Zielwerte

Ein erfolgreiches Betriebskonzept einer automatischen Holzfeuerung muss gewisse Randbedingungen einhalten. Kostenanalysen bei mehreren Wärmenetzen haben gezeigt, dass bei erfolgreich betriebenen Systemen Nutzwärmepreise zwischen 8 und 12 Rp/kWh zu erwarten sind.

Höhere Kosten deuten auf eine schlechte Auslastung der Feuerung oder auf zu hohe Kapitalkosten hin. Es ist Aufgabe des Planers, bereits in einem frühen Stadium des Projekts zumindest qualitative Aussagen über die Nutzwärmekosten aufzuzeigen.

Quelle: BUWAL Schrift Nr. 131

5.4 Ermittlung der Grundlagen

Bauliche und betriebliche Voraussetzungen

Zu Beginn der Planung sind die Voraussetzungen für den Einsatz einer automatischen Holzfeuerung abzuklären. Dabei sollen neben betrieblichen Fragen auch die Bereitschaft für höhere Investitionen sowie die Möglichkeiten für Subventionshilfen und Kreditvergünstigungen abgeklärt werden

Herkunft und Lieferbedingungen des Energieholzes

Um den in Frage kommenden Feuerungstyp zu bestimmen, müssen die Energieholzeigenschaften und die Lieferbedingungen genau festgelegt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Auflagen der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen VKF sowie die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung LRV für Restholz strenger sind als für Waldholz.

Wärmeverbund

Sensitivitätsbetrachtungen zeigen, dass die Auslastung einer automatischen Holzfeuerung einen entscheidenden Einfluss auf den Nutzwärmepreis hat. Es ist deshalb gerade bei grösseren Anlagen wichtig, die Möglichkeit eines Wärmeverbundes zu prüfen. Durch die grössere Nutzenergie-Produktion wird eine günstigere Kostenverteilung erreicht. Als Zielvorgabe soll folgende Kostenstruktur angestrebt werden:

- 50% Festkosten (Kapital- und Wärmenebenkosten)
- 50% bewegliche Kosten (Energiekosten)

Dazu muss die Anschlussdichte in der Regel rund 1.0-2.0 kW pro Grabenmeter der Fernleitung betragen.

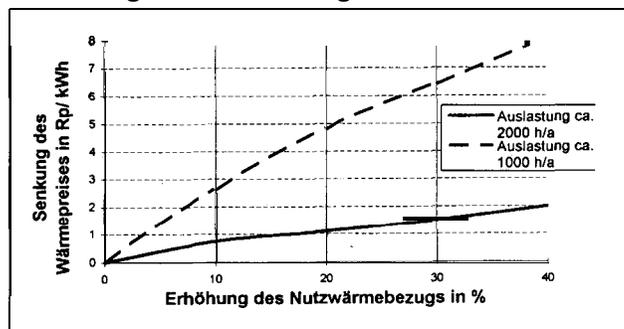
Kombination mit anderen Energieträgern

Die Kombination einer automatischen Holzfeuerung mit anderen Energieträgern kann vor allem zur Spitzenlast- oder Minimallastdeckung sinnvoll sein. Die Holzfeuerung soll dabei jedoch den Hauptteil der Energiedeckung übernehmen

Abklären der Voraussetzungen

- Ist Platz für eine automatische Holzfeuerung vorhanden?
- Wo können Heizzentrale und Brennstofflager platziert werden?
- Wie sind die Zufahrtsverhältnisse zum Brennstofflager?
- Kommt das Versorgungsmodell «Hacken beim Silo» in Frage?
- Welche Holzsortimente stehen im Vordergrund?
- Welche Energieholz-Infrastruktur besteht bereits und welches sind die möglichen Energieholz-Lieferanten?
- Wie sieht die Nachbarschaft aus (Lärmschutz-Verordnung, Luftreinhalte-Verordnung)?
- Wie steht es mit der Investitionsbereitschaft des Bauherrn sowie mit Investitionshilfen im Vergleich zu konventionellen Anlagen?

Senkung der Wärmegestehungskosten durch Erhöhung der Auslastung



Wärmegestehungskosten:

Bei der Projektierung automatischer Holzfeuerungsanlagen sollen die nachstehenden Wärmegestehungskosten angestrebt werden.

Dabei gilt die obere Grenze für Anlagen im Leistungsbereich 500 kW, die untere Grenze für Anlagen über 100 kW.

	Holzschnitzfeuerung	Vergleich zu Ölfeuerung
Wärmeerzeugung:	8 bis 12 Rp/kWh	7 bis 10 Rp/kWh
Nahwärmeverbund:	2 bis 4 Rp/kWh	2 bis 4 Rp/kWh

Quelle: Wirtschaftlichkeit der Holzenergienutzung in der Gemeinde, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994

(Grundlast). Bei einem so dimensionierten System kann eine kleinere Holzfeuerung mit längeren Laufzeiten realisiert werden. Zu beachten ist, dass die Abdeckung von Spitzenlasten mit automatischen Holzfeuerungen auch wegen der hohen Kosten nicht sinnvoll ist. Die Kapitalkosten für eine grössere Heizzentrale können durch Kombination mit einer Ölfeuerung zur Spitzenlastdeckung unter Umständen reduziert werden. Schwachlastphasen unterhalb der Kesselminimallast können grundsätzlich auch durch technische Wärmespeicher überbrückt werden.

Wichtige Richtlinien und Normen

SUVA- Richtlinien:

- Grünschnitzelsilos, Best. Nr. 66050; 1993
- Holzspänesilos, Best. Nr. 1875; 1976
- Stetigförderanlagen, Best. Nr. 1545; 1972

VKF- Richtlinien:

- Wärmetechnische Anlagen, 1993;
Kap. 2.3, 2.4, 4.3, 4.5

SWKI- Richtlinien:

- 93-1 Sicherheitstechnische Einrichtungen für Heizungsanlagen
- 91-1 Be- und Entlüften von Heizräumen

Gesetzliche Bestimmungen

Neben den Bestimmungen der LRV gibt es eine ganze Reihe Weiterervorschriften, welche die Ausführung der Holzfeuerungskomponenten betrifft. Bei diesen Auflagen stehen Sicherheitsüberlegungen im Vordergrund:

- SUVA-Richtlinien für die Ausgestaltung von Siloraum und Fördereinrichtungen aus der Sicht der Unfallverhütung
- VKF-Richtlinien für Heizraum und Brennstofflager unter dem Aspekt der Brandverhütung
- SWKI-Richtlinien für hydraulisches Netz und Heizraumlüftung.

Im Zusammenhang mit der Brennstoffanlieferung und stationären oder mobilen Hackern sind auch die Auflagen der Lärmschutz-Verordnung zu überprüfen. Dabei sind auch die Lärmentwicklung durch Transporteinrichtungen wie Förderketten oder Förderschnecken zu beachten.

Feuerungstypen

In der Vorstudienphase geht es nicht darum, die einzelnen Feuerungssysteme bis ins Detail zu unterscheiden. Vielmehr steht die rasche Übersicht über die in Frage kommenden Systeme mit dem Hinweis auf die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale im Vordergrund.

Jeder Feuerungstyp ist für bestimmte Brennstoffsortimente ausgelegt. Der Brennstoff muss in einer geeigneten Form aufbereitet sein. Grösse, Wassergehalt, Dichte sowie Staub- und Rindenanteil des Holzsortimentes bestimmen sowohl die Auswahl der Feuerung als auch die Ausführung der Lager- und Transporteinrichtungen.

5.5 Grobplanung

Abschätzung von Wärmeleistungs- und Jahresbrennstoffbedarf

Eine erste grobe Abschätzung des Leistungs- und Brennstoffbedarfs lässt sich über die Energiebezugsfläche vornehmen. Zusätzlich zu beachten sind kurzzeitige Bedarfsspitzen, die darin nicht berücksichtigt sind:

- Lüftungsanlagen
- Warmwassererzeuger
- Aufheizspitzen nach längeren Absenckphasen (z.B. Schreinereibetrieb mit Weihnachtsferien).

Im Sanierungsfall bestehen meist genügend Informationen über den Jahresbrennstoffverbrauch. Damit können der Nutzwärmebedarf und die erforderliche Heizleistung genauer ermittelt werden.

Auf Stufe Detailprojekt (Kapitel 6) gilt es dann, diese Abschätzungen anhand von SIA 384/2 zu präzisieren.

Dimensionierung des Wärmeerzeugers

Bei sämtlichen automatischen Feuerungen ist eine möglichst genaue Dimensionierung nach dem maximalen Wärmebedarf erforderlich. Überdimensionierte Anlagen sind schlecht ausgelastet, teuer und neigen vermehrt zu Betriebsstörungen.

Abgasentstickung und Abgaskondensation

Die Abgasentstickung ist vor allem für Brennstoffsortimente mit erhöhtem Stickstoffgehalt (Altholz, verleimte Holzwerkstoffe, Spanplatten) eine mögliche Option. Der Einsatz von Abgasentstickungsverfahren wird derzeit in Pilotanlagen getestet.

Die Abgaskondensation bietet bei Brennstoffen mit hohem Wassergehalt die Möglichkeit einer namhaften Wirkungsgradverbesserung. Auch diese Technik wird in der Schweiz zur Zeit an Pilotanlagen untersucht.

Verfahren zur Abgasentstickung und Abgaskondensation können in den nächsten Jahren vor allem bei Grossanlagen und bei besonderen Voraussetzungen an Bedeutung gewinnen. Allerdings sind diese Techniken mit erhöhten Kosten verbunden, und es liegen noch keine langjährigen Praxiserfahrungen vor.

Richtwerte zur Abschätzung von Wärmeleistung und Jahresbrennstoffbedarf

Basis: Energiebezugsfläche EBF nach SIA 384/2

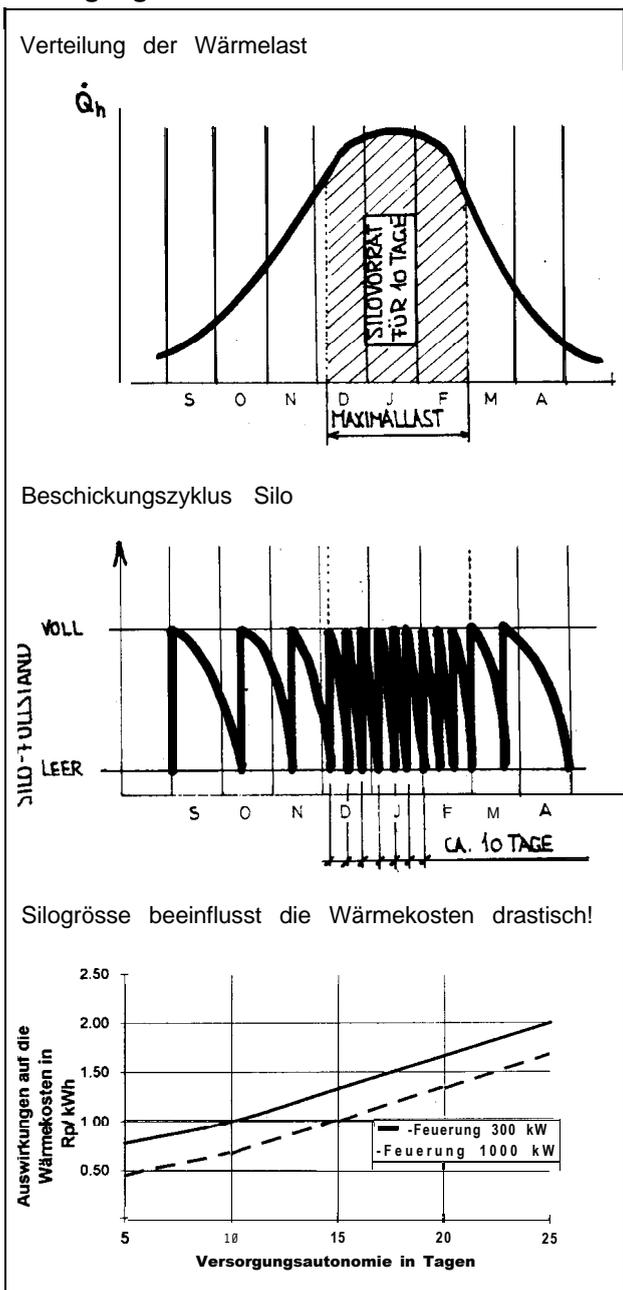
Jahresbrennstoffbedarf pro m² EBF

Brennstoff	Neubauten	Altbauten	Dim.
Holzsnitzel aus Hartholz	0.08	0.09 – 0.13	Sm ³ /m ² a
Holzsnitzel aus Nadelholz	0.10	0.11 – 0.16	Sm ³ /m ² a
Öl	8	9 – 14	kg/m ² a

Wärmeleistungsbedarf pro m² EBF

Brennstoff	Neubauten	Altbauten	Dim.
Raumheizung	30	40 – 60	W/m ²
Warmwasser	10	10	W/m ²
Aufheizspitzen	10	20	Sm ³ /m ² a
Total	50	70 – 90	W/m ²

Auslegung des Silos



Dimensionierung des Brennstoffsilos

Bei keiner Komponente lassen sich durch die Auslegung soviel Kosten einsparen oder ausgeben wie beim Brennstoffsilo. Eine detaillierte Optimierung durch den Heizungsplaner ist deshalb vorrangig. Aus Kostengründen ist das Silo grundsätzlich so klein wie möglich auszulegen. Die Silogrösse kann jedoch nicht losgelöst von der Brennstofflogistik beurteilt werden, sondern sie ist Teil des Versorgungskonzeptes.

Die Kosten können in der Regel in einem vernünftigen Rahmen gehalten werden, wenn das Silo auf eine mittlere 10tägige Versorgungsautonomie ausgelegt wird. In einem durchschnittlichen Winter führt dies zu ca. 10 Silobeschickungen.

Beispiel zur Kostensensitivität der Silogrösse: Bei einer Holzschnitzelfeuerung mit 300 kW Leistung verteuert sich der Schnitzelpreis durch die Kosten eines 10-Tage-Silos um Fr. 9.– bis 10.–/Sm³. Bei Einsatz eines 30-Tagesilos dagegen um über Fr. 20.–/Sm³!

Die Anzahl Fahrzeugbewegungen für die Silobeschickung ist nicht abhängig von der Silogrösse, sondern vom Jahresbrennstoffbedarf und der Transportkapazität des Fahrzeugs. Ein Lastwagen kann ca. 40 m³ Schnitzel befördern.

Empfohlene Silogrösse

$$\text{Nettoinhalt} = 5 \times \text{maximaler Tagesbedarf} + 30 \text{ m}^3$$

Saisonale Schnitzelzwischenlager

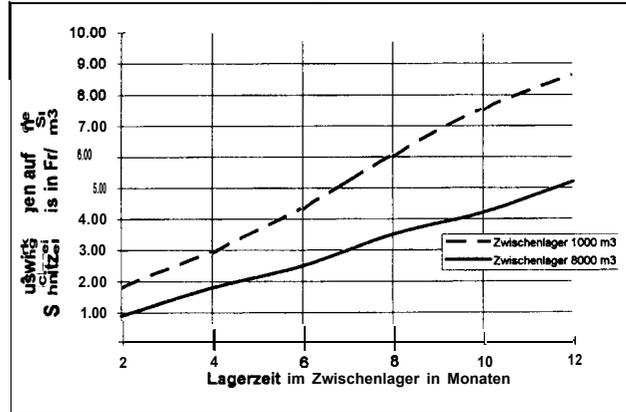
Die kostengünstigste Energieholzversorgung aus dem Wald ist die direkte Versorgung ohne Zwischenlager, d.h. mobil hacken und direkt zum Verbrauchersilo führen.

Durch ein saisonales Zwischenlager werden die Brennstoffkosten erheblich verteuert. Der Bau eines Zwischenlagers ist deshalb möglichst zu vermeiden. Wenn Zwischenlager geschaffen werden müssen-also zum Beispiel in höheren Regionen - soll stets ein möglichst grosses Lager zur Versorgung mehrerer Holzfeuerungen gebaut werden.

Beim Zwischenlager kann auch Stammholz aus kleineren Holzeinschlägen **auf einem** Sammelplatz als Polter gelagert und bei Bedarf auf Platz mobil oder stationär gehackt werden.

Die Verteuerung des Schnitzelpreises durch ein Zwischenlager soll unter Fr. 5.-/Sm³ bleiben.

Verteuerung des Schnitzelpreises durch ein saisonales Zwischenlager



Konsequenz: Nur in regionalen Zwischenlagern mit kurzen Lagerzeiten können die Mehrkosten für die Holzschnitzel in Grenzen gehalten werden

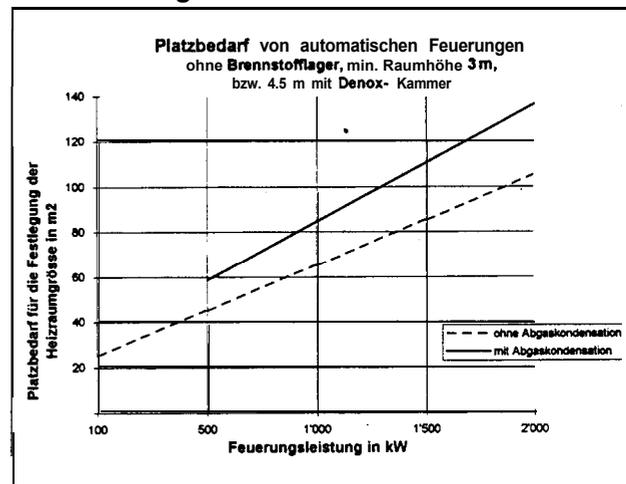
Platzbedarf und Heizraumgrösse

Der Heizraum muss überausreichend lichte Raumhöhe zur Aufnahme einer automatischen Holzfeuerung verfügen. Auch bei kleinen Leistungen sind 3 m Raumhöhe erforderlich, um Flugascheabscheider und Entaschungseinrichtung wartungsfreundlich zu platzieren.

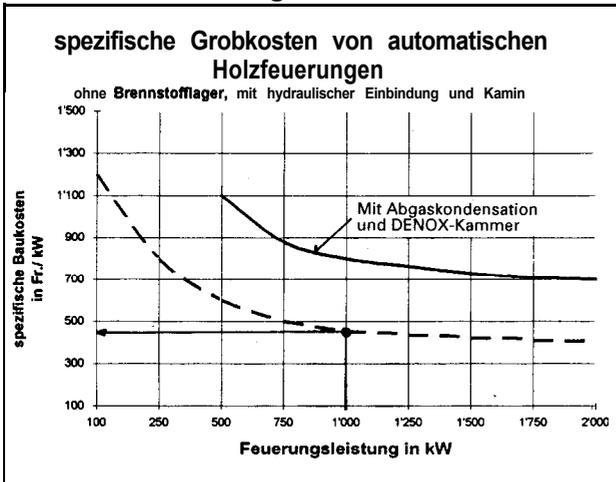
Falls bei grösseren Anlagen eine Abgaskondensation oder Abgasentstickung vorgesehen ist, muss die Raumhöhe mindestens 4.5 m betragen.

Bei der Gestaltung des Heizraums ist zu beachten, dass der Feuerraum und vor allem die Züge des Wärmetauschers regelmässig gereinigt werden müssen. Der Platz rund um den Heizkessel und die Ascheabscheidung muss daher grosszügig bemessen sein. Im weiteren sollten im Heizraum ein Reservebehälter für die Asche (bei grösseren Anlagen ein 600-l-Reservecontainer) sowie der Asche-sauger Platz finden.

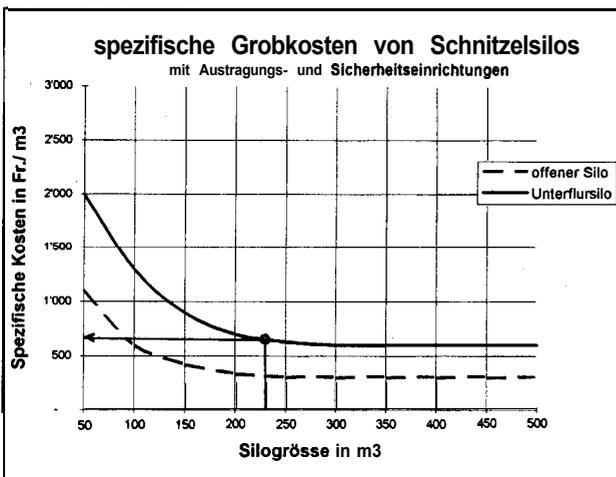
Platzbedarf von automatischen Holzfeuerungen



Kosten der Feuerung



Kosten des Silos



Beispiel

Nutzwärmepreis für folgende Annahmen:

Feuerungsleistung:	1 000 kW
Auslastung:	2 000 Vollbetriebsstunden pro Jahr
Amortisationszeit:	15 Jahre
Kapitalzins:	5% (Annuitätsfaktor 9.63%)
Nutzwärme:	2 000 MWh/a
Kosten Holzfeuerung:	Fr. 450 000.-
Kosten Silo 230 m ³ :	Fr. 150 000.-
Kapitalkosten:	Fr. 58 000.-/a
Energiekosten (ca. 4 Rp./kWh):	Fr. 80 000.-/a
Wartung/Unterhalt (ca. 3.5% der Investitionskosten):	Fr. 21 '000.-/a
Nutzwärmepreis:	8.0 Rp./kWh

5.6 Grobkostenschätzung

Zweck

Ein fundierter Variantenvergleich innerhalb einer Vorstudie soll stets auf der Grundlage von Offerten für die wichtigsten Komponenten erfolgen. Dennoch ist es notwendig, dem Bauherrn zu Beginn der Vorstudie einen Kostenrahmen und einen Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen anzugeben. Damit kann die Bereitschaft zum Einbau einer automatischen Holzfeuerung abgeklärt werden.

Die nebenstehenden Diagramme können für eine stark vereinfachte Schätzung der Kosten dienen. Sie helfen gleichzeitig auch, die Kostensensitivität des eigenen Projektes abzuschätzen und daraus eine Optimierung von Feuerung und Silo durchzuführen.

Abschätzung des Nutzwärmepreises

Die Wirtschaftlichkeit einer Wärmeversorgung lässt sich am besten anhand der Wärmegestehungskosten bzw. des Nutzwärmepreises beurteilen. Dabei spielt neben den Investitionen auch die Auslastung eine entscheidende Rolle.

Der Nutzwärmepreis einer automatischen Holzfeuerung bis 500 kW sollte nicht mehr als 14 Rp./kWh betragen. Bei Anlagen über 500 kW sollte der Nutzwärmepreis unter 10 Rp./kWh zu stehen kommen.

Eine erste grobe Schätzung der Kosten kann anhand der nebenstehenden Diagramme vorgenommen werden.

5.7 Variantenvergleich

Form und Inhalt

Das wichtigste Ergebnis des Variantenvergleichs ist die Systemwahl. Sie soll nach allen technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten mit der individuellen Gewichtung des Bauherrn getroffen werden. Der Planer erarbeitet die Entscheidungsgrundlagen, die Entscheidung trifft der Bauherr.

Das Einbeziehen aller Aspekte in den Entscheidungsprozess ist wichtig, da die betriebswirtschaftlichen Fakten häufig gegen eine Holzfeuerung sprechen. Die Bewertung der ökologischen und gesamtwirtschaftlichen Kriterien erhält somit eine grosse Bedeutung.

Wirtschaftlichkeitsvergleich

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich erfolgt auf der Basis der Jahresgesamtkosten, welche sich aus den **Kapital- und Betriebskosten zusammensetzen**.

Die Kapitalkosten werden nach der Annuitätenmethode ermittelt. Zusammen mit den Energie-, Wartungs- und Unterhaltskosten ergeben sich die Jahresgesamtkosten der Wärmeerzeugung.

Nebst dem Vergleich mit aktuellen Energiepreisen sollte auch eine Vergleichsrechnung unter Einbezug der externen Kosten durchgeführt werden. Dazu kann die Methode der kalkulatorischen Energiepreiszuschläge angewendet werden (Kapitel 5.1).

Anforderung an Variantenvergleich

- Festhalten der Grundlagen und Grundannahmen
- Variantenbeschrieb mit Prinzipschema und Eigenschaften
- Ermittlung allfälliger investitionsbeiträge durch Bund und Kanton
- Zusammenstellung der Investitionskosten mit Kapitalkostenrechnung
- Zusammenstellung der Jahresverbrauchszahlen mit mittleren Jahresenergiekosten
- Bedienung, Wartung und Unterhalt mit Angabe der mittleren Jahreswartungskosten
- Wirtschaftlichkeitsvergleich auf Basis der Jahresgesamt- und der Wärmegestehungskosten
- Beurteilung von Umweltverträglichkeit und technischem Risiko
- Regionalwirtschaftliche Auswirkungen
- Empfehlungen und Begründung

$$\text{Jahreskosten} = \text{Kapitalkosten} + \text{Betriebskosten}$$

Annuitätenfaktor zur Bestimmung der Kapitalkosten

Zinssatz Jahre	4%	5%	6%	7%
5	0.225	0.231	0.237	0.244
10	0.123	0.130	0.136	0.142
15	0.090	0.096	0.103	0.110
20	0.074	0.080	0.087	0.094
30	0.058	0.065	0.073	0.080

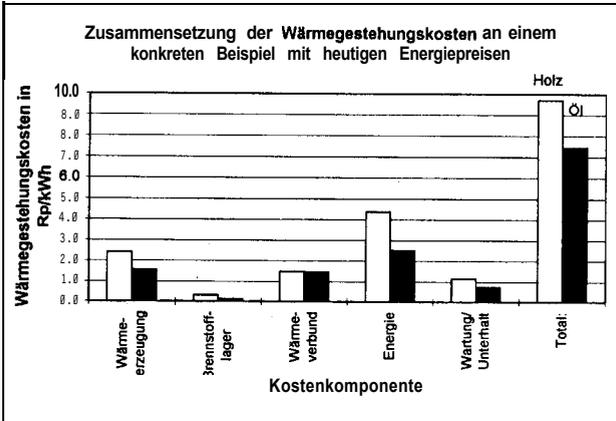
$$\text{Betriebskosten} = \text{Energiekosten} + \text{Bedienungskosten} + \text{Wartungs- und Unterhaltskosten}$$

$$\text{Energiekosten} = \text{Jahresbrennstoffbedarf} \times \text{Brennstoffpreis}$$

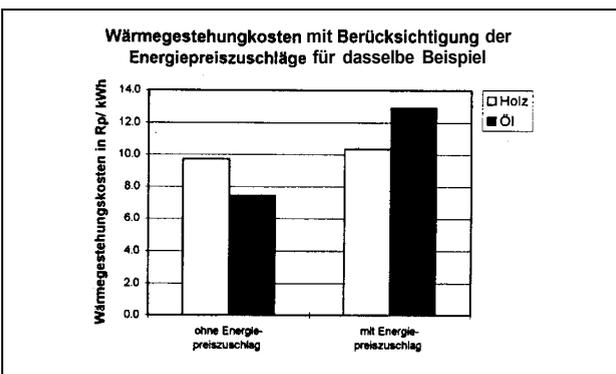
$$\text{Bedienungskosten} = \text{Bedienungsaufwand in Stunden} \times \text{Stundensatz}$$

$$\text{Wartungs- und Unterhaltskosten} = 3\text{-}4\% \text{ der Investitionskosten}$$

Kostenstruktur der Nutzwärmeprices (Wärmegestehungskosten)

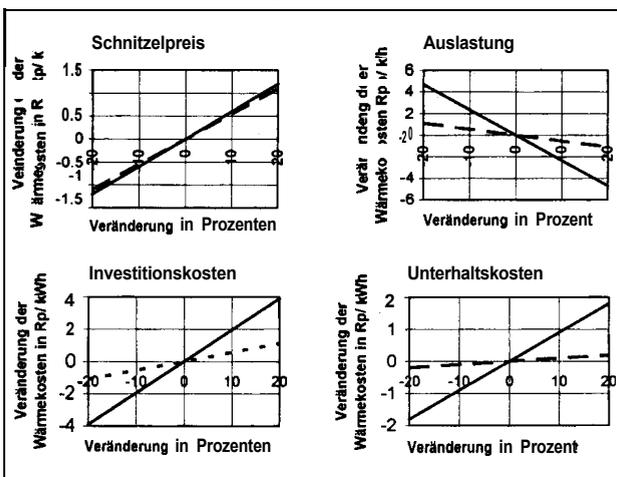


Einfluss der externen Kosten durch kalkulatorische Energiepreiszuschläge



Berechnung gemäss Kapitel 5.1.

Auswirkungen veränderter Randbedingungen auf den Nutzwärmeprice



Quelle: Wirtschaftlichkeit der Holzenergienutzung in der Gemeinde, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994

Kostenstruktur des Nutzwärmeprices

Aus den Jahresgesamtkosten kann die Struktur der Wärmegestehungskosten bestimmt werden. Je nachdem, ob es sich um einen Einzelverbraucher oder einen Wärmeverbund handelt, kann die Kostenstruktur weiter aufgeschlüsselt werden:

- Kostenanteil Investitionen Wärmeerzeugung
- Kostenanteil Investitionen Wärmeverbund und Wärmebereitstellung
- Kostenanteil Brennstofflagerung
- Kostenanteil Energiekosten
- Kostenanteil Bedienung, Wartung, Unterhalt.

Einfluss des Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit

Auch bei sorgfältiger Aufbereitung des Zahlenmaterials weist die Wirtschaftlichkeitsberechnung einen erheblichen Ungenauigkeitsspielraum auf. Vor allem bei nahe zusammenliegenden Ergebnissen sollten die Werte deshalb vorsichtig interpretiert werden. In solchen Fällen kann bereits die Korrektur durch die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge den Wirtschaftlichkeitsvergleich entscheidend beeinflussen (Kapitel 5.1).

Sensitivität wichtiger Einflussfaktoren

Die wichtigsten Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, sind:

- Schnitzelpreis
- Unterhaltskosten
- Investitionskosten
- Auslastung.

Die Sensitivität dieser Einflussfaktoren sollten vom Planer abgeschätzt werden.

5.8 Vorprojekt

Ausgangslage nach der Systemwahl

Vor Beginn des Vorprojekts müssen Feuerungstyp, Silogrösse, Silobewirtschaftung sowie die Versorgungskette feststehen. Platzbedarf, Heizraum- und Silostandort, Leistungs- und Brennstoffbedarf sowie die massgebenden SUVA-, VKF- und LRV-Bestimmungen müssen bekannt sein. Im weiteren sollte eine Abschätzung der Wärmegestehungskosten auf Vorstudienstufe vorliegen. Im Vorprojekt wird für das gewählte System eine optimale räumliche Anordnung von Feuerung und Brennstofflager bestimmt. Daneben sind weitere Einrichtungen zu beachten und genauer abzuklären, z.B. Entschungs- und Sicherheitseinrichtungen.

Plazierung von Feuerung, Kamin und Silo

Feuerung und Brennstofflager sollten so nahe wie möglich beisammen liegen. Zwischen Siloaustragung und Heizraum muss eine Niveaudifferenz von mindestens 70 cm zum Einbau einer Fallstufe bestehen. Wo dies nicht möglich ist oder das Siloniveau gar unterhalb des Heizraumniveaus liegt, müssen spezielle Steilförderschnecken den Brennstoff auf die Höhe der Fallstufe fördern.

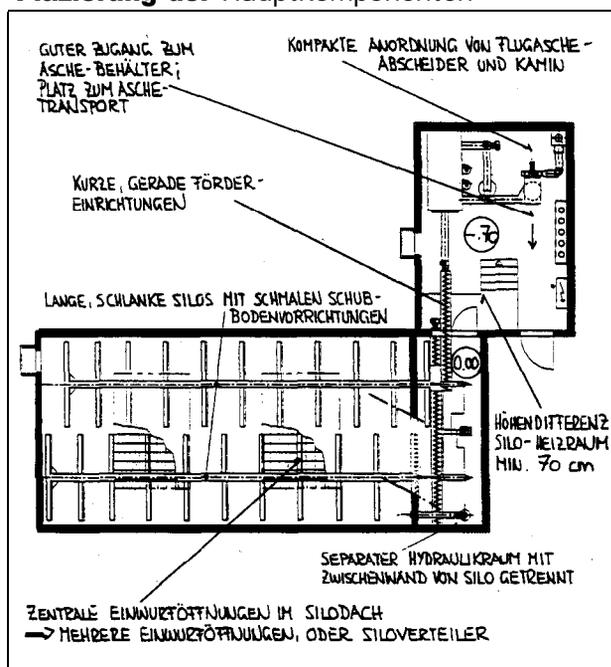
Bei Restholz muss innerhalb der Fallstufe Platz für den Einbau einer Zellradschleuse vorgesehen werden. Die Niveaudifferenz muss in diesem Fall 80-90 cm betragen.

Der Kamin soll möglichst nahe beim Flugascheabscheider angeordnet werden. Die Gefahr von Taupunktunterschreitung ist bei Holzfeuerungen grösserals bei Ölfeuerungen. Der Taupunkt bei der Verbrennung von feuchten Waldhackschnitzeln liegt mit 60 °C wesentlich über demjenigen von Ölfeuerungen. Besonders im Sanierungsfall mit bestehenden Kaminzügen ist Vorsicht geboten. Hier lohnt sich eine Begutachtung zusammen mit Kaminlieferant und Kaminfeger.

Integration der Entschungseinrichtung

Bei der Verbrennung von Holzfallen maximal rund 1 Gew.-% als unbrennbare Asche an, bei Rinde kann aus Steinen und Sand auch ein höherer Aschegehalt resultieren. Die Ascherückstände müssen aus Feuerung und Wärmetauscherzügen

Plazierung der Hauptkomponenten

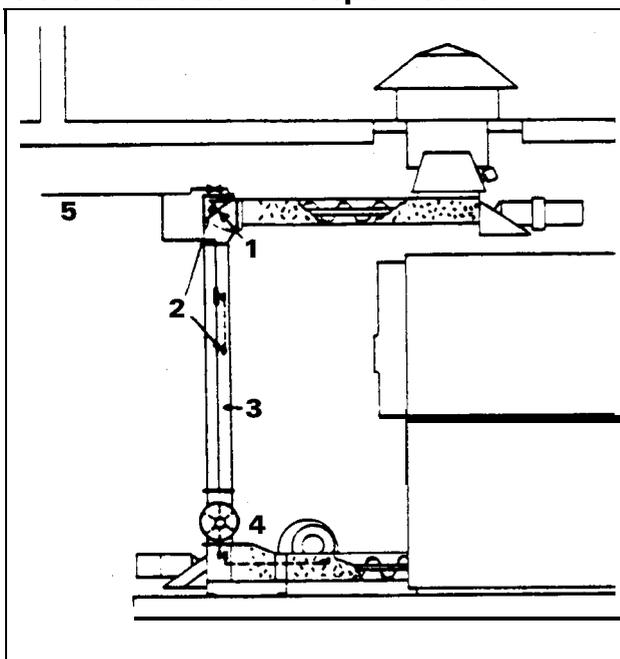


entfernt und in geeigneten Behältern entsorgt werden. Grössere automatische Feuerungen (ab ca. 150 kW) können mit automatischen Entaschungseinrichtungen ausgerüstet werden. Diese sind meist mit einem 600-l-Aschecontainer verbunden.

Spezielle Sicherheitseinrichtungen

Neben den üblichen Sicherheitseinrichtungen im hydraulischen Netz (Sicherheitsventil und Expansionsanlage) müssen bei automatischen Holzfeuerungen Brandausbreitung und Gärgasunfälle mit speziellen Sicherungsmassnahmen verhindert werden. Normen und Gesetze (SUVA, VKF) schreiben, je nach Energieholzsortiment, verschiedene Sicherheitsstufen vor.

Sicherheitskette am Beispiel Restholz



- 1 Brandschutzklappe
- 2 Wasserbrause mit thermischem Auslöser
- 3 Fallrohr
- 4 Zellradschleuse
- 5 Löschwasseranschluss

Bei trockenem Waldholz mit einem Wassergehalt von weniger als 20% entfallen die Punkte 1 und 4

6 Detailprojekt

6.1	Ablauf und Projektorganisation	105
	Heizzentrale und Peripherie	105
	Mehrere Vertragspartner	105
	Gewährleistungspflicht	106
	Besonderheiten im Projektablauf	106
6.2	Dimensionierung und Wahl der Feuerung	107
	Nennleistung, Wirkungs- und Jahresnutzungsgrad	107
	Kesselauswahl	107
	Planung der Fördereinrichtungen	108
	Besonderheiten beim Spänetransport	108
	Kesselreinigung und Ascheabtransport	109
	Abgasentstickung	110
6.3	Anordnung und Wahl des Brennstofflagers	111
	Optimale Silogrösse: ein enormes Sparpotential	111
	Alternative zum Unterflursilo	111
	Mobile Schnitzelcontainer	112
	Versorgung durch Schnitzelhallen	112
	Anordnung eines Spänesilos	112
6.4	Projektierungshinweise zum Silo	113
	Dimensionierung von Schnitzelsilos	113
	Hinweise zum Spänesilo	114
6.5	Hydraulische Einbindung	115
	Bekannte Grundsätze	115
	Wärmeabgabe bei Glutbetterhaltung	115
	Mehrkesselanlagen	116
	Speicher zur Abdeckung von Schwachlast	116
6.6	Steuerung und Regelung	117
	Anpassung der Feuerungsleistung an die Wärmelast	117
	Optimale Verbrennung im ganzen Leistungsbereich	117
	Zukünftige Regelstrategien	118
	Schaltschrank	118
6.7	Sicherheitseinrichtungen für Anlage, Heizraum und Silo	119
	Besondere Aspekte bei Holzfeuerungen	119
	Verhindern gefährlicher Gärgaskonzentrationen	119
	Einrichtungen zur Brandverhütung	120
	Ausdehnungsgefässe	120
6.8	Planungshinweise für Heizraum und Silo	121
	Zufuhr der Verbrennungsluft	121
	Kamin	122
	Emissionsmessungen gemäss LRV	123
	Baulicher Brandschutz im Heizraum	123
	Silovorschriften	124



6 Detailprojekt

6.1 Ablauf und Projektorganisation

Heizzentrale und Peripherie

Im Gegensatz zu konventionellen Anlagen muss der Planer einer automatischen Holzfeuerung nebst seinem Fachbereich auch die Anlagenperipherie projektieren oder zumindest organisieren.

Bei der Versorgungskette für Waldholz entsteht ein zusätzlicher Planungs- und Koordinationsbedarf:

- Federführung bei der Planung von Zufahrtswegen und Plätzen für den Schnitzelumschlag
- Mithilfe bei der Gestaltung von Festholzzwischenlagern im Fall «Hacken bei Anlage»
- Koordination beim Silobau zwischen Statiker, Baumeister und Systemlieferant
- Organisation und Kontrolle von Schalungs- und Einlegeplänen für Silo- und Hydraulikraum

Bei holzverarbeitenden Betrieben kann die Peripherie recht umfangreich sein:

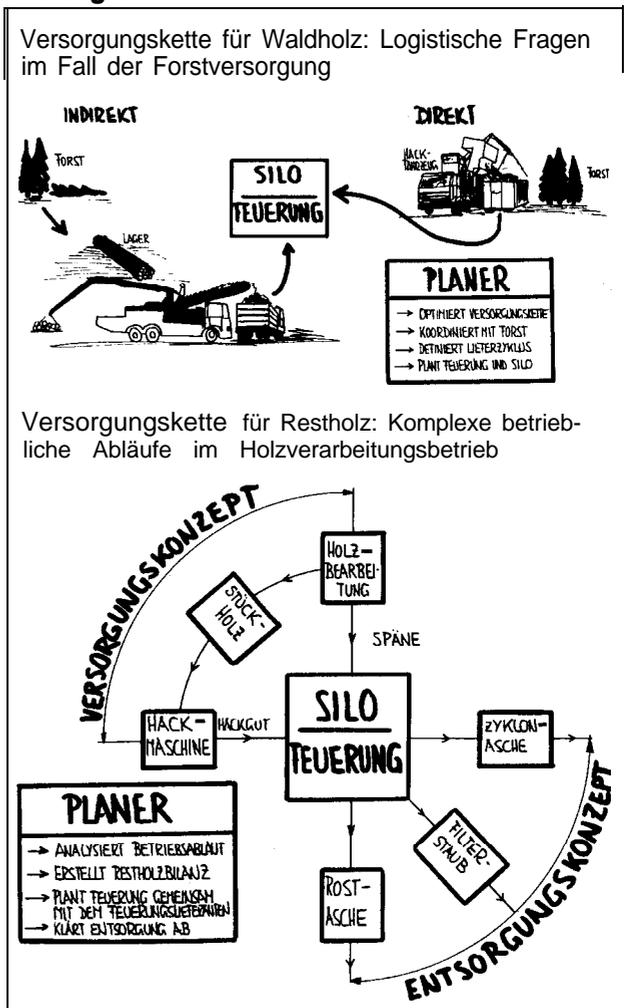
- Integration der Span- und Schleifstaubabsaugung ins Silofördersystem
- Planung und Auswahl geeigneter stationärer Restholzhacker und Einbindung in den Silozufluss
- Organisation der Löschwasseranschlüsse für die diversen Sicherheitseinrichtungen
- Organisation der Elektroanschlüsse für Förderanlagen, Hacker und Sicherheitsglieder
- Federführung bei der Silodimensionierung durch Bauingenieur und Systemlieferanten
- Federführung bei logistischen Fragen (Silo- und Feuerungsstandort, Beschickungstechnik etc.)
- Mitwirkung am Entsorgungskonzept für problematische Holzabfälle und Asche.

Mehrere Vertragspartner

Meistens erstellen mehrere Vertragspartner das Gesamtwerk. Das bedeutet für den Planer, dass er für jeden Subunternehmer einen Werkvertrag mit zugehörigem Leistungsverzeichnis und vorangegangenen Offertwettbewerb erstellen muss.

Auch die fachliche und terminliche Koordination der Subunternehmer gehört zu den Planungsaufgaben.

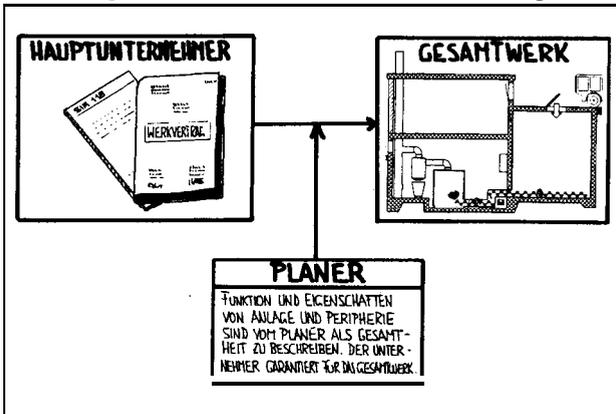
Stellung des Planers innerhalb des Gesamtauftrags:



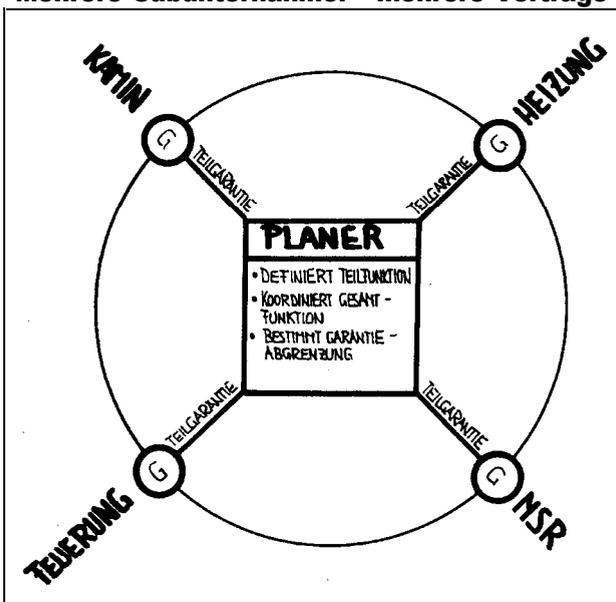
Das Werk ist Gemeinschaftsproduktion

- Feuerungslieferant erstellt Feuerung, Beschickung und Transporteinrichtungen
- Heizungsunternehmer bindet die Kesselanlage ins hydraulische System ein
- Baumeister ist zuständig für die Silobauten
- Kaminbaufirma schliesst Abgasanlage an und liefert Kamin

Ein Hauptunternehmer - ein Werkvertrag



Mehrere Subunternehmer - mehrere Verträge



Gewährleistungspflicht

Funktion und Eigenschaften des Gesamtwerks «Automatische Holzfeuerung» werden nicht durch einen einzelnen Unternehmer garantiert. Vielmehr haftet jeder Subunternehmer für seinen Werksteil. Das bedeutet, dass der Planer schon bei der Ausarbeitung des Werkvertrags genau festlegen muss, wie die Gewährleistung der gesamten Anlage sichergestellt wird.

Eine Möglichkeit besteht darin, den Heizungsunternehmer als Hauptunternehmer einzusetzen. Er

liefert die gesamte Anlage ohne Silo, jedoch mit der kompletten Brennstofflogistik und allen Feuerungs- und Regelapparaten. Feuerungs- und Kaminlieferant werden zu seinen Subunternehmern.

So sind die rechtlichen Verhältnisse klar geregelt, da der Bauherr nur einen gewährleistungspflichtigen Vertragspartner für die gesamte Anlage hat. Meist verteuert sich allerdings die Anlage erheblich durch die Wiederverkaufsmarge des Hauptunternehmers. Gerade beim Bezug eines Planers wird der Bauherr daher die Lösung mit mehreren Vertragspartnern vorziehen und vom Fachingenieur verlangen, dass er die nötigen Garantien in den Verträgen regelt.

Für den Planer bedeutet dies, dass er einen genauen Funktionsbeschreibung von Anlage und Peripherie aufstellt und die Funktionsabläufe dem jeweiligen Werkteil zuordnet. In jedem Werkvertrag sollen der gesamte Funktionsablauf und die spezifische Teilfunktion genau erläutert sein.

Besonderheiten im Projektablauf

Bei der Detailprojektierung ist es notwendig, frühzeitig die Unterstützung durch einen erfahrenen Baumeister einzuholen. Meist ist zudem der Bezug eines Baustatikers für die Dimensionierung der Silostruktur und das Erstellen der Schalungs- und Einlegepläne erforderlich.

Der Planer sorgt dafür, dass der notwendige Austausch von Informationen und Unterlagen zwischen Silobauer und Systemlieferanten stattfindet und die Aufgaben klar verteilt sind:

- Wer versetzt die Führungselemente für Siloein- und -austragung
- Wer liefert und versetzt die Verankerungsprofile für Hydraulikaggregate und motorische Antriebe
- Wer baut wann den Silodeckel ein
- Wer liefert Angaben über die statischen und dynamischen Lasten.

6.2 Dimensionierung und Wahl der Feuerung

Nennleistung, Wirkungs- und Jahresnutzungsgrad

Bei automatischen Holzfeuerungen hat die Heizkesseldimensionierung einen grösseren Einfluss auf den Jahresnutzungsgrad als bei Ölfeuerungen. Gründe dafür sind:

- höhere mittlere Kesselwassertemperatur (über 70 °C; Strahlungsverluste ca. 2%, bei Ölkesseln unter 1%)
- höhere Bereitschaftsverluste als Folge der heissen schamottierten Brennkammer (Wärmeverluste während Gluterhaltung).

Bei überdimensionierten Anlagen steigen die Bereitschaftsverluste dramatisch an, weil sich die Anlage öfter in Gluterhaltungsphasen befindet.

Bei einer monovalenten Einkesselanlage soll die Nennleistung des Kessels möglichst nahe beim maximalen Wärmeleistungsbedarf liegen. Im Fall eines Wärmeverbundes ist diese Forderung nicht immer erfüllbar, da die Erschliessung oftmals in mehreren Ausbautetappen erfolgt. Hier ist mit einer sinnvollen Kesselunterteilung eine möglichst gute Anpassung an den Anschlusszeitplan der Wärmeverbraucher zu suchen. Gerade in solchen Fällen kann eine monovalente Mehrkesselanlage oder eine bivalente Anlage, z.B. in Kombination mit einer Ölfeuerungsanlage, durchaus sinnvoll sein.

Die Warmwasseraufbereitung sollte im Sommer nicht durch die Holzfeuerungsanlage erfolgen. Auch in einem Wärmeverbund sind die Sommerverbraucher autonom zu betreiben.

Kesselauswahl

Bei modernen automatischen Holzfeuerungen ist eine Anpassung der Feuerungsleistung an die momentane Wärmelast in einem gewissen Leistungsbereich möglich. Dieser Leistungsbereich hängt vom Feuerungsprinzip und vom Wassergehalt des Brennstoffs ab.

Wesentlich bei jeder Leistungsregelung ist die Forderung, dass die Verbrennungsverhältnisse allen Lastzuständen angepasst werden.

Jahresnutzungsgrad η_a bei automatischen Holzfeuerungen

Details zur Ermittlung des Jahresnutzungsgrades siehe Kapitel 2.8 und Anhang A3

$$\eta_a = \eta_k \frac{L - q_b / \alpha}{L - q_b}$$

mit:

- α Auslastung [-]
- η_k Kesselwirkungsgrad
- q_b Bereitschaftsverluste
- L gemittelte Laststufe

Zielwerte für gute automatische Holzfeuerungen:

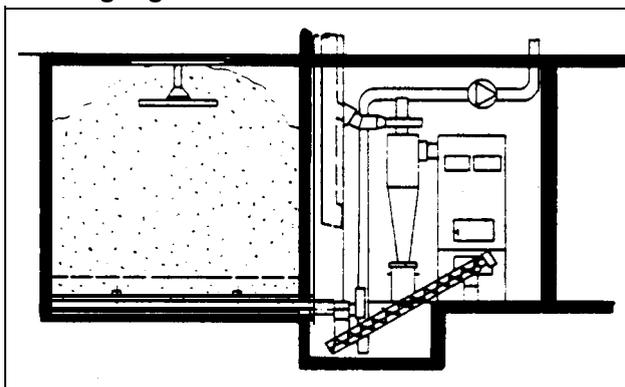
- $\alpha > 0.70$
- $\eta_k > 0.90$
- $q_b < 0.02$
- $L = 0.50$
- $\eta_k = 0.75 \dots 0.85$

→ Die Bandbreite der Leistungsregelung und die Qualität der Verbrennungsregelung sind entscheidende Kriterien bei der Fabrikatwahl.

Lastanpassung verschiedener Feuerungen:

Bei modernen Feuerungssystemen erfolgt die Lastanpassung in der Regel von 30-100%.

Zwangsbelüftung bei tiefliegendem Austragungsschacht



Bei Gärung von feuchtem Holz entsteht CO₂, das sich an den tiefsten Stellen ansammelt. Ist trotzdem keine andere Anordnung möglich, muss unbedingt eine mechanische Zwangsbelüftung eingebaut werden.

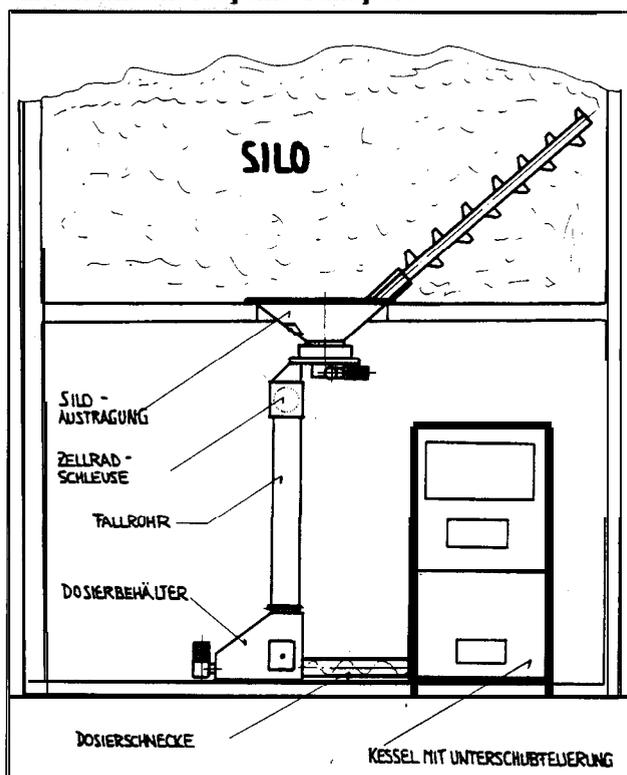
Planung der Fördereinrichtungen

Der Planer kann auf die Dimensionierung der Austragungs- und Fördereinrichtungen nur bedingt Einfluss nehmen. Das Förderprinzip hängt vom Brennstoff ab, Grösse und Dimension der Fördereinrichtungen werden vom Feuerungslieferanten anhand der Kesselleistung und der Silogrösse bestimmt.

Der Planer hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Anordnung von Silo und Kessel. Neben der Forderung, dass Brennstofflager und Kessel möglichst nahe beieinander liegen sollen, gibt es folgende weitere Punkte zu beachten:

- bei feuchten Holzsortimenten mit Steilförderer- einrichtungen ist wegen Gärgasbildung eine Entlüftung in Tiefpunkten notwendig
- bei Mehrkesselanlagen soll jede Feuerungseinheit eine eigene Transportanlage erhalten
- die Zugänglichkeit zu Kessel, Flugascheabscheider und Kamin darf durch die Fördereinrichtungen nicht beeinträchtigt werden.

Mechanischer Spänetransport



Besonderheiten beim Spänetransport

Die Förderung von Spänen ist sowohl pneumatisch als auch mechanisch möglich. Bei pneumatischen Einrichtungen übernehmen Gebläse die Förderung, bei mechanischen Einrichtungen kommen Schneckenförderer zum Einsatz.

Wenn es 'die bauliche Situation erlaubt, z.B. bei kurzen Transportverbindungen, sind mechanische Transportsysteme den pneumatischen vorzuziehen.

Vorteile der mechanischen Förderung:

- weniger störungsanfällig
- benötigt weniger Antriebsenergie
- kostengünstiger.

Kesselreinigung und Ascheabtransport

Die beim Verbrennungsvorgang zurückbleibenden Aschefraktionen scheiden sich an folgenden Stellen ab:

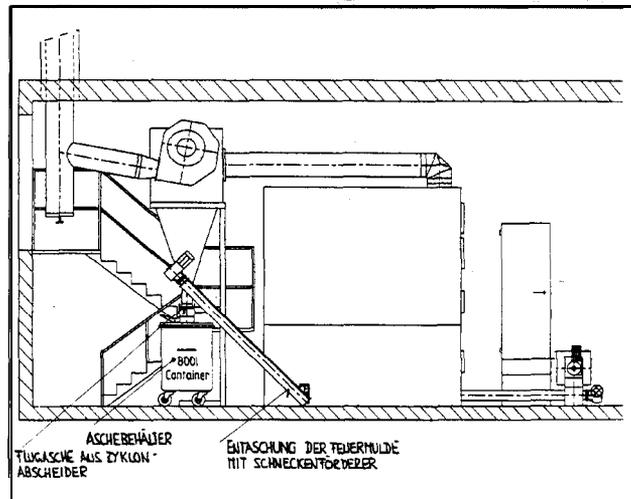
1. in der Feuermulde unter dem Rost (Rostasche)
2. im eigentlichen Feuerraum (Rostasche)
3. in den Wärmetauscherzügen des Kessels (Flugasche)
4. am unteren Ausfällungspunkt des Zyklons (Zyklonasche)

Diese Bereiche müssen vom Anlagewart periodisch gereinigt (entrusst) werden. Dies geschieht mit staubsaugerähnlichen Sauggeräten mit integrierten Vorabscheidern aus Metall zur Aufnahme glühender Aschepartikel.

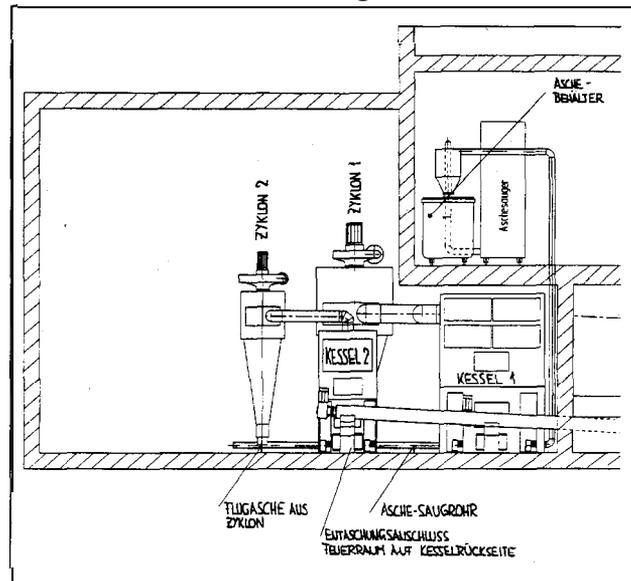
Bei grösseren Anlagen (ab ca. 150 kW Nennleistung) kommen vermehrt automatische Entaschungseinrichtungen zur Anwendung, welche den Reinigungsaufwand erheblich reduzieren. Neben den seit langem bekannten pneumatischen Entaschungseinrichtungen haben sich zunehmend mechanische Ascheaustragsysteme durchgesetzt. Wenn es die Platzverhältnisse erlauben und die Kesselkonstruktion es zulässt, ist den mechanischen Einrichtungen der Vorzug zu geben. Grund:

- bessere Abreinigungswirkung
- weniger störungsanfällig
- kostengünstiger.

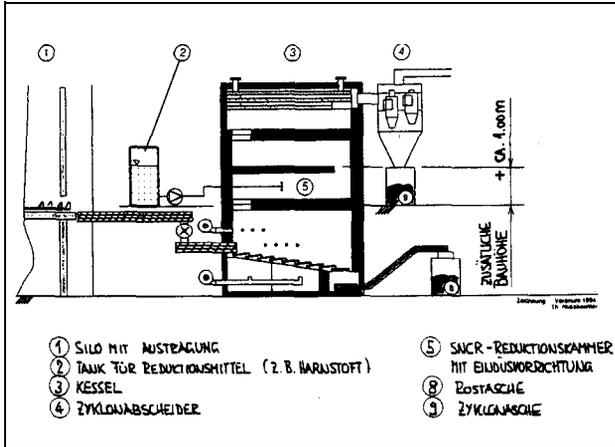
Mechanische Entaschung



Pneumatische Entaschung



Abgasentstickung nach dem SNCR-Verfahren



Mit Kosten von Fr. 20.- bis 30.- pro kg reduziertem NO_x sind diese Massnahmen teurer als bei der NO_x -Reduktion mittels Low- NO_x -Technologie bei Öl- und Gasfeuerungen.

Abgasentstickung

Das SNCR- und das SCR-Verfahren werden derzeit an Pilotanlagen eingesetzt, wobei bereits vielversprechende Ergebnisse im Hinblick auf eine NO_x -Reduktion erzielt wurden.

Beim SNCR-Verfahren wird zwischen Feuerungsrost und Rauchrohrteil des Kessels eine Denox-Kammereingebaut. In die Kammer wird aus einem Tank mit Hilfe einer Eindüsungsvorrichtung Harnstofflösung eingedüst. Der Harnstoff reagiert mit Stickoxiden bei Temperaturen zwischen $850\text{ }^\circ\text{C}$ und $950\text{ }^\circ\text{C}$ und führt zu einer Verminderung der NO_x -Emissionen um ca. 60-70%.

Reaktionskammer, Harnstoffdosierstation und Harnstofftank benötigen ausreichend Platz. Eine derartige Einrichtung kostet bei einer Feuerungsanlage der Leistungsklasse 500 kW etwa Fr. 80'000.- bis Fr. 90'000.-. Der benötigte Harnstoff ist als Granulat in 50-kg-Säcken erhältlich. Er ist kostengünstig, so dass die Betriebskosten durch den Harnstoffverbrauch kaum beeinflusst werden.

6.3 Anordnung und Wahl des Brennstofflagers

Optimale Silogrösse: ein enormes Sparpotential

Bereits in der Vorstudienphase muss eine Optimierung von Silostandort, Silogrösse und Brennstoffanlieferung vorgenommen werden. Im Detailprojekt geht es um die Feinabstimmung von Lagerstätte, Anlieferung und Beschickungshilfen. Die wichtigsten Hinweise dazu sind:

- Silogrösse für eine durchschnittlich 10-tägige Versorgungsperiode
- Anzahl Beschickungen pro Jahr wird durch die Kapazität des Lieferfahrzeugs und den Jahresbedarf bestimmt und nicht durch die Silogrösse
- möglichst keine saisonalen Zwischenlager in der Versorgungskette.

Auch bei der Silokonstruktion, den notwendigen Hilfseinrichtungen für das Einfüllen bzw. Verteilen des Brennstoffs und den Belüftungseinrichtungen lassen sich Kosten sparen.

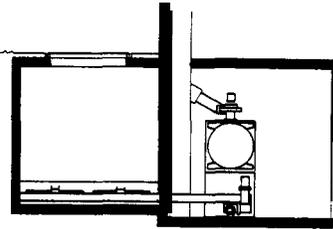
Alternative zum Unterflursilo

Einzelne Schnitzellieferanten verfügen nebst Schnitzelmulden von ca. 30 m³ Inhalt auch über pneumatische Pumpcontainer mit 28 m³ Inhalt. Mit diesen Pumpcontainern ist die Befüllung von offenen Schnitzelhallen genauso möglich wie die Beschickung bei ungünstiger Siloanordnung. Eine Lösung mit befahrbarem Silodach oder eine teure Einwurföffnung ausserhalb des Gebäudes ist nicht in jedem Fall zwingend. In Österreich sind Versorgungskonzepte mit Pumpfahrzeugen heute schon recht verbreitet. Bei pneumatischer Einfüllung muss jedoch dafür gesorgt werden, dass die für die Schnitzelförderung notwendige Transportluft aus dem Silo abströmen kann. Die entsprechende Öffnung ist möglichst bei der Einfüllöffnung vorzusehen. Die Mehrkosten für pneumatische Einförderung betragen ca. Fr. 4.-/Sm³, die Füllzeit dauert ca. 15 Minuten.

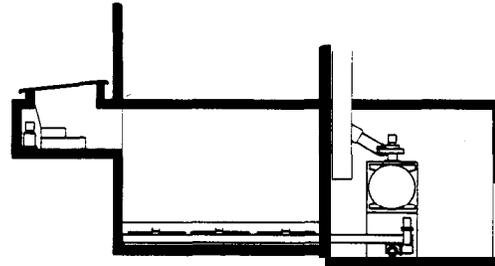
Muss trotzdem mit Kippfahrzeugen befüllt werden, ist daran zu denken, dass neben der Einfüllöffnung meist ein hydraulischer Schnitzelverteiler notwendig ist. Der Silodeckel soll nach Möglichkeit nicht befahrbar ausgeführt werden und über eine Regenrinne verfügen.

Einbauarten von Schnitzelsilos

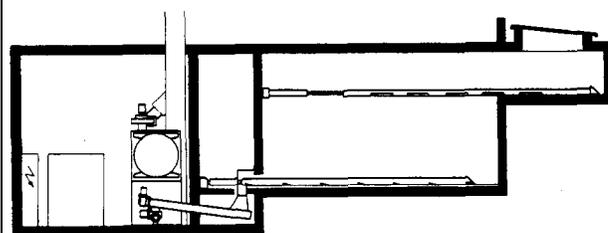
- Silo ausserhalb des Gebäudes



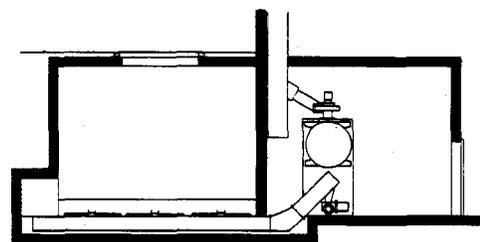
-Silo unter dem Gebäude



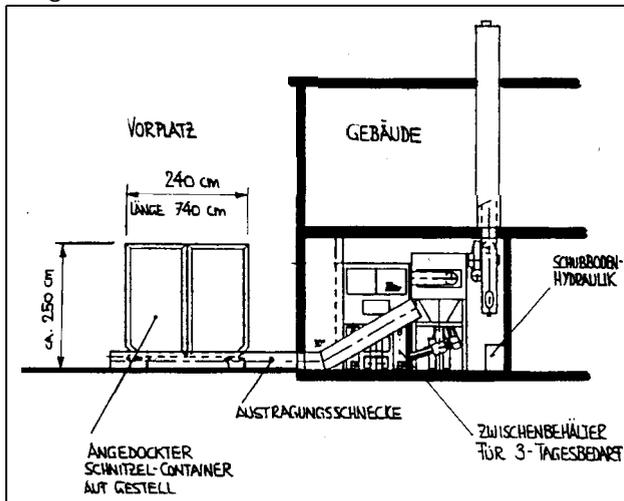
-Silo mit aussenliegender Einfüllöffnung



- Siloaustragung unterhalb Heizraumniveau



Angedockter Schnitzelcontainer

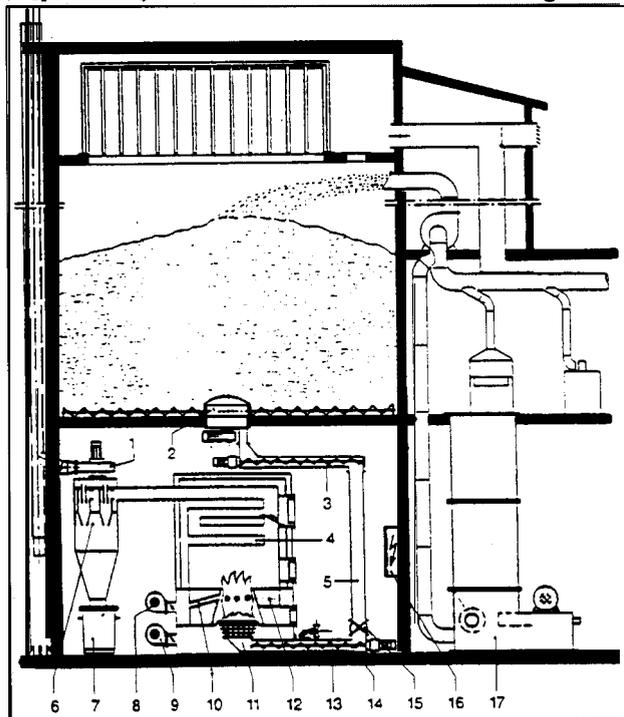


Mobile Schnitzelcontainer

Bei Sanierungen ist der Einbau eines Schnitzelsilos in den meisten Fällen zu teuer oder wegen den baulichen Gegebenheiten nicht möglich. Hier ist eine Versorgung durch mobile 30-m³-Schnitzel-Container mit eingebauter Schubbodenaustragung denkbar. Ein oder mehrere Container werden auf einem geeigneten Vorplatz ans Gebäude angedockt. Die Verbindung bildet ein fest installierter Querförderer, welcher die ausgetragenen Schnitzel ins Gebäude zur Fallstufe transportiert. Wichtig ist, dass vor der Dosierschnecke ein Schnitzelzwischenbehälter für einen Dreitagebedarf vorgesehen wird (Versorgung übers Wochenende). Das Antriebsaggregat für den Containerschubboden wird ebenfalls im Heizraum plaziert.

Die Mietkosten eines 30-m³-Containers betragen ca. Fr. 6.-pro Tag. Die Miete derartiger Container ist sowohl für einen Energieholzlieferanten als auch für Forstcorporationen oder Gemeinden möglich.

Spänesilo, Heizraum und Silobeschickung



- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 Rauchgasventilator | 10 Sekundärluftrohre |
| 2 Siloaustragun Typ ZDA | 11 Verbrennungsretorte mit Gussrost |
| 3 Dosierschnecke | 12 Hochfeuerfeste Schamottierung |
| 4 Hochleistungs-Heizkessel | 13 Rückbrandsicherung |
| 5 Fallrohr | 14 Unterschubvorrichtung |
| 6 Multizyklon-Abscheider | 15 Zellenradschleuse |
| 7 Aschebehälter | 16 Elektrische Steuerung |
| 8 Sekundärventilator | 17 Hackmaschine |
| 9 Primärluftventilator | |

Versorgung durch Schnitzelhallen

Bei grösseren Anlagen sind anstelle teurer Unterflursilos auch offene Schnitzelhallen denkbar. Die Beschickung ist sowohl pneumatisch als auch mit Förderbändern möglich. Bei pneumatischer Beschickung wird der Pumpcontainer dabei auf ein fest im Halleninneren installiertes Verteilrohr angeflanscht.

Bei grossen Schnitzelhallen wird der Brennstoff mittels einer stationären Pumpvorrichtung aus einem Einfüllschacht hineingepumpt, wobei auf die Staubentwicklung bei trockenen Schnitzeln zu achten ist. Bei Grossanlagen ist nur ein Teilbereich mit Austragungsvorrichtungen ausgerüstet. Die Umschichtung innerhalb der Halle übernimmt ein Kabinenkran am Dach der Halle.

Anordnung eines Spänesilos

Die Befüllung eines Spänesilos wird stets mit der im Betrieb eingesetzten Spanabsauganlage kombiniert. Hierbei kann auch eine Hackmaschine an die Absauganlage angeschlossen werden. Der Spänesilo muss sich deshalb stets über dem Heizraum befinden. Bei der Siloanordnung ist darauf zu achten, dass der Brennstoff nach der Austragung nicht noch umständlich weiterbefördert werden muss.

6.4 Projektierungshinweise zum Silo

Dimensionierung von Schnitzelsilos

Austragung und Schnitzelqualität:

Für die Waldhackschnitzel, Holzschnitzel aus Sägereien und Rinde wird ein Silo mit Schubbodenaustragung empfohlen. Der Schubboden ist unempfindlich auf grosse Endstücke und Fremdstoffe wie Steine. Dennoch soll vom Schnitzellieferanten die Schnitzelqualität «gesiebt» verlangt werden, da die weiterfördernden Querschnecken verklemmen können. Wo dies nicht möglich ist, z.B. bei Rinde und Spreisseln, sollten schiebende Förder-systeme eingesetzt werden.

Silogrösse und Silogeometrie:

Silogrösse und -geometrie werden bestimmt durch:

- die Forderung nach geringen Kosten
- Silogrösse für eine 5-Tagesperiode + 30 m³ Reserve, falls die Versorgungskontinuität gewährleistet ist
- die Breite einer Schubstangeneinheit von maximal 2 m. Für breitere Silos sind mehrere Schubstangen vorzusehen (Kosten!)
- die Forderung nach schmalen, schlanken Silos
- die Forderung nach einem möglichst hohen Füllgrad (Schüttwinkel des Schnitzelmaterials: 45°)
- die Gefahr der Verdichtung bei Waldhackschnitzeln: Maximalhöhe 5 m.

Silodeckel:

Aus Kostengründen ist ein nicht befahrbarer Silodeckel dem befahrbaren Deckel vorzuziehen. Manchmal spricht das Argument der geringeren Beschädigungsgefahr durch Lastwagenmanöver für den teuren, befahrbaren Silodeckel (Absprache mit Holzlieferant vor Beginn des Detailprojektes).

Statische Belastung durch den Füllinhalt:

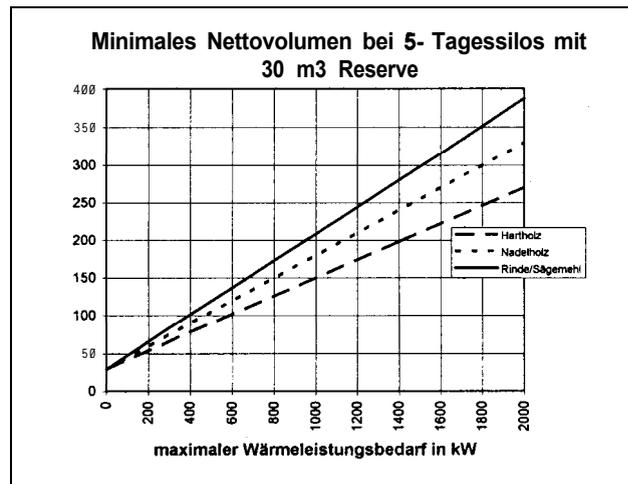
Die statische Belastung der Umfassungswände hängt vom Wassergehalt der Holzschnitzel ab. Für trockene Holzschnitzel kann eine Schüttdichte von 300 kg/Sm³ angenommen werden, bei frischen Waldhackschnitzeln ist eine solche von 500 kg/Sm³ einzusetzen. Die Silowände sind möglichst glatt auszubilden.

Montage- und Servicetüren:

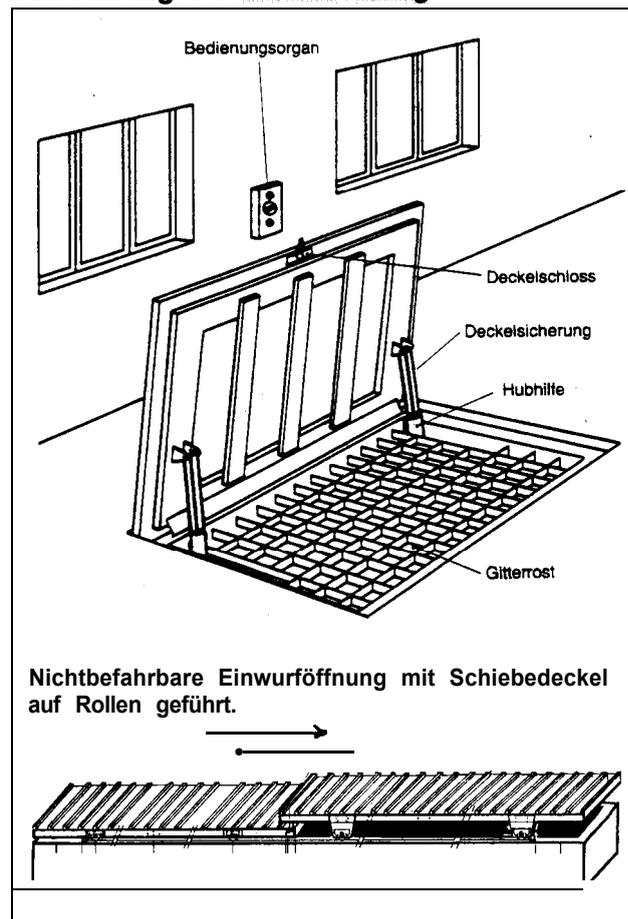
Bei Montage- und Servicetüren sind im Türfutter schräg nach oben ausziehbare Jalousien oder Lamellen vorzusehen, damit die Tür jederzeit zu Kontrollzwecken geöffnet werden kann.

Richtwert für Silogrösse:

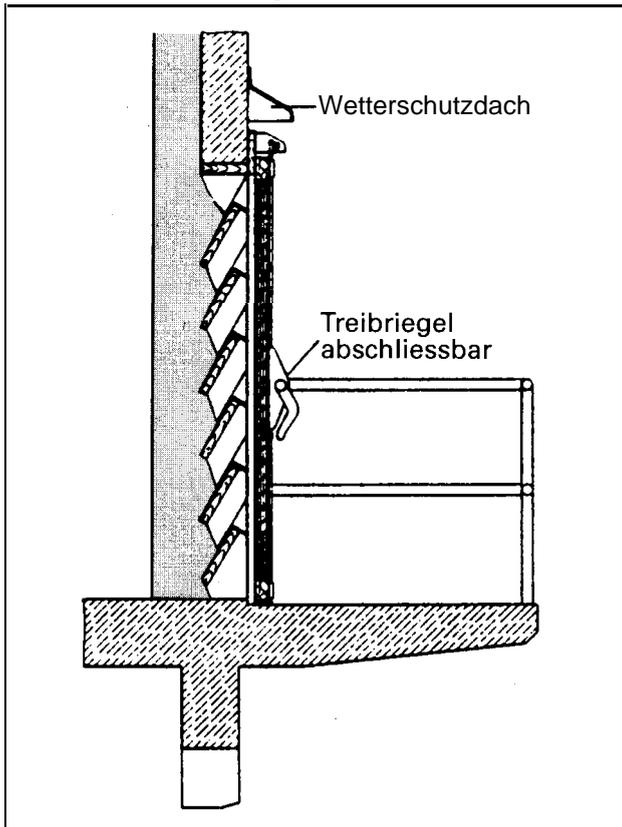
$$\text{Silogrösse} = 5 \cdot \text{max. Tagesbedarf} + 30 \text{ m}^3$$



Ausführung der Einfüllöffnung



Entnahmetüre für Spänesilo



- 1 Türfutter
- 2 ausziehbare Jalousien
- 3 abschliessbare Türe mit Treibriegel
- 4 Wetterschutz

Hinweise zum Spänesilo

Austragung und Siloform:

Trockenschnitzel und Späne mit einem Wassergehalt bis 20% werden in Spänesilos gelagert. Bei runden und quadratischen Silos eignen sich Zentrumschnecken, welche den Brennstoff ins Zentrum fördern. Konus- und Pendelsystem sind dagegen weniger geeignet.

Bei rechteckigen Silobauformen (Umbausituation) muss ein Schubstangensystem eingesetzt werden.

Silogrösse:

Die Silogrösse wird anhand der Bilanz von täglichem Energieholzbedarf und täglicher Restholzproduktion festgelegt. Dabei hat ein Spänesilo die Funktion eines Brennstoffdepots und wirkt gleichzeitig als Puffer zur Aufnahme des Materialzuflusses. Der Planer muss also abklären, wieviel Restholz in einem gewissen Zeitraum anfällt und welcher Anteil davon als Energieholz verwertet werden kann. Überschüssiges Restholz kann an Dritte geliefert werden.

Bei Silos mit Füllhöhen über 3 m kommt in SUVA-unterstellten Betrieben die SUVA-Richtlinie Form. 1875 (Richtlinien über Holzspänesilos) zur Anwendung. Neben Hinweisen zum gefahrenfreien Betrieb von Spänesilos enthält die SUVA-Richtlinie auch zahlreiche konstruktive Bestimmungen wie die Anordnung von seitlichen Stochertüren, die Ausführung von Einwurföffnungen und die Bestückung mit Einstieghilfen für Siloinspektionen im leeren Zustand.

6.5 Hydraulische Einbindung

Bekannte Grundsätze

Bei der Einbindung von automatischen Holzfeuerungen ins hydraulische Netz gelten die auch bei Öl- und Gasfeuerungen gültigen Grundsätze:

1. klare Trennung des hydraulischen Einflussbereichs der Pumpenwirkung
2. definierte Abkopplung von variablen gegenüber konstanten Kreisläufen
3. Schaffung einer ausreichenden Stellgliedautorität im hydraulischen Teil der Regelstrecke
4. Wahrung der Schutz- und Sicherheitsfunktionen für Anlage und Anlagenteile.

Übliche Rücklaufhochhaltung nötig

Um eine gute Verbrennung zu gewährleisten, muss die Kesselwassertemperatur zwischen 70 °C und 80 °C betragen. Die minimale Rücklauftemperatur am Kesseleintritt darf 60 °C nicht unterschreiten, damit der Abgastaupunkt nicht unterschritten wird.

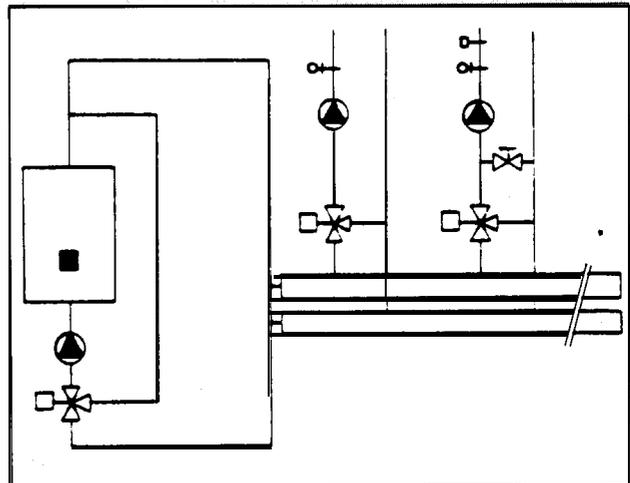
Konstanter Durchfluss über den Kessel

Eine weitere Konsequenz aus den verbrennungstechnischen Eigenschaften bei Holzkesseln ist die Forderung nach einer konstanten Durchströmung. Jede automatische Holzfeuerung hat einen unteren Grenzpunkt der Leistungsabgabe. Wird dieser unterschritten, fällt der Kessel in den Zustand der Glutbetherhaltung. Auch in diesem Zustand produziert die Feuerung eine gewisse Wärmemenge, welche durch das Netz aufgenommen werden muss.

Wärmeabgabe bei Glutbetherhaltung

Produziert die Feuerung am untersten Leistungspunkt immer noch mehr Wärme als durch das Netz abgeführt wird (meist am Ende der Heizperiode), fällt sie in den Zustand der Glutbetherhaltung. Dabei wird gerade soviel Brennstoff gefördert, dass ein zündfähiges Glutbett erhalten bleibt. In diesem Zustand gibt die Feuerung ca. 5% der Nennleistung ans Netz ab. Wenn diese Restleistung vom Netz nicht aufgenommen werden kann, geht der Kessel auf Übertemperatur und die Feuerung wird abgestellt. Daraufhin wird ein neuerliches Anfeuern notwendig. Um dies zu verhindern, sollen die Verbraucherventile im Zustand der Glutbetherhaltung nicht ganz schliessen.

System ohne Speicher mit Beimisch-Schaltung



Anforderungen:

- Druckverlust im Verteiler bzw. Sammler möglichst klein
- Restwärmeausstoss bei abgestellter Anlage muss gewährleistet sein. Falls Temperatur im Kessel zu hoch wird, müssen Verbraucherventile geöffnet werden.
- Förderung der Kesselkreispumpe (primärseitig) > Summe aller Verbraucherströme
- dicht schliessende Beimischventile

Bedingung:

Leistungsanpassung auf Seite der Brennstoffzufuhr.

Anwendung:

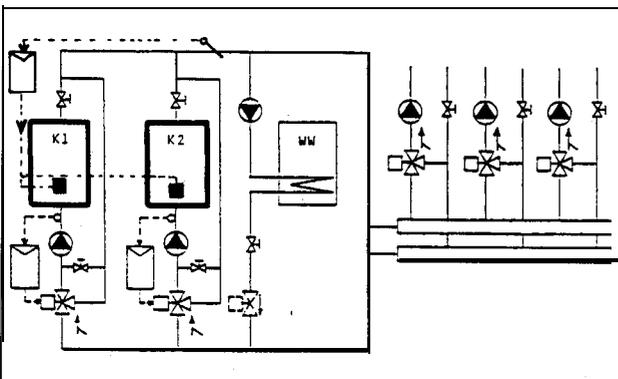
Grundsätzlich bei allen Systemen ohne Speicher.

Monovalente Mehrkesselanlagen

Bei grösseren Anlagen (ab ca. 1'000 kW) drängt sich zur Verbesserung der Auslastung die Lastaufteilung auf zwei oder mehrere Kessel auf. Bei hohem Leistungsbedarf arbeiten beide Kessel parallel, bei geringem Bedarf ist nur einer in Betrieb.

Die Vorlauftemperatur ist die Führungsgrösse der Folgeregelung, die das Signal für das Zu- oder Abschalten des zweiten Kessels erteilt. Die Zuschaltung kann manuell durch den Anlagenwart oder automatisch durch Heissluftgebläse erfolgen. Die Zündautomatik ist teuer und verursacht einen hohen Stromverbrauch.

Wie bei jeder Folgeregelung ist zu beachten, dass die Vorlauftemperatur mit zunehmendem Leistungsbedarf sinkt bzw. mit abnehmendem Bedarf steigt. Massgebend für die Schwankungsbreite der Vorlauftemperatur ist der Schaltabstand des Folgebefehls und das p-Band der Leistungsregelung der automatischen Feuerung.



Vorteile:

- höhere Betriebssicherheit
- bessere Auslastung
- höherer Jahresnutzungsgrad
- geringere Emissionen

Nachteile:

- teurer als Einkesselanlage
- grosser Platzbedarf

Mehrkesselanlagen

Bei grösseren Leistungen (ab ca. 1 MW) ist eine Leistungsaufteilung auf mehrere Kessel sinnvoll.

Die untere Grenze der Leistungsregelung von automatischen Holzfeuerungen liegt je nach Feuerungstyp bei 20% bis 30%. Dies hat zur Folge, dass ein einzelner Kessel in der Übergangszeit oft im Glutbetherhaltungsbetrieb ist. Bei feuchten Holzsortimenten können dabei Probleme auftreten, indem die Glut trotz Gluterhaltung erlischt und die Feuerung auf Störung geht. Nach Wochenenden muss der Kessel jeweils wieder angefeuert werden, Warmwasserspeicher und Heizkörper sind kalt.

Zur Abdeckung der Schwachlast oder zur Deckung von Lastspitzen kann bei grösseren Anlagen die Kombination mit einem Ölkessel sinnvoll sein.

Speicher zur Abdeckung von Schwachlast

Kommt eine Aufteilung auf mehrere Kessel nicht in Frage (zu teuer, Anlage zu klein), so besteht die Möglichkeit, das Schwachlastverhalten durch das Einbinden eines technischen Speichers zu verbessern. Auch bei Gluterhaltung ist dann die Wärmeabgabe sichergestellt, bis der Speicher geladen ist. Sollte die Glut bei vollem Speicher ausgehen, entsteht kein sofortiger Heizunterbruch.

Jeder Speicher verursacht zusätzliche Wärmeverluste. Die Bereitschaftsverluste der Wärmeerzeugung nehmen dadurch zu und der Jahresnutzungsgrad wird schlechter. Aus diesem Grund soll ein Speicher nur in begründeten Fällen eingesetzt werden.

6.6 Steuerung und Regelung

Anpassung der Feuerungsleistung an die Wärmelast

Die Wärmeabgabe einer automatischen Holzfeuerung kann der momentanen Wärmelast angepasst werden, indem die Zudosierung des Brennstoffs verändert wird. Bei Unterschubfeuerungen erfolgt dies entweder durch eine mehrstufige oder stufenlose Variation der Drehzahl der Dosierschnecke oder durch eine Anpassung des Verhältnisses von Arbeits- zu Pausenintervall. Bei Rostfeuerungen erfolgt zusätzlich eine Anpassung der Rostbewegungen. Die Führungsgröße ist die Kesselwassertemperatur. Zu beachten ist, dass die Kesselwassertemperatur innerhalb des Regelbereiches von ca. 6 °C schwankt.

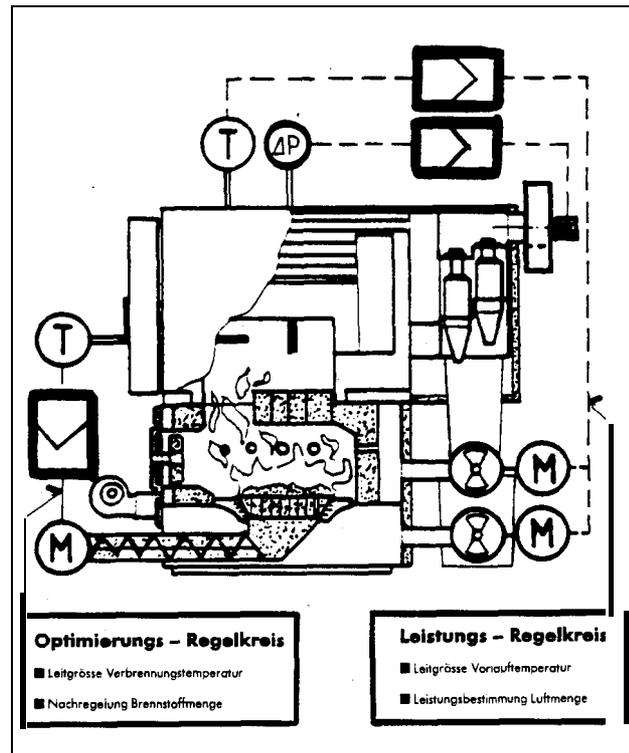
Folge: Hohe Last bedeutet tiefere Kesselwassertemperatur, tiefe Last höhere Kesselwassertemperatur.

Optimale Verbrennung im ganzen Leistungsbereich

Bei der Produktwahl ist darauf zu achten, dass die Regel- und Steuerfunktionen der Feuerung heute meist in einer SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) zusammengefasst – auch tatsächlich die gestellten Aufgaben erfüllen. Folgende Funktionen sollen innerhalb der SPS übersichtlich unterschieden sein:

1. Betriebsfunktionen:
Anfeuerungs-, Normal- und Revisionsbetrieb
2. Steuer und Regelfunktionen:
Siloaustragung, Dosiereinrichtung der Feuerung, Querfördereinrichtungen (bei Förderschnecken wenn möglich Handschalter vor/zurück)
3. Sicherheitsfunktionen:
Kesselsicherheitsthermostat, Rückbrandauslösung, Überwachung Ölhydraulik, Signalwetermeldung, Eingang für externe Notschalter.

Übersicht über die Steuer und titionen am Beispiel der Leistungsregelung bei einer Unterschubfeuerung:



Betriebsmeldungen:

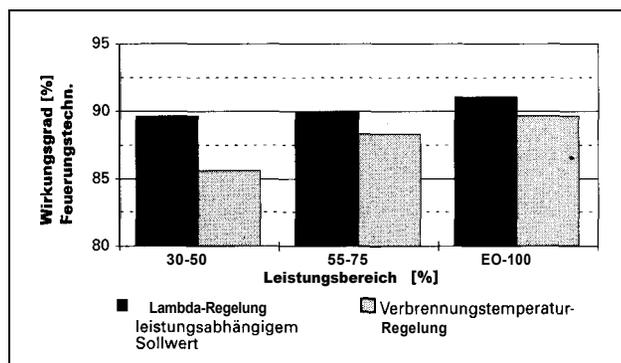
- Anfeuerungsbetrieb
- Normalbetrieb über Verbrennungsautomatik
- Revisionsbetrieb (Entaschung)

Störmeldungen:

- Abgastemperatur zu tief
- Kesselübertemperatur
- Motorschutz Beschickungseinrichtungen
- Ölstand Hydraulik
- Rückbrandsicherung ausgelöst

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Funktion des Leistungsbereichs

Mittelwerte über mehrwöchigen Praxisbetrieb an einer 1 MW Holzfeuerung



Vergleich zwischen *Verbrennungstemperatur-Regelung* und *Lambda-Regelung mit leistungsabhängigem Sollwert*

Zukünftige Regelstrategien

Zur Gewährleistung eines emissionsarmen Betriebs mit hohem Wirkungsgrad muss eine automatische Holzfeuerung mit einer Verbrennungsregelung ausgerüstet sein. Dazu wird in der Regel

Regelung eingesetzt.

Die Temperatur bzw. der Luftüberschuss erlaubt allerdings nur eine indirekte Aussage über die Verbrennungsqualität. Neuere Regelstrategien verwenden deshalb Sensoren, welche die Verbrennungsqualität direkt erfassen. Dazu gehört die CO/Lambda-Regelung, die zur Zeit an einer Pilotanlage untersucht wird. Die bisherigen Erfahrungen zeigen eine beachtliche Reduktion der CO-Emissionen. Ausserdem wird der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Anlage vor allem im Teillastbetrieb verbessert.

Schaltschrank

Der Lieferant einer Feuerung liefert den Schaltschrank mit allen für den Betrieb und die Überwachung der Feuerung notwendigen Regel- und Steuerapparaten.

Der Planer muss sicherstellen, dass auch andere, nicht zum Lieferumfang der Feuerung gehörende Regel- und Steuergeräte im Schaltschrank Platz finden und ins Gesamtschema integriert werden:

- Kesseleintrittsregelung und Regelung weiterer Kessel bei Mehrkesselanlagen
- Kesselfolgeschaltung bei Mehrkesselanlagen
- allfällige Fernleitungsregelungen bei Anlagen im Wärmeverbund
- Leistungsmessung und Wärmezähler
- externe Stör- und Betriebsmeldungen
- Stör- und Betriebsweitermeldung (Personensuchanlage, Haupttableau, Leitsystem).

Die Regelapparate der Verbraucher finden jedoch meist keinen Platz im Schaltschrank der Wärme-erzeugung und sollen separat untergebracht werden.

Häufig ist der Feuerungshersteller kein Spezialist im Erstellen von Gesamtschemas. Von seiner SPS existiert oft nur eine Standarddokumentation, welche auf die jeweilige Anlage angepasst wird. Es ist daher zweckmässig, wenn der Planer die Ausarbeitung des Gesamtschemas durch den Regelspezialisten vornehmen lässt. Der Regelspezialist integriert **die** SPS in angemessener Form in das Gesamtschema.

6.7 Sicherheitseinrichtungen für Anlage, Heizraum und Silo

Besondere Aspekte bei Holzfeuerungen

Nebst den zu jeder Heizungsanlage gehörenden Sicherheitseinrichtungen, nämlich:

- Verhinderung eines unzulässigen Druckanstiegs im hydraulischen Netz
- Verhinderung von Brandausbreitung vom Heizraum in umliegende Räume (insbesondere Ausbreitung zum Brennstofflager)
- Verhinderung gefährlicher Gaskonzentrationen im Heizraum (Abgas und Wärmeträger)

bestehen bei automatischen Holzfeuerungsanlagen zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen:

- Verhindern gefährlicher Gärgaskonzentrationen im Siloraum
- Zusätzliche Sicherungsmassnahmen zur Verhütung einer Brandausbreitung insbesondere von der Feuerung zum Brennstofflager
- Eindämmen der Brandentwicklung in Silos mit trockenem, leicht brennbarem Material (Späne).

Verhindern gefährlicher Gärgaskonzentrationen

Sowohl im Silo als auch im Heizraum können sich schwere Gärgase ausbreiten, die bei der Lagerung von feuchten Holzschnitzeln entstehen. Beide Bereiche müssen mit geeigneten Lüftungseinrichtungen geschützt werden. Oftmals kann die Lüftungseinrichtung kombiniert werden:

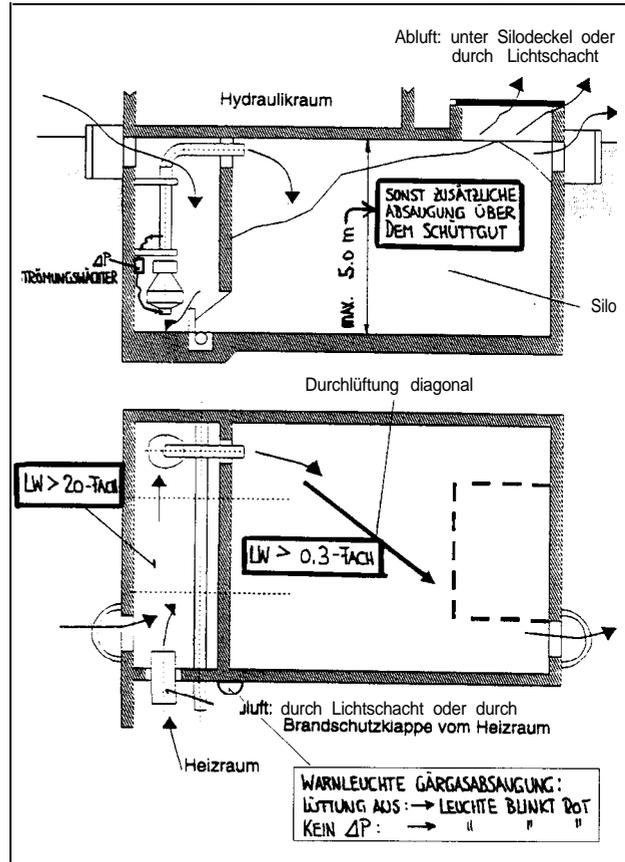
Kombinierte Heizraum- und Silobelüftung

Aussenluftströmt durch eine Wetterschutzjalousie in den Heizraum. Ein Teil der Luft wird für die Verbrennung von den Feuerungsgebläsen abgezogen, der Rest strömt durch die Brandschutzklappe in den Hydraulikraum und wird durch eine Lüftungsanlage mechanisch in den Schnitzelsilo gefördert.

Vorteil: Die Luft wird im Heizraum vorgewärmt und hilft beim Trocknungsvorgang der Schnitzel.

Bei der Platzierung der Abluftöffnung ist darauf zu achten, dass Gärgase unangenehm riechen. Es empfiehlt sich, die Siloabluft mit einer separaten Absauganlage über Dach zu führen.

Vorsicht bei Gärgasen → Silolüftung nötig



Betreten des Hydraulikraums nur bei eingeschalteter Lüftungsanlage

Die Signallampe soll bei ausgeschalteter Lüftung rot, bei Betrieb grün leuchten.

Dimensionierung der Lüftungseinrichtung

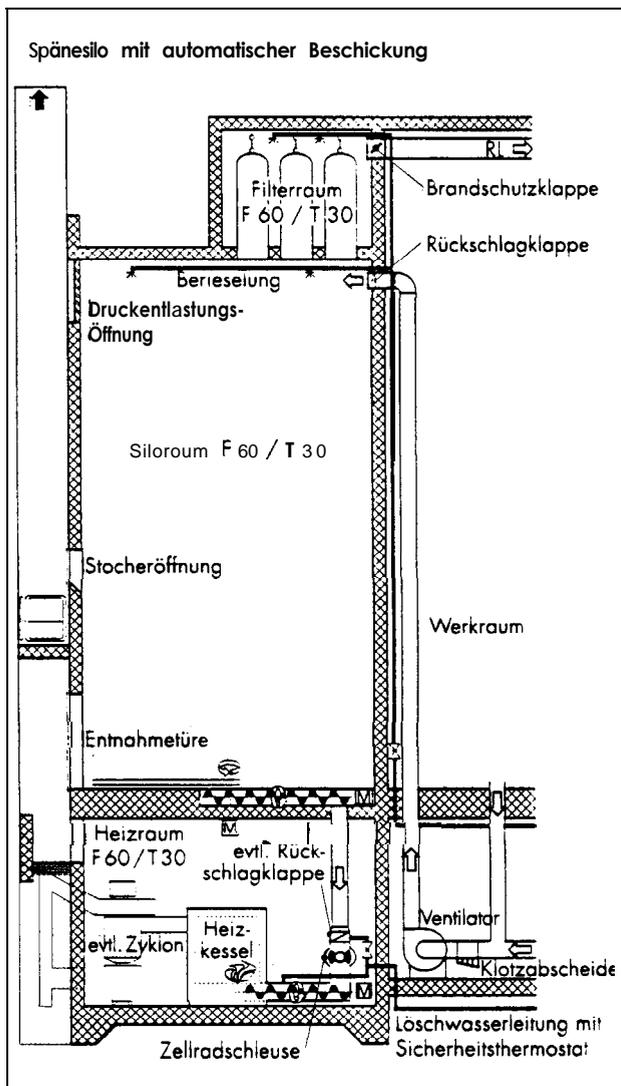
$$\text{Zuluftmenge Silo: } \dot{V} = V \times LW \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

V: Siloinhalt in m^3

LW: Luftwechsel im Silo min. 0.3-/Stunde

Luftwechsel im Hydraulikraum min. 20-/Std

Rückbrandsicherung, Brandschutzklappe und Zellradschleuse



Einrichtungen zur Brandverhütung

Zellradschleuse

Die Zellradschleuse besteht aus einem mehrflügligen Schleusenrad, das in einem Metallgehäuse eingebaut ist. In der Regel wird sie im Fallschacht der Brennstoffzuführung plaziert. Der Antrieb erfolgt mittels Elektromotor, welcher mit den Fördermotoren gekoppelt ist. Im Stillstand sperren die Radflügel den Brennstoffdurchgang ab und verhindern damit einen eventuellen Rückbrand.

Im druckbeaufschlagten Spänesilo trennt die Zellradschleuse das Silo vom drucklosen Transportsystem.

Rückbrandsicherung

Bei der Rückbrandsicherung wird durch einen Temperaturlöser Leitungswasser in den Brennstoffkanal gespritzt, um im Auslösefall einen Rückbrand zum Vorratsbehälter oder zum Silo zu verhindern. Löschwasserventil und Temperaturlöser gehören zur Lieferung des Feuerungslieferanten. Der sanitärseitige Anschluss muss vom Planer nach Angaben des Feuerungslieferanten organisiert werden.

Brandschutzklappen

Die Brandschutzklappen werden im Fallschacht der Brennstoffzuführung eingebaut. Sie bestehen aus einem Rohrstück mit eingebauten, mechanisch betriebenen Absperrklappen. Bei Überschreitung einer einstellbaren Grenztemperatur löst ein Thermostat den Schliessvorgang aus und sperrt die Brennstoffzufuhr.

Ausdehnungsgefässe

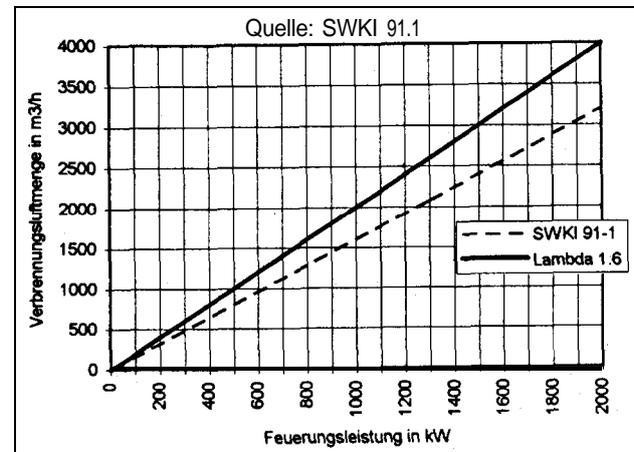
Automatische Holzfeuerungen gelten als schnell regelbar. Sie benötigen deshalb kein offenes Ausdehnungsgefäss, sondern können als geschlossene Systeme geplant werden. Die minimale Regelbarkeit des Feuerungssystems muss vom Lieferanten mittels EMPA-Test nachgewiesen werden.

6.8 Planungshinweise für Heizraum und Silo

Zufuhr der Verbrennungsluft

Die Verbrennungsluft ist direkt dem Freien zu entnehmen. Zur Auslegung findet die SWKI-Richtlinie 91-1 «Be- und Entlüftung von Heizräumen» Anwendung. Zu beachten ist allerdings, dass Feuerung und Transporteinrichtungen mehr Lärm erzeugen als Öl- und Gasfeuerungen. Die Ansaug-Öffnung für die Heizraumluft muss deshalb oft schallgedämmt werden (Schalldämm-Wetter-Schutzgitter oder noch besser Schnorchelprinzip mit integriertem Kanalschalldämpfer).

Notwendige Verbrennungsluftmenge
 Verbrennungsluftmenge für Holzfeuerungen in Abhängigkeit der Feuerungsleistung



Hinweis:

Die Kurve gemäss SWKI 91-1 ergibt zu niedrige Verbrennungsluftmengen. Mit heute üblichen Luftüberschusszahlen von 1.6 bis 2.0 ergeben sich höhere Verbrennungsluftmengen (obere Kurve).

Kamindimensionierung bei Kesseln mit Abgasventilatoren

Die Dimensionierung muss mit dem Hersteller abgesprochen werden. Einfluss auf die Dimensionierung haben:

- der Reibungswiderstand von Rauchrohr und Kamin
- die Einzelwiderstände durch Umlenkungen und Querschnittsveränderungen (siehe SIA 384/4)
- die minimale Abgasgeschwindigkeit an der Kaminmündung von 6 m/s
- der Abgasvolumenstrom (abhängig vom Heizwert des Brennstoffs, dem Luftüberschuss und der Abgastemperatur)
- die Ventilator Kennlinie des verwendeten Gebläses

Kaminhöhe über Dach:

Grundlage bildet die Richtlinie über Mindesthöhen von Kaminen des BUWAL vom 15. Dezember 1989 mit dem Änderungsnachtrag in Ziffer 32 vom 25. November 1993. Darin gilt:

Feuerungsleistung	Höhe über Immissionsniveau
71 bis 150 kW	1 m
151 bis 250 kW	2 m
251 bis 500 kW	3 m
501 bis 1000 kW	4 m
1001 bis 2000 kW	5 m
über 2000 kW	6 m

Bei begehbaren Flachdächern ist die VKF-Richtlinie «Wärmetechnische Anlagen 1993, Kap. 3.1.3» zu berücksichtigen.

Kamin

Dimensionierung

Die Kamindimensionierung erfolgt nach SIA384/4, Diagramm 4. Der Kaminlieferant wendet jedoch oft die deutsche DIN-Norm Nr. 4705 für die Auslegung des Kaminquerschnittes an und kommt so auf etwas kleinere Durchmesser und kostengünstigere Kamine. Der Planer soll jedoch durch genaue Vorgaben von

- Abgastemperatur und Druck am Kamineintritt
- Kaminhöhe und geforderte Temperatur an der Mündung
- Brennstofffeuchtigkeit

die korrekte Dimensionierung durch den Kaminlieferanten sicherstellen und den offerierten Kamin durch Rücksprache mit dem Feuerungslieferanten überprüfen.

Kaminkonstruktion

Der Taupunkt von feuchtem Holz liegt bei ca. 60 °C, d.h. die Kondensatausscheidung setzt bei höheren Temperaturen ein als bei Öl. Grundsätzlich eignen sich gut isolierte rostfreie Stahlkamine bei diesen Randbedingungen am besten.

Besondere Vorsicht ist im Sanierungsfall bei Verwendung bestehender Kamine geboten. Oft ist der Einzug eines rostfreien Kaminzugs mit Schüttisolierung die einzige Lösung. Dabei muss der Planer darauf achten, dass die Schüttisolierung fachgerecht hinterfüllt wird, wozu der Beizug eines Kaminlieferanten mit Erfahrung bei Holzfeuerungen empfohlen wird.

Emissionsmessungen gemäss LRV

Für die Emissionsmessung bei abnahmepflichtigen Anlagen (Holzfeuerungen ab 70 kW) ist im vertikalen Kaminteil ein EMPA-Normstutzen anzubringen. Vor dem Stutzen ist eine Beruhigungszone von 5 Kamindurchmessern, nach dem Stutzen eine solche von mindestens 3 Durchmessern einzuhalten.

Baulicher Brandschutz im Heizraum

Heizraum im Gebäude

Feuerung und Brennstofflager müssen in F60/T30-ausgebauten Räumen platziert werden. Türen zu anderen Räumen sind in Fluchrichtung anzuschlagen.

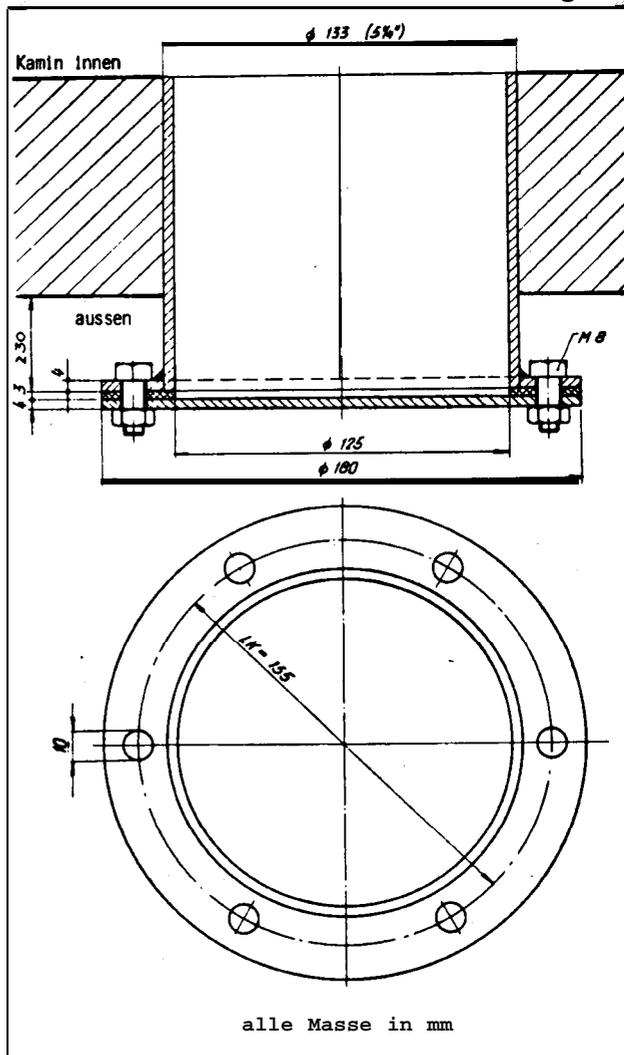
Heizraum im 2. UG

Feuerungsanlagen über 600 kW müssen einen separaten Zugang direkt ins Freie aufweisen.

Heizraum ausserhalb Gebäude

Für Heizzentralen in separaten, eingeschossigen, freistehenden oder von übrigen Bauten F 60 abgetrennten Gebäuden genügt eine nicht brennbare Ausführung.

EMPA-Normstutzen für Emissionsmessungen



Vorschriften für Brennstoffsilos

Brandschutz:

Brennstoffsilos sind so auszuführen, dass sie gegen Brand gesichert sind. Neben den VKF-Bestimmungen Ziffer 2.3.2, 4.3.1, 4.3.2 und 4.3.3 sind auch die kantonalen Brandschutzbestimmungen zu berücksichtigen.

Unfallverhütung:

Neben den Brandschutzvorschriften der VKF gelangen auch die SUVA-Richtlinien 66050 über Grünschnitzelsilos und Form. 1875 über Spänesilos zur Anwendung. Die darin enthaltenen Bestimmungen haben die Verhütung von Unfällen zum Ziel. Auch bei Siloanlagen in Betrieben, welche nicht der SUVA unterstellt sind, sollen die in den Richtlinien enthaltenen Bestimmungen eingehalten werden!

Auch bezüglich der Unfallverhütung an den Brennstoff-Fördereinrichtungen hat die SUVA entsprechende Richtlinien verfasst. So ist in Form. 1545 Umgang und Schutz bei Stetigfördereinrichtungen beschrieben. Den darin enthaltenen Merkpunkten, insbesondere:

- Verschalung von Förderschnecken
 - Ausführung von Stegen und Übergängen über Fördereinrichtungen
- ist Beachtung zu schenken.**

Silovorschriften

Ausführlich sind die Silovorschriften im Anhang zusammengefasst. Hier die wichtigsten Punkte:

- durch Brennstoffsilos und Filterräume dürfen keine Kamine, Warmwasser, Heisswasser- und Dampfleitungen geführt werden
- Staubfilter sind in einem separaten F 60 erstellten Raum zu plazieren
- Rückluft- und Nachströmöffnungen im Silo oder Filterraum sind mit Brandschutzklappen zu versehen, welche im Brandfall selbständig schliessen
- Spänesilos und Filterkammern sind mit stationären Löscheinrichtungen {Sprinkler- oder Sprühflutanlage) auszurüsten. Ausnahmen bilden **Spänesilos aus Stahl**. Massnahmen sind mit der örtlichen Feuerpolizei abzusprechen.
- an der Mündung pneumatischer Förderleitungen sind Brandschutzklappen einzubauen.

7 Projektausführung

7.1	Kritische Punkte während der Realisierung	127
	Versetzen der Silo-Einlegeteile	127
	Anschluss der Abgasanlage an den Kamin	127
7.2	Vorbereitung der Inbetriebnahme	128
	Erstmaliges Einfeuern	128
	Erste Silofüllung	128
	Sicherstellen der Wärmeabgabe	128
7.3	Vorbereitung der Abnahme	129
	Einstellung der Feuerung	129
	Behördliche Emissionsmessung	129
7.4	Instruktion und Dokumentation des Anlagenbetreibers	130
	Probetrieb	130
	Abnahme	131



7 Projektausführung

7.1 Kritische Punkte während der Realisierung

Versetzen der Silo-Einlegeteile

Bereits in einer **frühen** Bauphase müssen Verankerungsprofile und Führungsschienen für die Siloaustragung versetzt werden. In der Regel erstellt der Statiker hierfür den Silobau notwendigen Schalungs- und Armierungspläne und integriert dabei die statischen Elemente des Austragungssystems. Der Planer koordiniert die Lieferung von Baumeister und Feuerungslieferant und überprüft die Silopläne des Statikers.

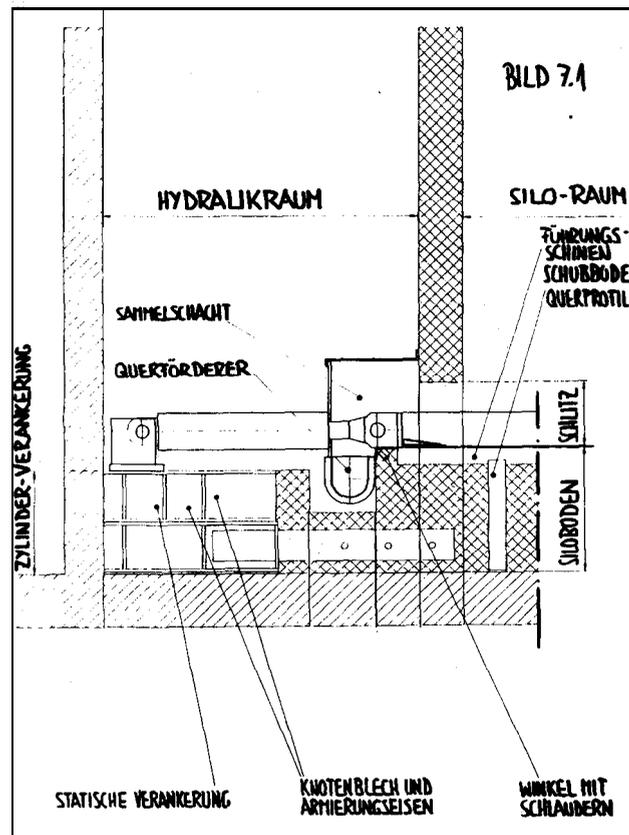
Die Einlegeteile der Siloaustragung werden vom Feuerungslieferanten versetzt. Er stimmt den Montagezeitpunkt mit dem Baumeister ab. Gerade in dieser heiklen Ausführungsphase soll der Planer das richtige Zusammenwirken zwischen Baumeister und Feuerungslieferant vor Ort sicherstellen.

Anschluss der Abgasanlage an den Kamin

Eine weitere kritische Nahtstelle befindet sich zwischen Feuerung und Kamin. Der Kamin soll vor der Montage von Kessel und Feuerung gesetzt werden. Der Feuerungslieferant schliesst nach der Kesselmontage den Flugascheabscheider mit geeigneten isolierten Rauchrohren an den Kamin an. Standort und Lieferzuständigkeit des EMPA-Messstutzensollschonim Detailprojekt festgelegt werden. Der Planer kontrolliert am Bau die Richtigkeit von Installation und Lieferung:

- Kontrolle der Dichtheit der Rauchrohrverbindung. Oft sind die Nahtstellen zu wenig gut gedichtet. Folge: Schwarze Pechstreifen nach wenigen Betriebsstunden.
- Kontrolle, ob das Niveau der Kaminmündung den Auflagen entspricht.
- Überprüfung der Liefervollständigkeit: Auffangbehälter und rostfreier Absperrkugelhahn am Kamin fuss, Reinigungszubehör und Nebenluftvorrichtung.

Versetzen von statischen Schubdementen



Festhalten der wichtigsten Voreinstellungen.

1. Schaltpunkt Feuerung: Ein: . . . /Aus:
2. Laufzeit Feuerunterhalt
3. Laufzeit Dosierschnecke
4. Laufzeit Schubboden
5. Einstellung Sondenverzögerung
6. Einstellung Abgastermostat
7. Sollwert Feuerraumunterdruck
8. Sollwert Verbrennungstemperatur
9. Sollwert Vorlauftemperatur

Checkliste vor Inbetriebnahme:

- Heizsystem mit Expansionsgefäß gefüllt (Wärmeabgabe betriebsbereit)?
- Verrohrung richtig ausgeführt?
- Kesselpumpe funktionstüchtig?
- Rücklaufhochhaltung betriebsbereit?
- Fühlerplatzierung richtig?
- Sicherheitsthermostat richtig eingestellt?
- Sicherheitsventil montiert?
- Sanitäranschlüsse, Rückbrandsicherung, Ablaufsicherung installiert und betriebsbereit?
- Elektrische Anschlüsse inkl. Sicherheitskette auf Funktionstüchtigkeit überprüft?
- Kamin und Kaminanschluss in Ordnung?
- Kaminzug bzw. Unterdruck im Feuerraum ausreichend?
- Fördersystem auf Funktion überprüft?

7.2 Vorbereitung der Inbetriebnahme

Erstmaliges Einfeuern

Gerade bei Waldholzfeuerungen soll darauf geachtet werden, dass für das erstmalige Anfeuern genügend trockenes Schnitzelmaterial zur Verfügung steht. Da die Schamottierung der Feuerung noch nicht vollständig ausgetrocknet und die gesamte Abgas- und Kaminanlage kalt ist, kann es bei der erstmaligen Inbetriebnahme bei zu feuchten Schnitzeln Probleme geben: Der **Abgastermostat** schaltet die Feuerung mit der Meldung «Abgastemperatur zu tief» ab.

Erste Silofüllung

Der Brennstoffsilos soll zunächst maximal zu einem Drittel befüllt werden. Sofern Probleme mit dem Austragungssystem auftreten, braucht nicht der gesamte Siloinhalt ausgeschaufelt zu werden.

Um der Brückenbildung vorzubeugen, soll vor der ersten Füllung genügend Zeit zur Austrocknung des Silobetons eingerechnet werden. Eine zweiwöchige Trocknungsphase gilt dabei als Minimum. Vor dem Füllvorgang sind Funktion und Ausführung des Austragungssystems sowie die Oberflächengüte des Silobodens durch den Feuerungslieferanten zu prüfen. Der Feuerungslieferant gibt anschliessend dem Planer die Freigabe zur Erstfüllung. Vor der Füllung ist im Siloinnern eine Baureinigung durchzuführen.

Sicherstellen der Wärmeabgabe

Bei Holzfeuerungen muss während der Inbetriebsetzung eine ausreichende Wärmeabgabe an die Verbrauchergruppen garantiert sein. Der Inbetriebsetzungsfachmann der peripheren Regeleinrichtungen und der Elektriker sollen bei der Inbetriebnahme anwesend sein.

Die eingeplante Zeit für die Inbetriebnahme soll ausreichend bemessen werden. Je nach Anlagen gröÙe ist ein halber bis ein ganzer Tag vorzusehen. Im Anschluss an die Inbetriebnahme muss der Planer sicherstellen, dass der Anlagebetreiber vom Feuerungslieferanten für die nachfolgende Erprobungsphase vollständig **instruiert wird**. Dazu soll ein Vorabzug der Betriebsanleitung abgegeben werden.

7.3 Vorbereitung der Abnahme

Einstellung der Feuerung

Mit Hilfe geeigneter Emissionsmessgeräte ist durch den Feuerungslieferanten eine Optimierung der Feuerungseinstellung vorzunehmen. Die Qualität des Energieholzsortiments hat dabei einen grossen Einfluss auf den Verbrennungsvorgang und die daraus resultierenden Emissionen. Die Abhängigkeit des CO-Wertes vom Luftüberschuss muss daher in jeder einzelnen Anlage vom Lieferanten der Feuerung ausgemessen und dann eingestellt werden. Bei modernen Feuerungsregelungen erfolgt dies durch Einstellung der entsprechenden Primär- und Sekundärluft-Sollwerte an der SPS.

Bestimmte Optimierungsschritte können auch durch den Anlagenbetreiber selber erfolgen; etwa die Optimierung des Verhältnisses von Laufzeit zu Laufpausen der Dosiervorrichtung für ein **verbessertes Verhalten bei der Glutbetherhaltung. Dieses hängt vom Heizwert und der Feuchtigkeit des Brennstoffs ab.**

In jedem Fall sollen aber solche Optimierungsschritte mit dem Feuerungslieferanten abgesprochen und fachgerecht protokolliert werden.

Behördliche Emissionsmessung

Holzfeuerungen ab 70 kW benötigen vor der Aufnahme des ordentlichen Feuerungsbetriebs eine behördliche Betriebsbewilligung. Diese ist an ein erfolgreiches Bestehen der Abnahmemessung geknüpft.

Ist nach Abschluss der Erprobungsphase die Feuerung optimal eingestellt und liegen die entsprechenden Abgasmessungen durch den Lieferanten vor, so kann die Anlage zur behördlichen LRV-Messung angemeldet werden. Die Behörde bestimmt den Zeitpunkt der Abnahmemessung und führt diese entweder selbst durch oder beauftragt ein zugelassenes neutrales Messinstitut.

Die notwendigen Emissionsmessungen richten sich nach den Auflagen der LRV und werden durch Feuerungsleistung und Holzsortiment bestimmt. Nach der Abnahmemessung muss in der Regel alle zwei Jahre eine Kontrollmessung durchgeführt werden.

Grobbeurteilung durch den Betreiber

Ohne geeignete Messgeräte kann die Qualität der Verbrennung nicht ausreichend beurteilt werden. Trotzdem soll der Betreiber einer automatischen Holzfeuerung grobe Fehler im Verbrennungsvorgang erkennen können:

- Feststellen zu hoher Verbrennungstemperaturen durch Sollwert/Istwert-Vergleich am Display
- Rauchentwicklung an der Kaminmündung
- Feststellen zu tiefer Abgastemperaturen (öfters Störmeldung «Abgas zu tief»)
- Pechrückstände im Kaminabfangbehälter oder an Rauchrohrnahtstellen
- Vergleich des Flambildes mit Bildern optimaler Einstellungen

Visuelle Flammenbeurteilung:

- lange wolkige Flamme deutet auf zu tiefen Luftüberschuss
- kurze und harte Flamme deutet auf zu hohen Luftüberschuss
- viele Einzelflammspitzen statt geschlossene Flamme deutet auf zu hohen Luftüberschuss
- hellgelbe Flamme weist auf **hohe Verbrennungstemperaturen hin**

Mittels visueller Beurteilung sind nur grobe Fehleinstellungen erkennbar. Ob die Verbrennung gut ist, kann visuell nicht beurteilt werden.

Was wird durch die Behörde gemessen

Im Bereich der Feuerungsleistungen von 70 kW bis 5 MW werden folgende Messungen durchgeführt:

bis Feuerungsleistung 1 MW:

1. CO-Konzentration im Abgas
2. Staubgehalt im Abgas

Bei Kontrollmessungen kann bei bestandenerm CG-Grenzwert auf eine weitere Staubmessung verzichtet werden.

1 M W bis 5 M W Feuerungsleistung zusätzlich:

1. NO_x-Konzentration im Abgas
2. Kohlenstoffgehalt im Abgas

Die Kosten der Messung liegen je nach Feuerungsgrösse zwischen Fr. 800.- und 1500.-. Sie sind vom Anlagenbesitzer zu entrichten.

Was ist in der Erprobungsphase besonders zu instruieren**Betriebsarten des Kessels:**

- Anfeuerung des Kessels im Anfeuerungsmodus
- Übergang zum Normalbetrieb, mögliche Störungsursachen
- Vermeiden zu tiefer Abgastemperaturen
- Betrieb während Reinigungsvorgängen
- wann muss der Kessel abgestellt werden und wie sind die Wärmeverbraucher abzuschalten

Betrieb der Fördereinrichtungen:

- Vermeiden von Unfällen, Sicherheitsbestimmungen
- Funktion und mögliche Störungsursachen

Brennstofflager:

- Funktion der Beschickung, Beschickungsintervalle und Füllvorgang
- Vermeiden von Unfällen mit Gärgasen
- Vermeiden von Unfällen mit Transport und Fördereinrichtungen

Verhalten bei Störungen:

- Störungs- und Alarmierungskonzept
- was kann selber behoben werden
- wer muss wann verständigt werden

7.4 Instruktion und Dokumentation des Anlagenbetreibers

Probetrieb

Unmittelbar nach der Inbetriebnahme folgt in der Regel eine Erprobungsphase, während der die Feuerungs- und Anlageeinstellung optimiert wird und der Betreiber Gelegenheit hat, mit dem Holzfeuerungs-system vertraut zu werden. Es ist wichtig, dass der Betreiber in dieser Phase durch den Feuerungslieferanten und den Planer unterstützt wird. Dazu gehört eine Vorinstruktion des Betreibers unmittelbar nach der erfolgreichen Inbetriebnahme. Die Vorinstruktion soll anhand des Betriebshandbuches erfolgen. Meist liegt das Handbuch noch nicht in seiner endgültigen Version vor (Revisionschema fehlt, Wartungskonzept noch im Entwurfszustand etc.). Es genügt aber vollauf, anhand eines Entwurfs zu instruieren. Dabei stehen die korrekte Handhabung der Schaltfunktionen, das Einhalten der Sicherheitsbestimmungen und das Verhalten bei Störungen im Vordergrund der Informationsvermittlung.

Voraussetzung für die reibungslose Aufnahme des Heizbetriebes ist die Bestimmung eines verantwortlichen Anlagenwartes, welcher entsprechend instruiert worden ist.

Oftmals erhält der Anlagebetreiber gerade in dieser heiklen Betriebsphase zu wenig Unterstützung und verhält sich im Umgang mit dem neuen System falsch → es kommt zu unnötigen Vorurteilen.

Abnahme

Spätestens bei der **Abnahme** sollen die definitiven Betriebsunterlagen abgegeben werden. Während der Erprobungsphase vorgenommene Änderungen an der Betriebseinstellung sollen dokumentiert und auf den neusten Stand nachgeführt sein. Oftmals werden Revisions- und Betriebsunterlagen im konventionellen Anlagebau erst nach der Abnahme nachgereicht. Es wird dabei vergessen, dass die Verantwortung mit der erfolgreichen Schlussabnahme an den Bauherrn übergeht. Das kann zu rechtlichen Problemen führen, wenn der Bauherr nachweisen kann, dass er ungenügend auf seine Verantwortungsaufgabe vorbereitet worden ist; fehlt eine klare Betriebsanleitung, ist dies der Fall!

Bei automatischen Holzfeuerungsanlagen ist die Sicherheitskette umfangreicher als bei konventionellen Anlagen. Dem Vermeiden von Unfällen, zum Beispiel im Siloraum oder an Austragungs-einrichtungen, ist in der Betriebsanleitung besondere Beachtung zu schenken.

Was muss eine Betriebsanleitung zusätzlich für Informationen enthalten

Verhalten bei Störungen:

- Störungs- und Alarmierungskonzept
- Verhalten bei Störungen und Meldeliste
- Tabelle als Störmeldeprotokoll

Sicherheitseinrichtungen:

- Sicherheitstechnische Ausrüstung
- Sicherheitsbestimmungen
- Vermeiden von Unfällen mit Gärgasen
- Vermeiden von Unfällen an Fördereinrichtungen

Betrieb der Feuerungsanlage:

- Kontrollen vor Inbetriebnahme
- Schalterstellungen und Wirkungen
- Feuerungsarten, Revisionsbetriebsarten

Wartungsplan:

- Reinigungs- und Entschungsfahrplan
- Abgrenzung zu Revisionsarbeiten von Dritten



8 Betrieb

8.1	Bedienung und Betrieb	135
	Kontrollen	135
	Inbetriebnahme	135
	Betrieb einer automatischen Holzfeuerung	135
	Anlagenwartung	135
	Vorgehen bei Störungen	136
8.2	Die Abnahme	137
	Zweck	137
	Verantwortung und Teilnehmer	137
	Ablauf	137
	Notwendige Unterlagen und Hilfsmittel	137
	Interpretation und Entscheidungen	137
	Kontrollprotokolle	138
	Beginn	138
	Folgen	138
8.3	Der Service-Vertrag	138



8 Betrieb

8.1 Bedienung und Betrieb

Kontrollen

Vor der Inbetriebnahme des Kessels sind folgende Funktionen zu kontrollieren:

1. Silobelüftung
2. Qualität des Energieholzsortiments und Vorrat
3. Brandschutzeinrichtungen
4. Sicherheitsfunktionen (Not-Aus)
5. Heizanlage mit Ausdehnungsgefäss mit Wasser gefüllt
6. Sicherheitsorgane
7. Kesselzirkulationspumpe und Drehrichtung
8. Alle Absperrventile am Kessel und in der Anlage geöffnet
9. Alle nicht benutzten Stutzen am Kessel sind mit Verschlusszapfen oder Flanschen dicht verschlossen
10. Das Fernleitungsnetz ist dicht, gefüllt und entlüftet.

Inbetriebnahme

Zum Starten der automatischen Holzfeuerung müssen die Vorschriften aus dem Handbuch des Lieferanten beachtet werden.

Betrieb einer automatischen Holzfeuerung

Die wichtigsten Voraussetzungen für einen einwandfreien Betrieb einer automatischen Holzfeuerung sind:

1. Nur Energieholzsortimente verwenden, für welche die Feuerung geeignet ist und für welche sie einreguliert wurde.
2. Die Brennstoffqualität sollte konstant sein und möglichst keine Fremtteile enthalten.
3. Regelmässige Anlagenwartung gemäss Anweisung des Lieferanten ist nötig (evtl. Servicevertrag).

Anlagenwartung

Die wichtigsten Wartungsarbeiten bei einer automatischen Holzfeuerung sind:

- Entsorgung der Asche
- Reinigung der Wärmetauscherfläche und des Feuerraums
- periodischer Service durch den Kessellieferanten.

Entsorgung der Asche

Vom eingesetzten Holz müssen ca. 0.5 bis 1% des Brennstoffgewichts als Asche entsorgt werden, bei Rinde ist der Anteil höher (bis ca. 2-3%). Als Richtwert pro 100 m² Energiebezugsfläche gelten rund 50-100 kg Asche pro Heizperiode.

Ein automatischer Aschenausrag wird vor allem bei Grossanlagen eingesetzt. Die Kessellieferanten bieten die nötigen Hilfsgeräte an.

Reinigung der Wärmetauscherfläche und des Feuerraumes

Verschmutzte Wärmetauscherflächen verschlechtern die Wärmeübertragung an das Heizungswasser. Die Folgen sind eine erhöhte Abgastemperatur und damit erhöhte Abgasverluste.

In den Betriebsunterlagen des Kessellieferanten ist die Kesselreinigung beschrieben und es ist festgelegt, wie oft eine Reinigung nötig ist. Das Reinigungsintervall ist abhängig vom Brennstoff und vom Betriebszustand der Anlage. In der Regel beträgt das Intervall zwei bis drei Wochen. Ein guter Indikator für den Zustand der Anlage ist die Abgastemperatur, die deshalb regelmässig überprüft werden sollte.

Für die Wartung einer Feuerung mit automatischer Entaschung und einer Leistung von 500 kW – 1000 kW ist mit einem mittleren Arbeitsaufwand von 1 bis 2 Stunden pro Woche zu rechnen. Eine regelmässige tägliche Kontrolle der Anlage ist erforderlich, da durch die wechselnde Qualität des Brennstoffs Störungen nicht auszuschliessen sind.

Servicearbeiten

Ein Service sollte bei allen Anlagen regelmässig durchgeführt werden.

Bei automatischen Kleinfeuerungen können die meisten Unterhaltsarbeiten vom Anlagenbetreuer selbst vorgenommen werden. Voraussetzung dafür sind allerdings genaue Angaben in der Betriebsanleitung des Lieferanten. Eine Einregulierung der Feuerung (optimaler Betriebspunkt) und eine Funktionsüberprüfung sollten mindestens alle zwei bis drei Jahre durch den Feuerungslieferanten vorgenommen werden.

Bei grossen automatischen Feuerungen sollte die Anlage jährlich überprüft werden. Ein Servicevertrag garantiert die Kontinuität dieser Arbeit. Im Sommer ist das Fördersystem zu prüfen und zu warten. Die Feuerung muss während der Heizperiode überprüft und nachreguliert werden. Auf diese Weise können Störungen auf ein minimales Mass reduziert werden.

Vorgehen bei Störungen

Das Vorgehen bei Störungen ist in der Betriebsanleitung des Lieferanten beschrieben. Mit dem Verständnis für Störungen und Kenntnissen über deren Behebung kann ein Teil der Schwierigkeiten zum voraus ausgeschlossen werden.

Beispiele aus der Praxis:

Kesselübertemperatur in der Nacht:

Bei der Absenkung oder Stilllegung des Heizkessels wurde die Restwärme des Glutbetts nicht berücksichtigt.

Abhilfe:

- weniger Material für Gluterhaltung
- Wärmebezug regeln, evtl. Speicher laden.

Abgasventilator hat zu hohe Drehzahl:

Die Drehzahl des Abgasventilators ist am Maximum und kann nicht reduziert werden.

Abhilfe:

- Abgasrohr ist defekt (Falschlufteintritt) und muss neu abgedichtet werden
- der Kessel ist stark verschmutzt (hoher Druckverlust, hohe Gasgeschwindigkeit) und muss gereinigt werden.

Ungenügende Leistungsabgabe des Holzkessels:

Abhilfe:

- System ist hydraulisch schlecht abgestimmt. Die Kesselförderpumpe ist nicht richtig ausgelegt.

Hohe Emissionen:

Ursache ist eine schlechte Verbrennung, die durch ungenügende Wartung oder ungeeigneten Brennstoff verursacht wird.

Abhilfe:

- Reinigung des Kessels
- Brennstoffsortiment kontrollieren
- Verbrennungsregelung neu einstellen.

Schlackenbildung und Abfliessen der feuerfesten Ausmauerung:

Schlacke aus Holzasche kann entstehen, wenn diese über 900 °C erhitzt wird. Das Abfliessen der feuerfesten Ausmauerung ist die Folge einer zu hohen Temperaturbelastung. Dies kann z.B. bei einer Gewölbefeuerung auftreten, die für feuchte Holzschnitzel ausgelegt wurde, jedoch mit trockenem Restholz betrieben wird. Brennstoff und Feuerungssystem müssen aufeinander abgestimmt sein.

Abhilfe:

- Übertemperatur vermeiden
Brennstoffsortiment sorgfältig auswählen
Verhältnis Primär-/Sekundärluft anpassen.

8.2 Die Abnahme

Zweck

Die Inbetriebsetzung ist erfolgreich abgeschlossen und der Unternehmer möchte nun die Anlage dem Bauherrn übergeben. Diese Übergabe des Unternehmers bzw. die Abnahme durch den Bauherrn ermöglicht es, die Übereinstimmung des Werks mit dem Pflichtenheft und den Fachregeln zu kontrollieren.

Verantwortung und Teilnehmer

Die vorangehenden Inbetriebsetzungsarbeiten sind hauptsächlich Sache des Unternehmers und müssen bei der **Abnahme** abgeschlossen sein. Die gemeinsame Kontrolle wird jedoch von der Bauleitung geleitet.

Teilnehmer der gemeinsamen Kontrollen sind:

- die Bauleitung (beratender Ingenieur), der Architekt, technische Berater (wenn nötig)
- der Unternehmer und - falls notwendig - die Subunternehmer
- das Betriebspersonal.

Je nach Werksgrösse ist mehrereine Unternehmer bei der Abnahme beteiligt, so dass für die einzelnen Komponenten und Apparategruppen je eine separate Abnahme erfolgen muss.

Die gemeinsame Kontrolle und Abnahme sollte innerhalb Monatsfrist ab Beendigungsmitteilung (nach erfolgreicher Inbetriebsetzung) erfolgen. Die gemeinsamen Kontrollen haben zum Ziel, ein von sämtlichen Parteien unterschriebenes Protokoll zu verfassen (SIA 118, Art. 158), das als Beweismittel für alle Beteiligten dient.

Ablauf

Nachfolgend sind nur diejenigen Punkte aufgeführt, die bei einer automatischen Holzfeuerung wichtig sind:

1. Lieferungskontrollen (Typ, Leistungskontrolle, Abmessungen)
2. Ausführungskontrolle (Werkstoffqualität, Masshaltigkeit)
3. Sicherheitskontrollen (Rückbrandschutz, Überlast)
4. Kontrolle der Steuerfunktionen (Liefergrenze)
5. Kontrolle des dynamischen Verhaltens (Schubbodenverankerung, Hydraulik).

Notwendige Unterlagen und Hilfsmittel

- Vertrag
- Richtwerte des Gesetzgebers (Abgaswerte)
- Messinstrumente
- Leistungsnachweis.

Interpretation und Entscheidungen

Die gemeinsame Kontrolle zeigt oft kleine Fehler und nicht ganz abgeschlossene Teilarbeiten auf. Sie kann zu drei verschiedenen Entscheidungen führen:

1. Die Installation kann abgenommen werden.
2. Die Installation kann mit Vorbehalten (geringe Fehler) abgenommen werden.
3. Die Installation kann nicht abgenommen werden (markante Fehler).

Die Abnahme des Werks wird verschoben, wenn die gemeinsame Kontrolle einen oder mehrere markante Fehler aufzeigt. Der Bauherr bzw. die Bauleitung hat dem Unternehmer eine annehmbare Frist für deren Behebung zu gewähren.

Nach den Instandstellungsarbeiten durch den Unternehmer und der erneuten Beendigungsmitteilung wird eine neue Abnahmeprozedur eingeleitet. Zu diesem Zweck soll das Protokoll der ersten Abnahme eine Liste der bereits durchgeführten Kontrollen enthalten. Diese müssen nicht ein zweites Mal erfolgen.

Die Unterscheidung zwischen kleinen und markanten Fehlern wird durch die Praxis bestimmt. Ein Fehler gilt grundsätzlich dann als markant, wenn es für den Bauherrn Gründe gibt, diesen so rasch als möglich beheben zu lassen. Dazu gehören Fehler, die den Betrieb oder die Inbetriebsetzung einer Anlage verhindern, die zu Schäden führen können, die das Leben oder die Gesundheit von Personen, Eigentum des Bauherrn oder von Drittpersonen gefährden. Ästhetische Fehler sind nicht markant. In jedem Fall ist zur Beurteilung eines Fehlers dessen Auswirkung auf die Gesamtinstallation zu berücksichtigen.

Während der **gemeinsamen** Kontrolle können einige Leistungsmessungen nicht durchgeführt werden, nämlich: der Jahresnutzungsgrad, das Verhalten bei extremen klimatischen Verhältnissen, Schallmessungen im normal besetzten Gebäude, usw. Diese Leistungsvorbehalte müssen ebenfalls genau definiert und im Kontrollprotokoll festgehalten werden.

Kontrollprotokolle

Die SIA-Norm 118, Art. 158, Abs. 3 empfiehlt den Parteien, in jedem Fall ein Kontrollprotokoll zu erstellen und zu unterschreiben. Es ist die beste Möglichkeit zu beweisen, dass Vorbehalte gemacht wurden. Das Protokoll soll die folgenden Punkte enthalten (Beispiel):

- Liste der angegebenen Betriebsdokumente
- Liste der fehlenden Dokumente mit Terminangabe
- Liste der Vorbehalte für Fehler und Klauseln mit Terminangaben zur Korrektur
- Garantievertrag
- Service- und Betriebsverträge
- Datum, Name und rechtsgültige Unterschrift des Unternehmers, des Bauherrn und der Bauleitung.

Beginn

Nach Beendigung muss das vom Unternehmer erstellte Werk der Bauherrschaft übergeben werden. Dieser Akt wird als Abnahme bzw. Übergabe bezeichnet. Das Werk ist damit beendet: Der Unternehmer hat seine Beendigungsmitteilung abgegeben und die gemeinsame Kontrolle hat keinen markanten Fehler gezeigt. Dieser Ablauf gilt für den Idealfall.

Folgen

- Übergabe der Aufsicht
Vom Zeitpunkt der Übergabe an ist es Sache des Bauherrn, sämtliche Massnahmen zu treffen, die das Leben und die Gesundheit von Personen, sein Hab und Gut sowie das Eigentum von Drittpersonen schützen. Diese Pflichten hat bis zur Übergabe der Unternehmer zu erfüllen (SIA 118, Art. 103).
- Übergabe der Risiken
Der Unternehmer trägt kein Risiko mehr für Unfälle, die zu Beschädigungen oder zu Verlust des Werks führen.
- Garantie- und Verjährungsfristen beginnen (SIA 118, Art. 172, Abs. 2 und Art. 180, Abs. 1).
- Der Unternehmer muss innerhalb zweier Monate die Schlussabrechnung abgeben (SIA 118, Art. 154).

8.3 Der Service-Vertrag

Je nach Grösse und Komplexität **der Anlage** sowie Anzahl der Hauptunternehmer ist mehr als ein Service-Vertrag notwendig.

Mögliche Vertragspartner sind:

- Lieferant des Heizkessels mit Steuerung
- Lieferant der Siloaggregate (Füllen und Leeren des Silos)
- Lieferant der Abgasbehandlung
- Lieferant der Sanitärinstallationen
- Lieferant der Elektrosteuerung für das Leitsystem.

Unter Umständen ist mit allen oben angeführten Lieferanten ein Service-Vertrag abzuschliessen. Die eingeschlossenen Leistungen sollen bei allen ähnlich oder gleich sein.

Folgende Punkte soll ein Service-Vertrag regeln:

- Zweck des Vertrags
- Liefergrenzen und Leistungen sind klar zu beschreiben (auch Garantien möglich!)
- Ausschlüsse und Ausnahmen sind zu beschreiben
- Stundensätze und Zulagen sowie Spesen sind auszuweisen
- Kosten des Vertrags
- Gültigkeit und Dauer des Vertrags
- Kündigung des Vertrags
- Verlängerung des Vertrags
- Kontaktadresse und Organisation für die Anforderung von Service-Leistungen im Notfall
- Pflichten des Betreibers
- Rechte des Unternehmers
- Ort, Datum und Unterschrift von Bauherr und Unternehmer.

Es ist sinnvoll, wenn der Vertrag jedes Jahr erneuert und allenfalls angepasst wird.

9 Anhang

A 1	Fallbeispiele	139
	Beispiel 1: Waldholz, 150 kW, bivalent, Nahwärmeverbund	140
	Beispiel 2: Restholz Schreinerei, 450 kW, monovalent	144
	Beispiel 3: Waldholz u. Restholz, 150 kW, monovalent, Einkesselanlage mit Speicher, zusätzlicher Abgaswärmetauscher	148
	Beispiel 4: Waldholz u. Restholz, 6.6 MW, monovalent, Mehrkesselanlage, Wärmeverbund, Abgaskondensation	152
	Beispiel 5: Waldholz, 1.4 MW, monovalent, Mehrkesselanlage, Wärmeverbund	156
	Beispiel 6: Waldholz, 800 kW, bivalent, Mehrkesselanlage, Nahwärmeverbund	160
<hr/>		
A 2	LRV-Grenzwerte für Holzbrennstoffe	164
<hr/>		
A 3	Ermittlung des Jahresnutzungsgrades η_a	165
<hr/>		
A 4	Berechnung des Stickoxidmassenstroms	167
<hr/>		
A 5	Kopiervorlagen	169
	Anlagensteckbrief	
	Nomogramm zur Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades	171
<hr/>		
A 6	Ausschreibungsvorlage SFIH	172
<hr/>		
A 7	Literaturverzeichnis	182
<hr/>		
A 8	Vorschriften und Verordnungen	183
<hr/>		
A 9	Wichtige Adressen	184

A1 Fallbeispiele

Auf den folgenden Seiten werden 6 Beispiele von realisierten Anlagen beschrieben.

Die wichtigsten Kenndaten sind für jedes Beispiel in einem zweiseitigen Anlagensteckbrief zusammengefasst. Zur Ergänzung sind zudem verschiedene Unterlagen wie Übersichtspläne, Fotos usw. aufgeführt.



**Beispiel 1: Waldholz, 150 kW, bivalent, Nahwärmeverbund
Anlagensteckbrief**

Objekt

Standort: Juchhof, Zürich Höhe über Meer 396 m.ü.M.

Zweck: Raumwärme Warmwasser Prozesswärme.

Wärmebezug: Schulhaus EFH MFH 1 Landwirtschaftsbetrieb

EKZ, Energiekennzahl 444 MJ/m²/a EBF, Energiebezugsfläche 2000 m²

Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau 150 kW Endausbau _____ kW

Wärmeenergiebedarf: Grundausbau 230 MWh/a Endausbau _____ MWh/a

Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 _____ kW Holzkessel 2 _____ kW Holzkessel 3 _____ kW
Ölkessel _____ kW Gaskessel _____ kW _____ kW

Nahwärmenetz: Leistung 156 kW Trasseelänge m m

Brennstoff

Versorgung: Ankauf von Energieholz
 Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung: eigener Wald
 Kombination Ankauf + Eigenversorgung _____ % Eigenversorgung

Waldhackschnitzel Restholz

_____ % direkt ab Wald in Silo
100 % indirekt (ab Zwischenlager)
_____ % gemischt (direkt + indirekt)

_____ % Sägerei
_____ % Schreinerei
_____ % Zimmerei
_____ % Spanplattenfabr.

Sortiment: Harfe Laubhölzer Wassergehalt w: 10-25%
 Nadelholzer oder weiche Laubhölzer 25-40%
 Rinde 40-50%
0 Restholz 50-60%
 > 60%

Abrechnung: pro Sm³ Preis: 13 Fr./Sm³ für Brennstoff: _____ mit w = _____ %
 pro kWh (nur Hackvorgang) _____ Fr./kWh
0 pro t_{atro} _____ Fr./t_{atro}

Feuerung.

Feuerungstyp: Unterschubfeuerung Vorschubrostfeuerung 0

Regelung: Leistung einstufig 100% Verbrennung Temperatur-Regelung
 mehrstufig (z.B. 100/80/60%) Lambda-Regelung
 gleitend (z.B. 100% - 30%) CO/Lambda-Regelung
 weitere weitere

Abgasreinigung: Zyklon Elektrofilter Gewebefilter
 Filter SCR SNCR
 DENOX 0 SNCR

Silo

Bruttovolumen: 80 m³ Nettovolumen: 50 m³

Einbringsystem: 0 Einschubförderer 0 Siloverteiler 0 Pumpen weitere

Austragungssystem: Schubboden 0 Zentrumsaustragung 0 weitere

Autonomie: <1Woche 0 1-2Wochen 2-4 Wochen
(in kältester Jahreszeit) 4-8 Wochen 0 > 6 Wochen

Umsatz Sifonnettovolumen: - Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr

Betriebsdaten

Vollbetriebsstunden: Holz 2000 h/a Öl..... h/a

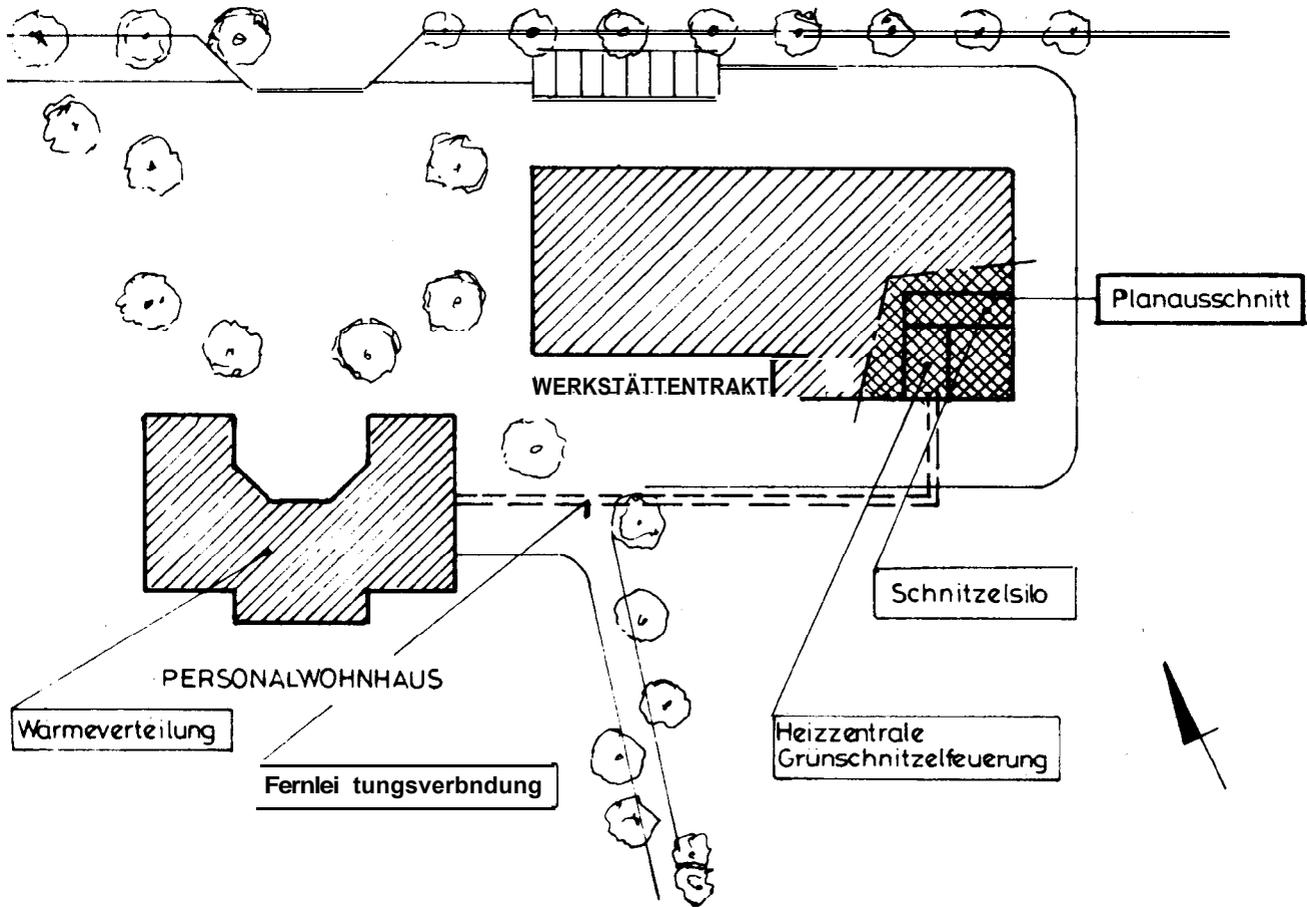
Jahresverbrauch: Holz 230 Sm³/a t_{atro}/a 230 MWh/a mit η_a = 85 %
öl 0 l/a 0 t/a

Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung kWh/a

Nutzwärme: 195 MWh/a

Investitionen						
	Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	Wartung & Unterhalt	Wartung & Un- terhaltskosten
(Umbau)						
Baukosten Heizraum:	20'000 Fr.	30 Jahre	6,5 %	1'200 Fr./a	1 %	300 Fr./a
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt):	35'800 Fr.	30 Jahre	0,...	2'295 Fr./a	1 %	350 Fr./a
Siloustragung:	26'000 Fr.	15 Jahre	9,6 %	2'500 Fr./a	3 %	790 Fr./a
Baukosten Tankraum:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Elektro- u. Sanitärinstallation:	29'000 Fr.	15 Jahre	9,6 %	2'200 Fr./a	3 %	870 Fr./a
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler:	91'000 Fr.	15 Jahre	9,6 %	9'200 Fr./a	3 %	2'900 Fr./a
Kaminanlage:	5'000 Fr.	15 Jahre	9,6 %	482 Fr./a	1 %	50 Fr./a
Hacker:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Nahwärmeleitung:	110'000 Fr.	30 Jahre	6,5 %	3'150 Fr./a	1 %	1'100 Fr./a
Planungshonorare:	80'000 Fr.	15 Jahre	9,6 %	3'700 Fr./a		
Förderbeiträge:						
<input type="checkbox"/> Bund	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a		
<input type="checkbox"/> Kanton	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a		
<input type="checkbox"/> Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a		
Jahreskosten (ohne Teuerung)						
Kapitalkosten (siehe Investitionen):					Total	33'400 Fr./a
Energiekosten:	Holz	3'300 Fr./a				
	Strom	..... Fr./a				
	Öl	..... Fr./a			Total	3'200 Fr./a
Wartung & Unter- haltskosten:	Personal, Wartung, Service Kaminfeger, Messkontrollen	6'250 Fr./a 300 Fr./a			Total	6'500 Fr./a
Nebenkosten:	Verwaltung Versicherung, Steuern	..... Fr./a Fr./a			Total	..... Fr./a
Jahreskosten total:						43'200 Fr./a
Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)						
Nutzwärme:	1'900 MWh/a			Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz	17,1 Rp./kWh	
Vollbetriebsstunden:	2'000 h/a			Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz	22,7 Rp./kWh	
Anlagekosten:	2'200 Fr./kW					
Nahwärmenetzkosten:	400 Fr./m					
Vorrechnungsmodus Nahwärmeverbund 3 gutseigene Gebäude						
Wärmepreis:	..... Rp./kW			Anschlussgebühr pauschal:	..... Fr./kW	
Grundgebühr:	..... Fr./kW und Jahr					
Weitere Unterlagen						
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung				Angaben zu:	<input type="checkbox"/> Vorstudienphase	
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude					<input type="checkbox"/> Vorprojektphase	
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund					<input type="checkbox"/> Projektphase	
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung					<input type="checkbox"/> Ausführungs- und Fachbauleitungsphase	
					<input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung und Abnahme	
Besonderheiten						
	- Anlagebetreiber hat eigenen Wald; bezahlt Hacker-Kosten					
	- Umbausituation → teurer als Neubaukosten					
	- Nahwärmeverbund für gutseigene Gebäude → kein Wärmeverkauf					

Übersicht Juchhof 1: 800



Ausführungsplan	
Juchhof, Gutsbetrieb der Stadt Zürich	Plannummer: 92.340-06
Heizzentrale mit Grünschnitzelfeuerung und Schnitzelsilo im Werkstättentrakt Heizsystem: PWW- Heizung 60/ 45%	Datum: 16. 10. 92 Gezeichnet: P. Koch Massstab: 1: 20/1: 50 Plangrösse: 60 x 126 cm
H + K Hüwyler & Koch Beratende Ingenieure HTL Lindenstrasse 38, 8008 Zürich; Tel. 01/422'34'88 Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Änderungen: 27. 4. 93 29. 4. 93

Gegenüberstellung und Vergleich mit Öl-Variante

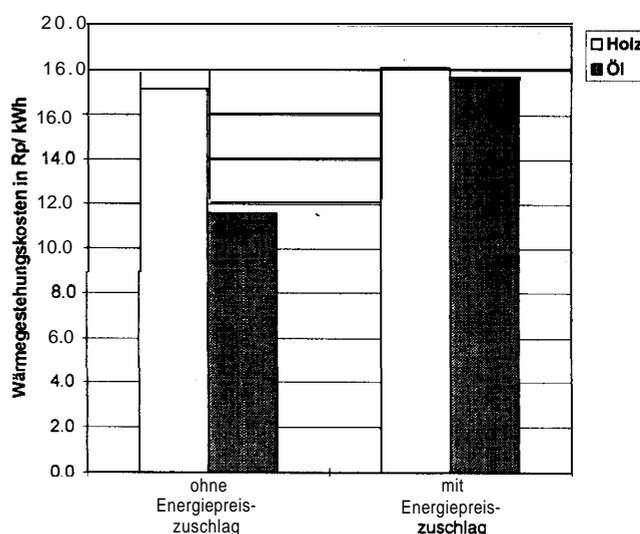
Investitionskosten I ohne Nahwärmenetz:

Anlageteil	Variante Öl öl-Lownox	Variante autom. Schnitzelfeuerung	Annuität	Kapitalkosten	
				Öl	Schni.fe.
Kamin	Fr. 5 000.00	Fr. 5 000.00	9.63%	Fr. 481.50	Fr. 481.50
Wärmeerzeuger	Fr. 25 000.00	Fr. 81 000.00	9.63%	Fr. 2 407.50	Fr. 7 800.30
Hydraulische Einbindung	Fr. 20 000.00	Fr. 16 000.00	9.63%	Fr. 1 926.00	Fr. 1 540.80
Expansions- und Sicherheitsanlage	Fr. 5 000.00	Fr. 10 000.00	9.63%	Fr. 481.50	Fr. 963.00
Fernleitungsanschlüsse	Fr. 15 000.00	Fr. 15 000.00	6.50%	Fr. 975.00	Fr. 975.00
Demontagen	Fr. 5 000.00	Fr. 5 000.00	9.63%	Fr. 481.50	Fr. 481.50
Schnitzelsilo		Fr. 35 300.00	6.50%		Fr. 2 294.50
Öltank	Fr. 20 000.00		6.50%	Fr. 1 300.00	
Baumeisterarbeiten Heizraum	Fr. 25 000.00	Fr. 20 000.00	6.50%	Fr. 1 625.00	Fr. 1 300.00
Elektriker	Fr. 10 000.00	Fr. 27 000.00	9.63%	Fr. 963.00	Fr. 2 600.10
Sanitär		Fr. 2 000.00	9.63%	Fr. 0.00	Fr. 192.60
Fachingenieur	Fr. 40 000.00	Fr. 50 000.00	9.63%	Fr. 3 852.00	Fr. 4 815.00
Förderbeiträge BEW:		Fr. -16 000.00	9.63%	Fr. 0.00	Fr. -1 540.80
totale Investitionskosten	Fr. 170 000.00	Fr. 250 300.00		Fr. 14 493.00	Fr. 21 903.50
Kapitalkosten K	Fr. 14 493.00	Fr. 21 903.50			

Wartung/Unterhalt WK:

Anlageteil	Variante Öl öl-Lownox	Variante autom. Schnitzelfeuerung	in % von	Wartung/ Unterhalt	
				Öl	Schni.fe.
Kamin	Fr. 5 000.00	Fr. 5 000.00	1.00%	Fr. 50.00	Fr. 50.00
Wärmeerzeuger	Fr. 25 000.00	Fr. 81 000.00	3.00%	Fr. 750.00	Fr. 2 430.00
Hydraulische Einbindung	Fr. 20 000.00	Fr. 16 000.00	1.00%	Fr. 200.00	Fr. 160.00
Expansions- und Sicherheitsanlage	Fr. 5 000.00	Fr. 10 000.00	3.00%	Fr. 150.00	Fr. 300.00
Fernleitungsanschlüsse	Fr. 15 000.00	Fr. 15 000.00	1.00%	Fr. 150.00	Fr. 150.00
Demontagen	Fr. 5 000.00	Fr. 5 000.00			
Schnitzelsilo		Fr. 35 300.00	1.00%		Fr. 353.00
Öltank	Fr. 20 000.00		1.00%	Fr. 200.00	Fr. 0.00
Baumeisterarbeiten Heizraum	Fr. 25 000.00	Fr. 20 000.00	1.00%	Fr. 250.00	Fr. 200.00
Elektriker	Fr. 10 000.00	Fr. 27 000.00	3.00%	Fr. 300.00	Fr. 810.00
Sanitär		Fr. 2 000.00	3.00%		Fr. 60.00
Fachingenieur	Fr. 40 000.00	Fr. 50 000.00			
Förderbeiträge BEW		Fr. -16 000.00			
totale Investitionskosten	Fr. 170 000.00	Fr. 250 300.00		Fr. 2 050.00	Fr. 4 513.00
Wartungskosten WK+A21	Fr. 2 050.00	Fr. 4 513.00			

Wärmegestehungskosten mit und ohne Berücksichtigung der Energiepreiszuschläge für das Beispiel Juchhof



Beispiel 2: Restholz Schreinerei, 450 kW, monovalent
Anlagensteckbrief

Objekt

Standort: Pratteln, BL Höhe über Meer 278 m.ü.M.

Zweck: Raumwärme Warmwasser Prozesswärme

Wärmebezügler: Schulhaus EFH MFH Werkstatt, Lager

EKZ, Energiekennzahl MJ/m²/a EBF, Energiebezugsfläche m²

Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau 450 kW Endausbau kW

Wärmeenergiebedarf: Grundausbau 850 MWh/a Endausbau MWh/a

Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 450 kW Holzkessel 2 kW Holzkessel 3 kW

Ölkessel kW Gaskessel kW kW

Nahwärmenetz: Leistung 450 kW Trasseelänge m

Brennstoff

Versorgung: Ankauf von Energieholz

Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung: Späne, Hackschuttel

Kombination Ankauf + Eigenversorgung % Eigenversorgung

Waldhackschnitzel

Restholz

 % direkt ab Wald in Silo

 % indirekt (ab Zwischenlager)

 % gemischt (direkt + indirekt)

100 % Sägerei

 % Schreinerei

 % Zimmerei

 % Spanplattenfabr.

Sortiment: Harte Laubhölzer

Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer

Rinde

Restholz

Wassergehalt w: 0 10-25%

0 25-40%

40-50%

0 50-60%

> 60%

Abrechnung: pro Sm³ Preis: = Fr. / Sm³ für Brennstoff: mit w %

0 pro kWh Fr. / kWh

0 pro t atro Fr. / t atro

Feuerung

Feuerungstyp: Unterschubfeuerung 0 Vorschubrostfeuerung 0

Regelung: Leistung einstufig 100%

0 mehrstufig (z.B. 100/80/60%)

gleitend (z.B. 100% - 30%)

0 weitere

Verbrennung Temperatur-Regelung

Lambda-Regelung

0 CO/Lambda-Regelung

weitere

Abgasreinigung: Zyklus

Filter Elektrofilter Gewebefilter

DENOX 0 SCR 0 SNCR

Silo

Bruttovolumen: 180 m³ Nettovolumen: 150 m³

Einbringsystem: Einschubförderer Siloverteiler 0 Pumpen weitere pneumatisch

Austragungssystem: 0 Schubboden 0 Zentrumsaustragung weitere Pendelaustragung

Autonomie: 0 < 1 Woche 1 - 2 Wochen 0 2 - 4 Wochen

(in kältester Jahreszeit) 0 4 - 8 Wochen 0 > 8 Wochen

Umsatz Silonettovolumen: ~3 Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr

(zusätzliches Zwischenlager für stückiges Restholz)

Betriebsdaten

Vollbetriebsstunden: Holz 1.900 h/a Öl h/a

Jahresverbrauch: Holz 430 Sm³/a t_{atro}/a 850 MWh/a mit $\eta_a = 85\%$

Öl 0 l/a 0 l/a

Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung 10.000 kWh/a

Nutzwärme: 720 MWh/a

Investitionen	Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	Wartung & Unterhalt	Wartung & Un- terhaltskosten
	Fr.	Jahre	%	Fr./a	%	Fr./a
Baukosten Heizraum:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt): } bestehend	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Siloustragung:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Baukosten Tankraum: 6 Gewebe = 38'000	38'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	3'510 Fr./a	3 %	2'340 Fr./a
Elektro- u. Sanitärinstallation: 14'000	14'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	1'350 Fr./a	1,5 %	240 Fr./a
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler: 171'000	171'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	16'430 Fr./a	2,5 %	4'280 Fr./a
Kaminanlage: 10'000	10'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	960 Fr./a	3,5 %	350 Fr./a
Hacker: 10'000	10'000 Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Nahwärmeleitung: 10'000	10'000 Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Planungshonorare: 8'500	8'500 Fr.	15. Jahre	9,63 %	820 Fr./a	..... %	..... Fr./a
Förderbeiträge: <input type="checkbox"/> Bund	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
<input checked="" type="checkbox"/> Kanton	32'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	3'130 Fr./a	..... %	..... Fr./a
<input type="checkbox"/> Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a

Jahreskosten (ohne Teuerung)	
Kapitalkosten (siehe Investitionen):	Total 23'980 Fr./a
Energiekosten: Holz	..... Fr./a
Strom	1'700 Fr./a
Öl	..... Fr./a
	Total 1'700 Fr./a
Wartung & Unter-: Personal, Wartung, Service	..... Fr./a
haltskosten: Kaminfeger, Messkontrollen } 7'180	Fr./a
	Total 7'180 Fr./a
Nebenkosten: Verwaltung	..... Fr./a
Versicherung, Steuern	..... Fr./a
	Total Fr./a
Jahreskosten total:	32'860 Fr./a

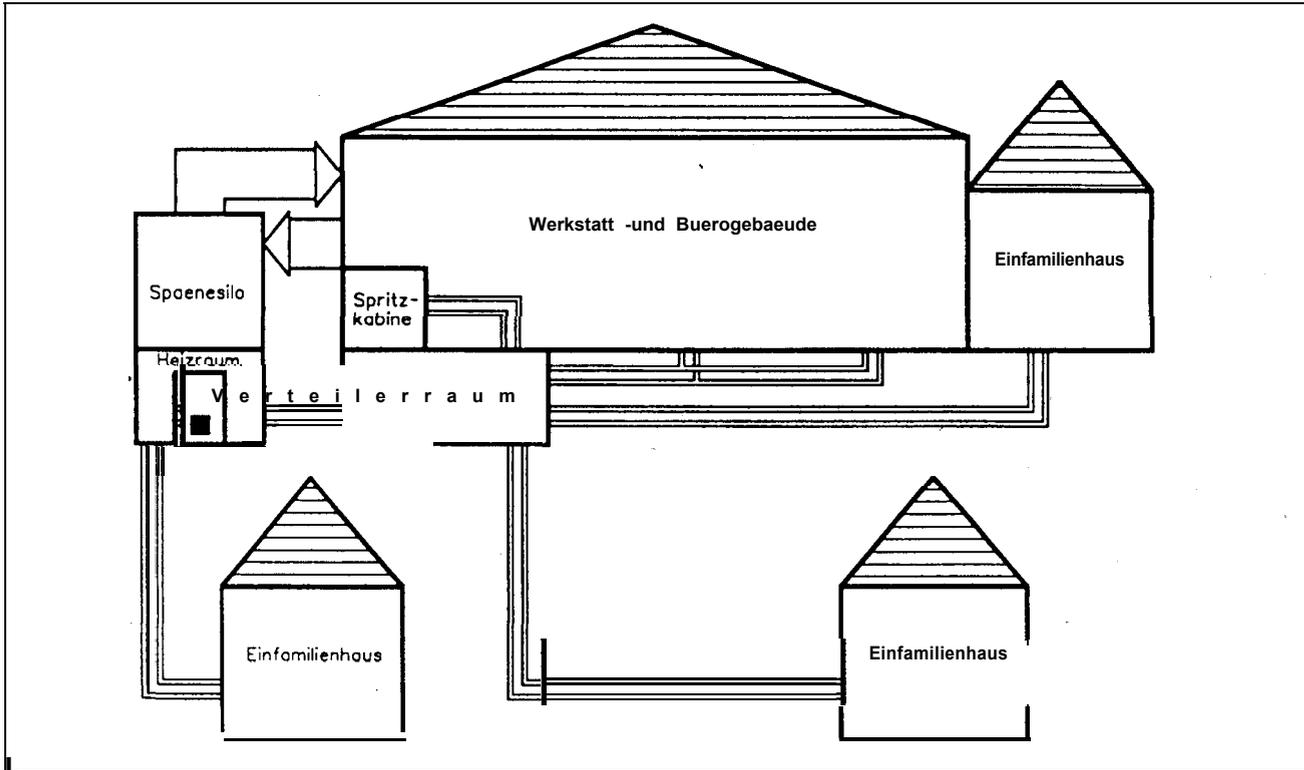
Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)			
Nutzwärme: 720 MWh/a	Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz	4,6 Rp./kWh	
Vollbetriebsstunden: 1900 h/a	Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz	..... Rp./kWh	
Anlagekosten: 380 Fr./kW			
Nahwärmenetzkosten: Fr./m			

Vorrechnungsmodus	Nahwärmeverbund
Wärmepreis: Rp./kWh	Anschlussgebühr pauschal: Fr./kW
Grundgebühr: Fr./kW und Jahr	

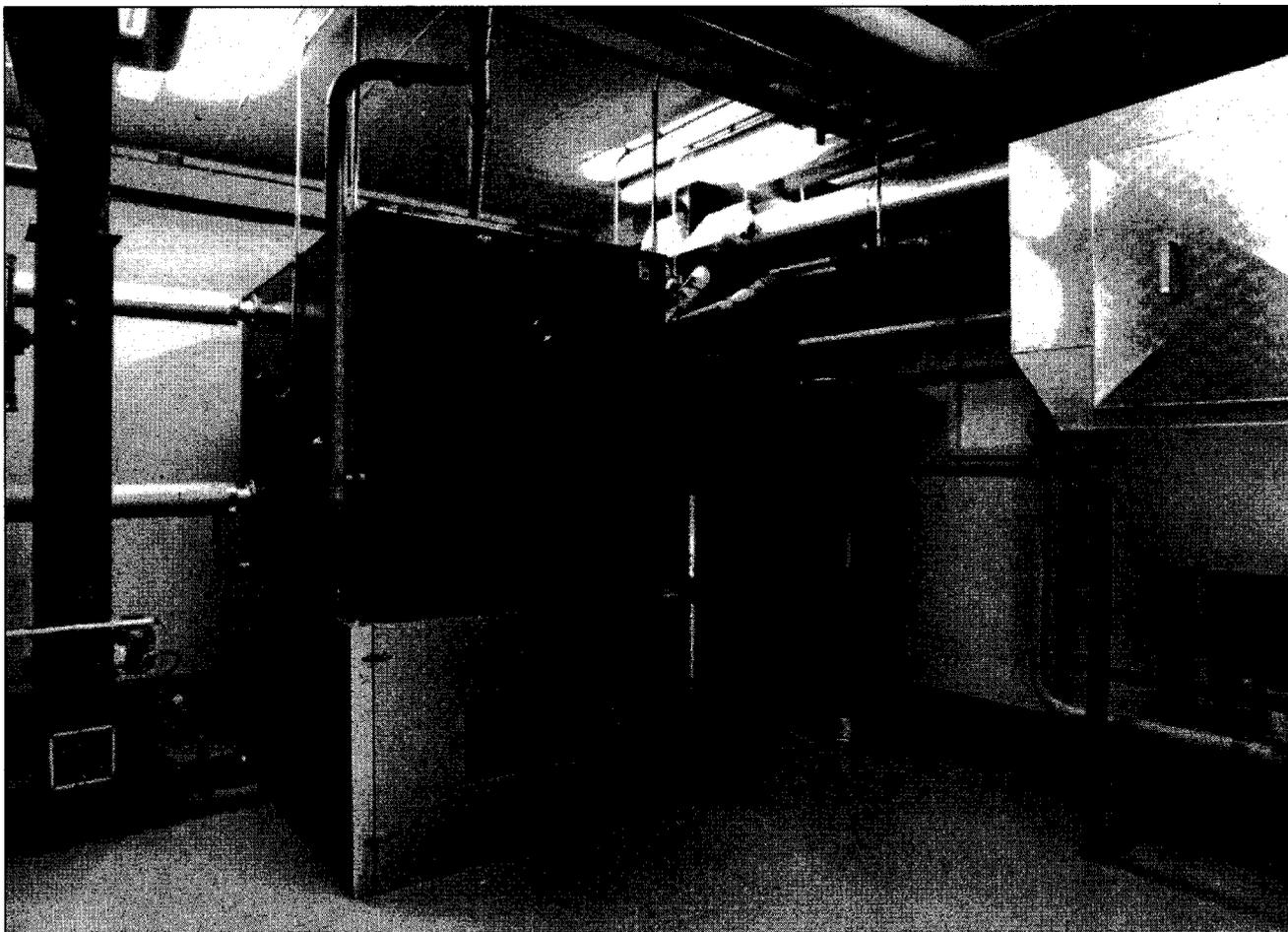
Weitere Unterlagen	
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung	Angaben zu: <input type="checkbox"/> Vorstudienphase
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude	<input type="checkbox"/> Vorprojektphase
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund	<input type="checkbox"/> Projektphase
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung	<input type="checkbox"/> Ausführungs- und Fachbauleitungsphase
	<input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung und Abnahme

Besonderheiten - Die bestehende Holzfeuerung wurde durch eine neue ersetzt (Silo, Hacken, Wärmeverteilung vorhanden).
 - Da der LRV-Grenzwert nicht eingehalten wurde, baute der Feuerungslieferant ein Gewebefilter ein.

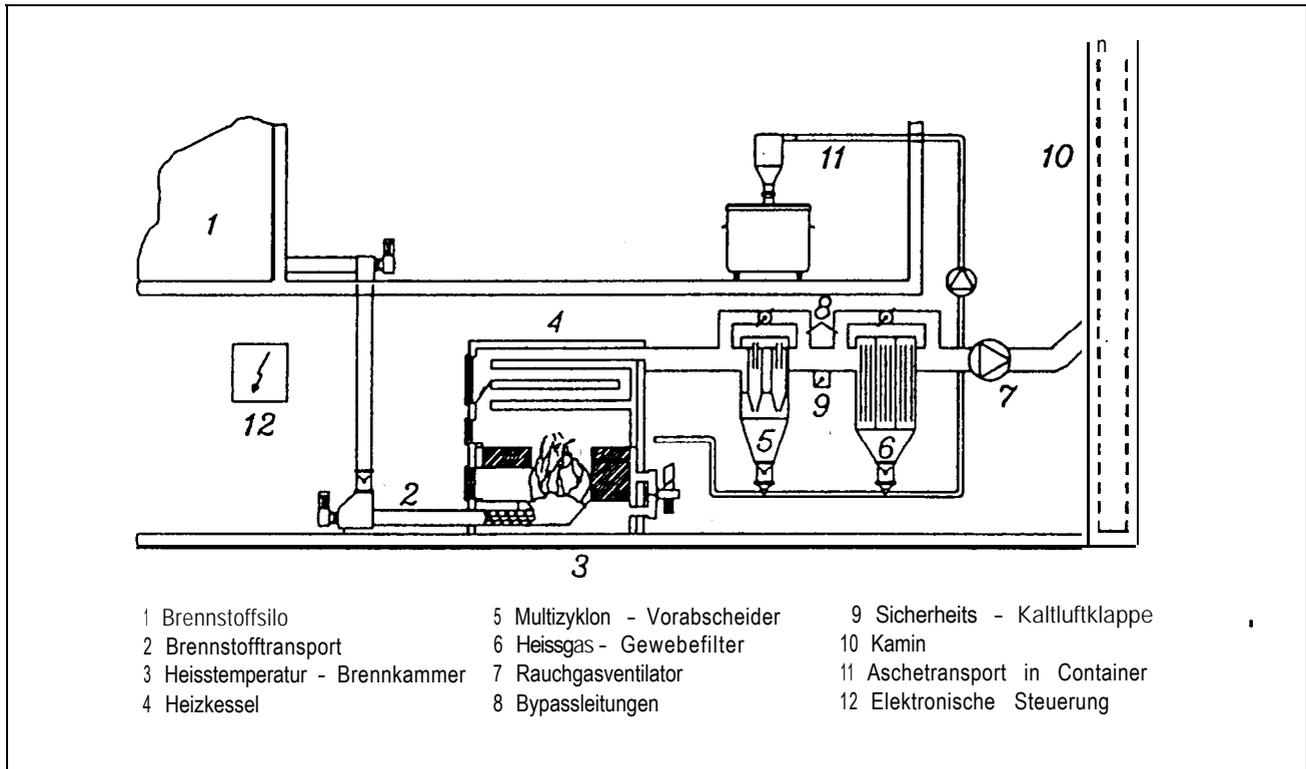
Übersicht Wärmeverbund Schreinerei mit EFH



Heizraum Schreinerei



Übersicht automatische Holzfeuerungsanlage



Abgasmessungen vor und nach Gewebefilter

PENTONAG AG Hauenstrasse 63A 4002 Basel Tel. 061-272'93'90 Fax. 061-272'93'94		MESSBERICHT über Luftthygenische EMISSIONSMESSUNGEN C:\0051\PENTONAG\BPP\GCH00P03.LAM		PENTONAG AG im Rifenbrunnen Unterschottikon 8352 Räterachen Tel. 052-36'15'04 Fax. 052-36'15'04			
AUFKABTRIEBER :		<u>SCHNEIDER AG</u>					
		<u>4133 PRATELN</u>					
MESSRESULTATE :							
Die von uns durchgeführten Messungen haben folgende Resultate ergeben:							
	Feststoff (mg/m ³)	Abgastemp. (°C)	O ₂ -Gehalt (Vol.-%)	CO-Gehalt (mg/m ³)	NO-Gehalt (als NO ₂) (mg/m ³)	Abgasgeschw (m/sec)	
NACH ZYKLON + GEW.FILTER (Messstellen Nr.10)							
- 100% Kessellast :	Messung Nr.1	< 10	124+/-6	15,6+/-0,2	523+/-52	219+/-22	8,9+/-2
	Messung Nr.2	< 10	130+/-7	15,2+/-0,2	288+/-29	294+/-29	8,9+/-2
	Mittelwert	< 10	127+/-7	15,3+/-0,2	406+/-41	257+/-26	8,9+/-2
- 60% Kessellast :	Messung Nr.3	< 10	118+/-6	15,5+/-0,2	240+/-24	267+/-27	5,7+/-1
	Messung Nr.4	< 10	110+/-6	15,8+/-0,2	353+/-35	277+/-28	5,7+/-1
	Mittelwert	< 10	114+/-6	15,7+/-0,2	297+/-30	272+/-27	5,7+/-1
- 30% Kessellast :	Messung Nr.5	< 10	98+/-5	16,6+/-0,2	173+/-17	294+/-29	4,2+/-0,9
	Messung Nr.6	< 10	96+/-5	16,7+/-0,2	325+/-34	277+/-28	4,2+/-0,9
	Mittelwert	< 10	94+/-5	16,7+/-0,2	254+/-25	286+/-29	4,2+/-0,9
NACH ZYKLON (ohne GEW.FILTER) (Messstellen Nr.9 am Kaminende)							
- 100% Kessellast :	Messung Nr.9	114+/-18	124+/-6	15,2+/-0,2	210+/-21	333+/-33	5,1+/-1
	Messung Nr.10	118+/-20	130+/-7	15,3+/-0,2	149+/-15	347+/-35	5,2+/-1
	Mittelwert	116+/-20	127+/-7	15,3+/-0,2	180+/-18	340+/-34	5,2+/-1
ANMERKUNGEN :							
Datum :						<u>14.4.93</u>	
Messverantwortlicher :						<u>U. Prüt</u> ppa U.Trüb	

Beispiel 3: Waldholz u. Restholz, 150 kW, monovalent, Einkesselanlage mit Speicher, zusätzlicher Abgaswärmetauscher

Anlagensteckbrief

Objekt	
Standort: <u>Grüniglen, 3H</u>	Höhe über Meer <u>492</u> m.ü.M.
Zweck: <input checked="" type="checkbox"/> Raumwärme <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/> Prozesswärme	
Wärmebezüger: <input checked="" type="checkbox"/> Schulhaus <input checked="" type="checkbox"/> EFH <input type="checkbox"/> MFH	
EKZ, Energiekennzahl <u> </u> MJ/m ² /a EBF, Energiebezugsfläche <u> </u> m ²	
Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau <u>130</u> kW	Endausbau <u> </u> kW
Wärmeenergiebedarf: Grundausbau <u>350</u> MWh/a	Endausbau <u> </u> MWh/a
Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 <u>130</u> kW	Holzkessel 2 <u> </u> kW
Ölkessel <u> </u> kW	Gaskessel <u> </u> kW
Nahwärmenetz: Leistung <u>130</u> kW	Trasseelänge <u>210</u> m
Brennstoff	
Versorgung: <input checked="" type="checkbox"/> Ankauf von Energieholz	
0 Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung:	
<input type="checkbox"/> Kombination Ankauf + Eigenversorgung <u> </u> % Eigenversorgung	
<input checked="" type="checkbox"/> Waldhackschnitzel	<input checked="" type="checkbox"/> Restholz
<u>25</u> % direkt ab Wald in Silo	<u>25</u> % Sägerei
<u> </u> % indirekt (ab Zwischenlager)	<u> </u> % Schreinerei
<u> </u> % gemischt (direkt + indirekt)	<u> </u> % Zimmerei
	<u> </u> % Spanplattenfabr.
Sortiment: <input checked="" type="checkbox"/> Harte Laubhölzer	Wassergehalt w: <input type="checkbox"/> 10-25%
<input checked="" type="checkbox"/> Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer	<input checked="" type="checkbox"/> 25-40%
<input type="checkbox"/> Rinde	<input type="checkbox"/> 40-50%
<input type="checkbox"/> Restholz	<input type="checkbox"/> 50-60%
	<input type="checkbox"/> > 60%
Abrechnung: <input checked="" type="checkbox"/> pro Sm ³	Preis: <u>45</u> Fr./Sm ³ für Brennstoff..... mit w = <u> </u> %
<input checked="" type="checkbox"/> pro kWh	<u> </u> Fr./kWh (2 Jahre nach Inbetriebnahme)
<input type="checkbox"/> pro t atro	<u> </u> Fr./t atro
Feuerung	
Feuerungstyp: <input checked="" type="checkbox"/> Unterschubfeuerung 0 Vorschubrostfeuerung <input type="checkbox"/>	
Regelung: <input checked="" type="checkbox"/> Leistung <input type="checkbox"/> einstufig 100%	<input checked="" type="checkbox"/> Verbrennung <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur-Regelung
<input type="checkbox"/> mehrstufig (z.B. 100/80/60%)	<input type="checkbox"/> Lambda-Regelung
<input checked="" type="checkbox"/> gleitend (z.B. 100% - 30%)	<input type="checkbox"/> CO/Lambda-Regelung
<input type="checkbox"/> weitere	<input type="checkbox"/> weitere
Abgasreinigung: <input checked="" type="checkbox"/> Zyklon	<input type="checkbox"/> Gewebefilter
<input type="checkbox"/> Filter 0 Elektrofilter	<input type="checkbox"/> SNCR
<input type="checkbox"/> DENOX 0 SCR	
Silo	
Bruttovolumen: <u>111</u> m ³	Nettovolumen: <u>95</u> m ³
Einbringsystem: <input checked="" type="checkbox"/> Einschubförderer 0 Siloverteiler 0 Pumpen 0 weitere	
Austragungssystem: <input checked="" type="checkbox"/> Schubboden 0 Zentrumsaustragung 0 weitere	
Autonomie: 0 < 1 Woche 0 1-2 Wochen <input checked="" type="checkbox"/> 2-4 Wochen	
(in kältester Jahreszeit) 0 4-8 Wochen 0 > 8 Wochen	
Umsatz Silo nettovolumen: <u>4</u> Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr	
Betriebsdaten	
Vollbetriebsstunden: Holz <u>1300</u> h/a Öl <u> </u> h/a	
Jahresverbrauch: Holz <input checked="" type="checkbox"/> <u>350</u> Sm ³ /a <input type="checkbox"/> <u> </u> t _{atro} /a <input checked="" type="checkbox"/> <u>350</u> MWh/a mit η _a = <u>85</u> %	
Öl 0 l/a 0 t/a	
Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung <u>3000</u> kWh/a	
Nutzwärme: <u>295</u> MWh/a	

Investitionen	Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	Wartung & Unterhalt	Wartung & Un- terhaltskosten
	Fr.	Jahre	%	Fr./a	%	Fr./a
Baukosten Heizraum:	36'000.	50.	6,34	5'450.	1.	360.
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt):	58'000.	20.	8,37	5'060.	2.	1'160.
Siloaustragung:						
Baukosten Tankraum:	27'000.	25.	7,82	2'110.	1,5	410.
Elektro- u. Sanitärinstallation:	136'500.	20.	8,32	11'900.	2,5	2'440.
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler:	9'000.	Ah.	10,3	830.	3,5	320.
Kaminanlage:						
Hacker:	25'500.	12.	14,93	1'190.	1,5	380.
Nahwärmeleitung:	165'000.	25.	7,82	12'900.		
Planungshonorare:						
Förderbeiträge:						
<input checked="" type="checkbox"/> Bund	50'000.	20.	8,32	4'360.		
<input checked="" type="checkbox"/> Kanton	76'000.	20.	8,32	6'630.		
<input type="checkbox"/>						

Jahreskosten (ohne Teuerung)		Total	
Kapitalkosten (siehe Investitionen):		28'550.	Fr./a
Energiekosten:			
Holz	16'650.	Fr./a	
Strom	540.	Fr./a	
Öl		Fr./a	
		Total	17'190.
Wartung & Unter- haltskosten:	Personal, Wartung, Service Kaminfeger, Messkontrollen	Fr./a 6'540.	Fr./a
		Total	6'540.
Nebenkosten:	Verwaltung Versicherung, Steuern	Fr./a 3	Fr./a
		Total	Fr./a
Jahreskosten total:		52'280.	Fr./a

Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)			
Nutzwärme:	295	MWh/a	Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz
Vollbetriebsstunden:	1'700	h/a	Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz
			17 Rp./kWh
			7 Rp./kWh
Anlagekosten:		Fr./kW	
Nahwärmenetzkosten:		Fr./m	

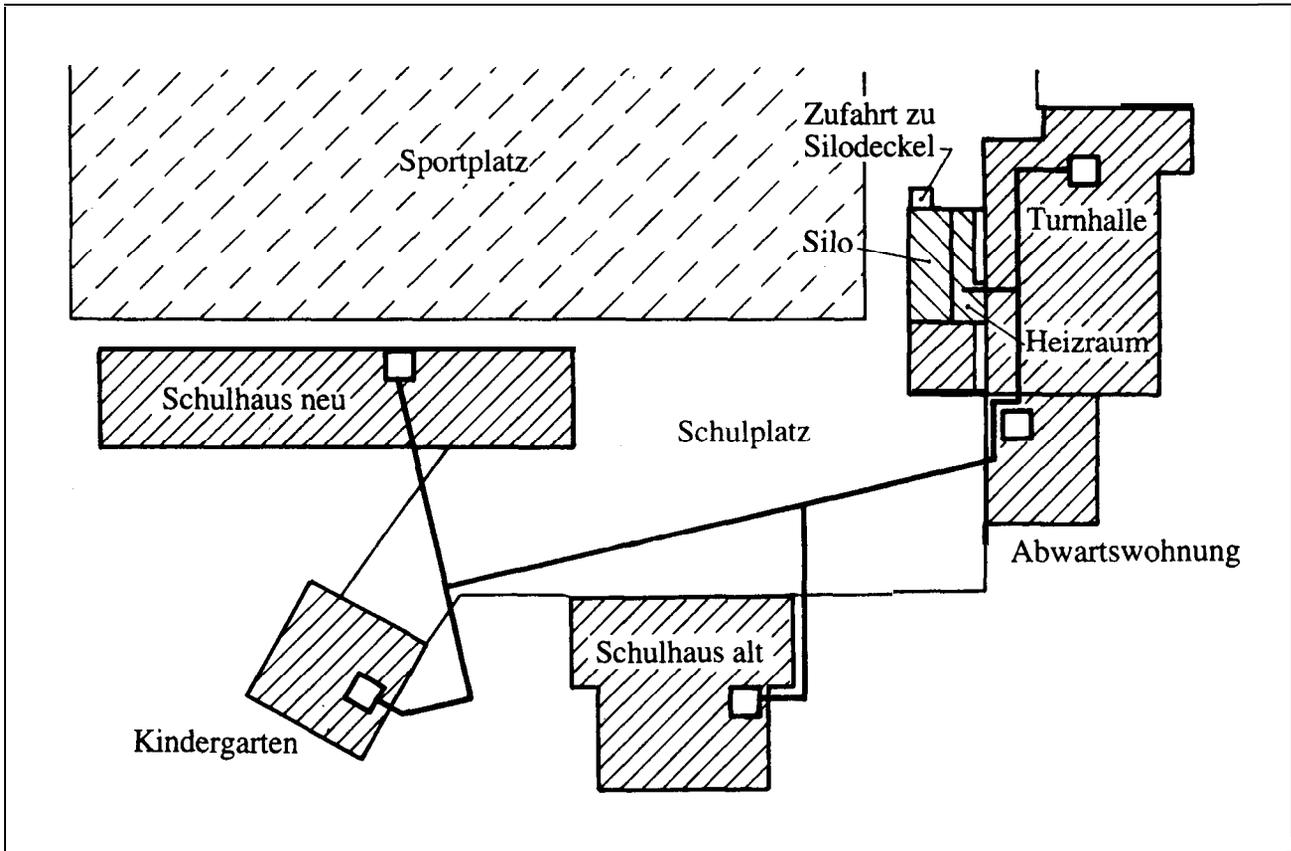
Verrechnungsmodus Nahwärmeverbund			
Wärmepreis:	.....	Rp./kWh	Anschlussgebühr pauschal:
Grundgebühr:	.....	Fr./kW und Jahr	.....
			Fr./kW

Weitere Unterlagen	
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung	Angaben zu: <input type="checkbox"/> Vorstudienphase
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude	<input type="checkbox"/> Vorprojektphase
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund	<input type="checkbox"/> Projektphase
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung	<input type="checkbox"/> 0 Ausführungs- und Fachbauleitungsphase
	<input type="checkbox"/> 0 Inbetriebsetzung und Abnahme

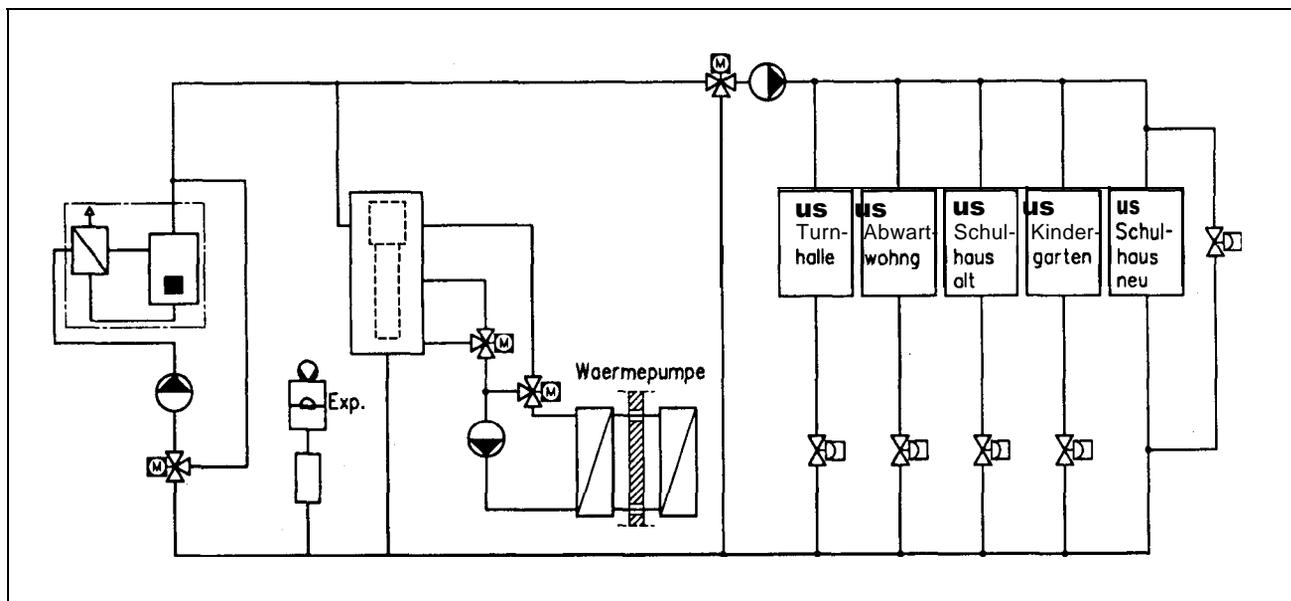
Besonderheiten - Monovalente Holzfeuerung mit automatischer Zündung und nachgeschaltetem Abgaswärmetauscher sowie mit beige = stellem Speicher mit innenliegenden Warmwassererwärmern (während Heizperiode)
 Im Sommer wird der Speicher zur Warmwassererzeugung mit einer gesplitteten Luft-Wasser-Wärmepumpe geladen. Dem stark unterschiedlichen täglichen Warmwasserbedarf wird durch zwei verschiedene Speichertadungen Rechnung getragen:

Ww-Bedarf klein, Speicher zu 1/2 geladen
 Ww-Bedarf gross, Speicher ganz geladen

Übersicht Wärmeverbund der Schulanlage



Hydraulikschema



Beispiel 4: Waldholz u. Restholz, 6.6 MW , monovalent, Mehrkesselanlage, Wärmeverbund, Abgaskondensation

Anlagensteckbrief

Objekt	
Standort: <u>Allothen e.A.</u>	Höhe über Meer <u>493</u> m.ü.M.
Zweck: <input checked="" type="checkbox"/> Raumwärme <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/> Prozesswärme	
Wärmeberüger: Schulhaus EFH MFH	
EKZ, Energiekennzahl _____ MJ/m ² /a	EBF, Energiebezugsfläche _____ m ²
Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau <u>6'600</u> kW	Endausbau _____ kW
Wärmeenergiebedarf: Grundausbau <u>16'000</u> MWh/a	Endausbau _____ MWh/a
Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 <u>2'400</u> kW	Holzkessel 2 <u>2'400</u> kW
Ökessel _____ kW	Gaske s s e _____ kW
Nahwärmenetz: Leistung <u>6'600</u> kW	Trasseelänge <u>4'900</u> m

Brennstoff	
Versorgung: <input checked="" type="checkbox"/> Ankauf von Energieholz	
<input type="checkbox"/> Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung: _____	
<input type="checkbox"/> Kombination Ankauf + Eigenversorgung _____ % Eigenversorgung	
<input checked="" type="checkbox"/> Waldhackschnitzel	<input checked="" type="checkbox"/> Restholz
<u>43</u> % direkt ab Waldin Silo	<u>33</u> % Sägerei
_____ % indirekt (ab Zwischenlager)	_____ % Schreinerei
_____ % gemischt (direkt + indirekt)	_____ % Zimmerei
	_____ % Spanplattenfabr.
Sortiment: <input checked="" type="checkbox"/> Harte Laubhölzer	Wassergehalt w: <input type="checkbox"/> 10-25%
<input checked="" type="checkbox"/> Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer	<input checked="" type="checkbox"/> 25-40%
<input type="checkbox"/> Rinde	<input type="checkbox"/> 40-50%
<input type="checkbox"/> Restholz	<input type="checkbox"/> 50-60%
	<input type="checkbox"/> > 60%
Abrechnung: <input checked="" type="checkbox"/> pro Sm ³	Preis: <u>35</u> Fr. / Sm ³ für Brennstoff: _____ mit w = _____ %
<input checked="" type="checkbox"/> pro kWh	_____ Fr. / kWh
<input type="checkbox"/> pro t atro	_____ Fr. / t atro

Feuerung	
Feuerungstyp: <input checked="" type="checkbox"/> Unterschubfeuerung	<input type="checkbox"/> Vorschubrostfeuerung <input type="checkbox"/> _____
Regelung: <input checked="" type="checkbox"/> Leistung <input type="checkbox"/> einstufig 100%	<input checked="" type="checkbox"/> Verbrennung <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur-Regelung
<input type="checkbox"/> mehrstufig (z.B. 100/80/60%)	<input type="checkbox"/> Lambda-Regelung
<input checked="" type="checkbox"/> gleitend (z.B. 1 00% - 30%)	<input type="checkbox"/> CO/Lambda-Regelung
<input type="checkbox"/> weitere _____	<input type="checkbox"/> weitere _____
Abgasreinigung: <input checked="" type="checkbox"/> Zyklon	<input type="checkbox"/> Elektrofilter <input type="checkbox"/> Gewebefilter
<input type="checkbox"/> Filter <input type="checkbox"/> DENOX <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR

Silo	
Bruttovolumen: <u>1'300</u> m ³	Nettovolumen: <u>980</u> m ³
Einbringsystem: <input type="checkbox"/> Einschubförderer	<input checked="" type="checkbox"/> Siloverteiler <input type="checkbox"/> Pumpen <input type="checkbox"/> weitere _____
Austragungssystem: <input checked="" type="checkbox"/> Schubboden	<input type="checkbox"/> Zentrumsaustragung <input type="checkbox"/> weitere _____
Autonomie: <input type="checkbox"/> < 1 Woche	<input checked="" type="checkbox"/> 1-2 Wochen <input type="checkbox"/> 2-4 Wochen
(in kältester Jahreszeit) <input type="checkbox"/> 4-8 Wochen	<input type="checkbox"/> > 8 Wochen
Umsatz Silonettovolumen: <u>16</u> Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr	

Betriebsdaten	
Vollbetriebsstunden: Holz <u>2'200</u> h/a	Öl _____ h/a
Jahresverbrauch: Holz <input checked="" type="checkbox"/> <u>16'000</u> Sm ³ /a	<input type="checkbox"/> _____ t _{atro} /a <input type="checkbox"/> <u>16'000</u> MWh/a mit $\eta_a = $ <u>90</u> %
Öl <input type="checkbox"/> _____ t/a	<input type="checkbox"/> _____ t/a
Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung	<u>150'000</u> kWh/a
Nutzwärme: <u>14'500</u> MWh/a	

Investitionen	Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	Wartung & Unterhalt	Wartung & Un- terhaltskosten
Baukosten Heizraum:	1.390.000 Fr.	50. Jahre	5,48 %	75.030 Fr./a	1,0 %	13.700 Fr./a
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt):	1.390.000 Fr.	50. Jahre	5,48 %	75.030 Fr./a	1,0 %	13.700 Fr./a
Siloustragung:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Baukosten Tankraum:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Elektro- u. Sanitärinstallation:	120.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	8.520 Fr./a	1,5 %	1.800 Fr./a
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler:	1.390.000 Fr.	23. Jahre	7,49 %	93.260 Fr./a	3,0 %	39.500 Fr./a
Kaminanlage:	730.000 Fr.	20. Jahre	7,96 %	58.110 Fr./a	2,8 %	20.550 Fr./a
Hacker:	450.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	31.930 Fr./a	1,0 %	4.500 Fr./a
Nahwärmeleitung:	4.060.000 Fr.	27. Jahre	6,94 %	221.790 Fr./a	0,94 %	38.100 Fr./a
Planungshonorare:	1.730.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	90.110 Fr./a		
Messungen u. Auswertungen (P+D-Projekt)						15'000 Fr./a
Förderbeiträge:						
<input checked="" type="checkbox"/> Bund	1.080.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	76.480 Fr./a		
<input checked="" type="checkbox"/> Kanton	1.50.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	11.650 Fr./a		
<input checked="" type="checkbox"/> Anschluss-gebühren	2.340.000 Fr.	25. Jahre	7,10 %	163.900 Fr./a		

Jahreskosten (ohne Teuerung)			
Kapitalkosten (siehe Investitionen):		Total	325.560 Fr./a
Energiekosten:			
Holz	560.000 Fr./a		
Strom	27.000 Fr./a		
Öl	..... Fr./a	Total	587.000 Fr./a
Wartung & Unter- haltskosten:	Personal, Wartung, Service Kaminfeger, Messkontrollen	116.330 Fr./a 15.000 Fr./a	Total 133.150 Fr./a
Nebenkosten:	Verwaltung Versicherung, Steuern	..... Fr./a Fr./a	Total Fr./a
Jahreskosten total:			1.105.710 Fr./a

Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)			
Nutzwärme:	14.500 MWh/a	Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz	..... 5,7... Rp./kWh
Vollbetriebsstunden:	2.200 h/a	Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz	..... 7,6... Rp./kWh
Anlagekosten:	1.410 Fr./kW		
Nahwärmenetzkosten:	830 Fr./m		

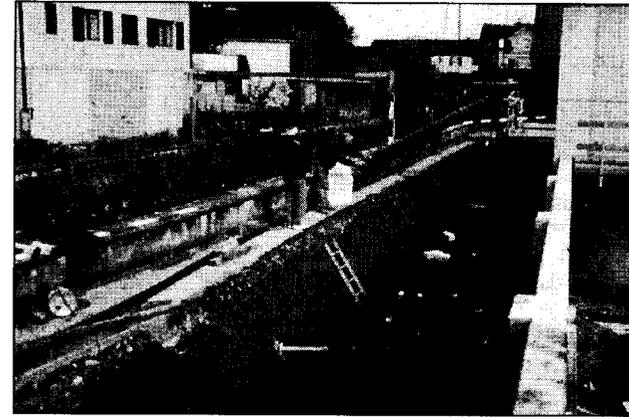
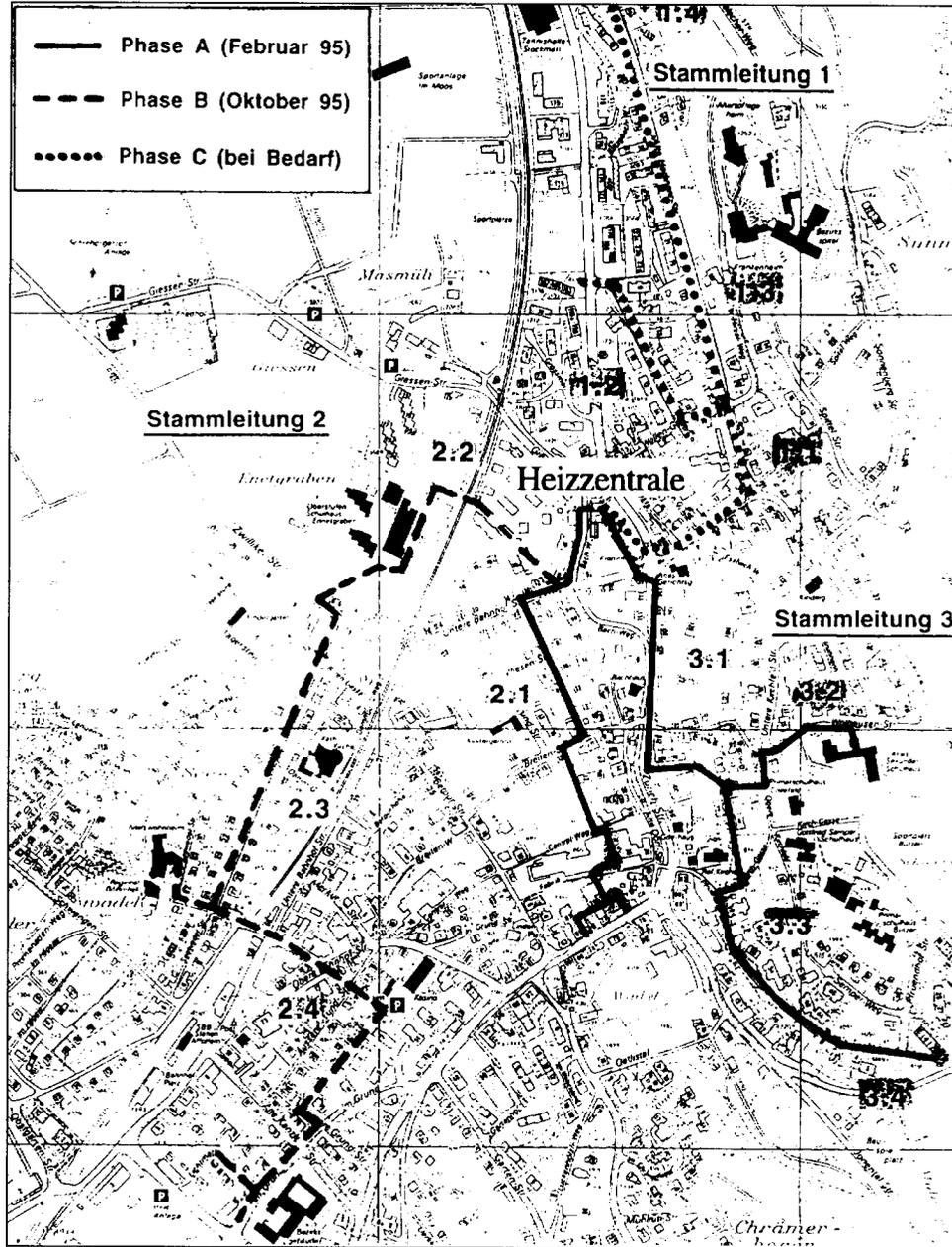
Verrechnungsmodus	Nahwärmeverbund		
Wärmepreis:	..... 6,3 Rp./kWh	Anschlussgebühr pauschal:	..... 350 Fr./kW
Grundgebühr:	..... 30..... Fr./kW und Jahr		

Weitere Unterlagen	
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung	Angaben zu: <input type="checkbox"/> Vorstudienphase
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude	<input type="checkbox"/> Vorprojektphase
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund	<input type="checkbox"/> Projektphase
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung	<input type="checkbox"/> Ausführungs- und Fachbauleitungsphase
	<input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung und Abnahme

Besonderheiten

- Anlage mit Abgaskondensation.
- 2 Jahre nach Inbetriebnahme erfolgt Abrechnung nach Wärmemessung.

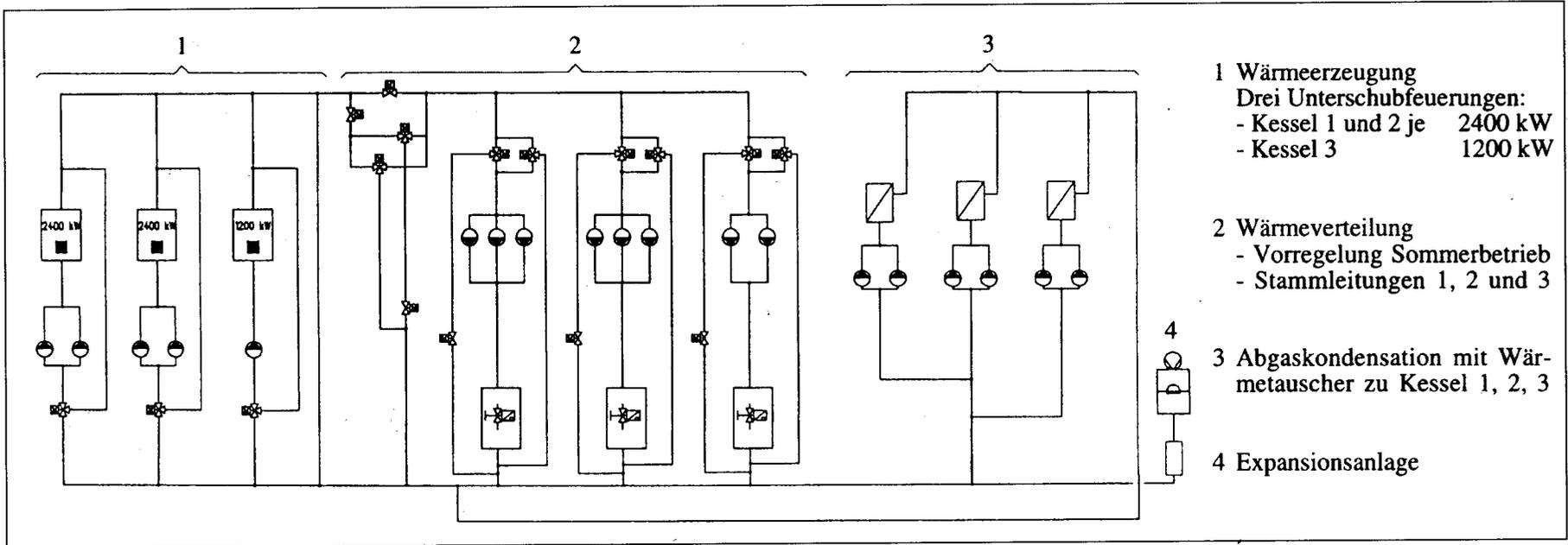
Fernwärmeleitungsnetz Wärmeverbund Affoltern a.A.



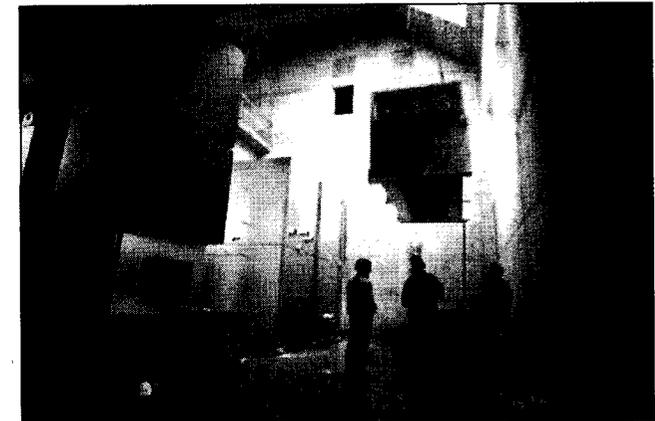
Einbringen der Rohrleitungen in den Graben



Nachdämmung der Schweissstellen auf der Baustelle



Einbringen der Kesselteile in die Heizzentrale mittels Pneukran



Unterschubfeuerung in der Heizzentrale (Rohmontage)

Beispiel 5: Waldholz, 1.4 MW , monovalent, Mehrkesselanlage, Wärmeverbund Anlagensteckbrief

Objekt

Standort: Linthal Höhe über Meer 650 m.ü.M.
 Zweck: Raumwärme Warmwasser 0 Prozesswärme
 Wärmebezüger: 2 Schulhaus 2 E F H 3 MFH 1 Turnhalle 1 Altersheim
 EKZ, Energiekennzahl _____ MJ/m la^{1/m2}/EBF, Energiebezugsfläche _____ m²

Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau 985 kW Endausbau 1'400 kW
 Wärmeenergiebedarf: Grundausbau _____ MWh/a Endausbau _____ MWh/a
 Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 1'000 kW Holzkessel 2 400 kW Holzkessel 3 _____ kW
 Ökessel _____ kW Gaskessel _____ kW _____ kW

Nahwärmnetz: Leistung k W Trasseelänge _____ m

Brennstoff

Versorgung: Ankauf von Energieholz
 Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung:
 CI Kombination Ankauf + Eigenversorgung _____ % Eigenversorgung

Waldhackschnitzel Restholz 0

100 % direkt ab Wald in Silo _____ % Sägerei
 _____ % indirekt (ab Zwischenlager) _____ % Schreinerei
 _____ % gemischt (direkt + indirekt) _____ % Zimmerei
 _____ % _____ % Spanplattenfabr.

Sortiment: Harte Laubhölzer Wassergehalt w: 10-25%
 Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer 25-40%
 Rinde 40-50%
 0 Restholz 50-60%
 > 60%

Abrechnung: pro Sm³ Preis: _____ Fr. / Sm³ für Brennstoff: mit w = _____ %
 pro kWh 0,11 Fr. / kWh
 0 pro t atro _____ Fr. / t atro

Feuerung

Feuerungstyp: Unterschubfeuerung Vorschubrostfeuerung 0

Regelung: Leistung 0 einstufig 100% Verbrennung Temperatur-Regelung
 mehrstufig (z.B. 1 00/80/60%) Lambda-Regelung
 gleitend (z.B. 1 00% - 30%) CO/Lambda-Regelung
 0 weitere weitere

Abgasreinigung: Zyklon Gewebefilter
 Filter Elektrofilter SNCR
 DENOX SCR

Silo

Bruttovolumen: 2'560 m³ Nettovolumen: 2'000 m³

Einbringsystem: Einschubförderer Siloverteiler Pumpen weitere Kran....
 Austragungssystem: Schubboden Zentrumsaustragung weitere Kran.....

Autonomie: < 1 Woche 0 1-2 Wochen 2-4 Wochen
 (in **kältester** Jahreszeit) 4-8 Wochen > 8 Wochen

Umsatz Silonettovolumen: 1-2 Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr

Betriebsdaten

Vollbetriebsstunden: Holz h/a Öl h/a
 Jahresverbrauch: Holz ~2'500 Sm³/a 0 t atro/a MWh/a mit η_a = %
 Öl l/a t/a
 Stromverbrauch zum Betrieb der **Holzfeuerung** kWh/a

Nutzwärme: MWh/a

Investitionen		Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	wartung & Unterhalt	Wartung & Un- terhaltskosten
Baukosten Heizraum:	235'093 Fr.	40. Jahre	5,28 %	14'525 Fr./a	0,25 %	687 Fr./a	
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt):	345'008 Fr.	60. Jahre	5,28 %	18'217 Fr./a	0,25 %	862 Fr./a	
Sibaustragung:	73'500 Fr.	20. Jahre	8,02 %	6'245 Fr./a	2,00 %	1550 Fr./a	
Baukosten Tankraum:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Elektro- u. Sanitärinstallation:	33'205 Fr.	12. Jahre	11,28 %	8'309 Fr./a	2,50 %	1930 Fr./a	
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler:	234'000 Fr.	15. Jahre	9,63 %	22'534 Fr./a	1,00 %	2'340 Fr./a	
Kaminanlage:	22'849 Fr.	20. Jahre	8,02 %	1'833 Fr./a	..... %	..... Fr./a
Hacker:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Nahwärmeleitung:	409'265 Fr.	30. Jahre	6,51 %	26'643 Fr./a	1,00 %	4'092 Fr./a	
Planungshonorare:	264'338 Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Förderbeiträge:							
<input checked="" type="checkbox"/> Bund	125'000 Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a		
<input type="checkbox"/> Kanton	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a		
<input type="checkbox"/> Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a			

Jahreskosten (ohne Teuerung)		Total
Kapitalkosten (siehe Investitionen):		98'676 Fr./a
Energiekosten:		
Holz	100'000 Fr./a	
Strom	..... Fr./a	
Öl	..... Fr./a	
		Total
Wartung & Unter- haltskosten:	Personal, Wartung, Service Kaminfeger, Messkontrollen	4'000 Fr./a 1'000 Fr./a
		Total ...5'000 Fr./a
Nebenkosten:	Verwaltung Versicherung, Steuern	1'000 Fr./a 2'000 Fr./a
		Total ...3'000 Fr./a
Jahreskosten total:		..... Fr./a

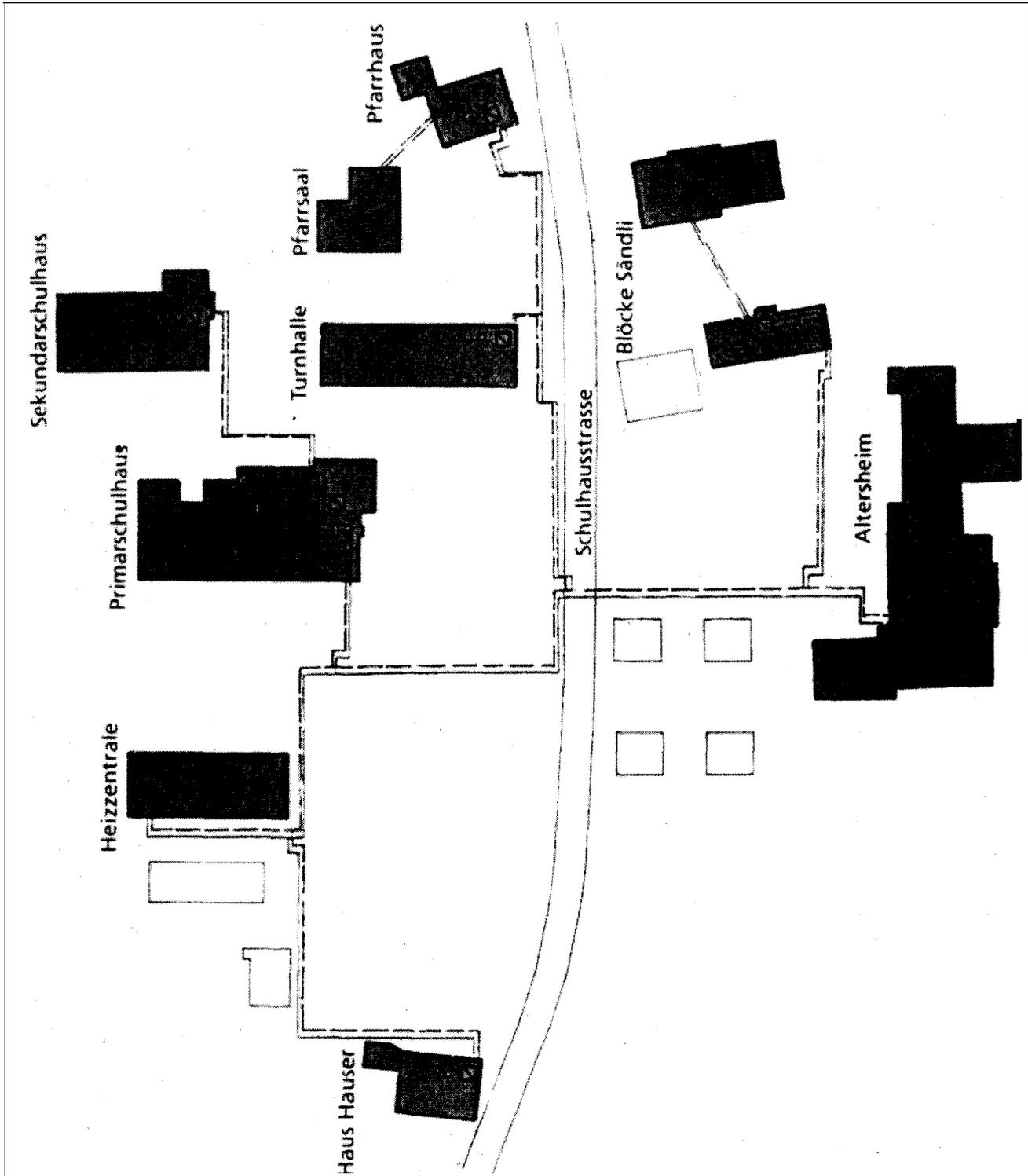
Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)			
Nutzwärme:	..... MWh/a	Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz	..... Rp./kWh
Vollbetriebsstunden:	..... h/a	Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz	..... Rp./kWh
Anlagekosten:	1'218 Fr./kW		
Nahwärmenetzkosten:	885 Fr./m		

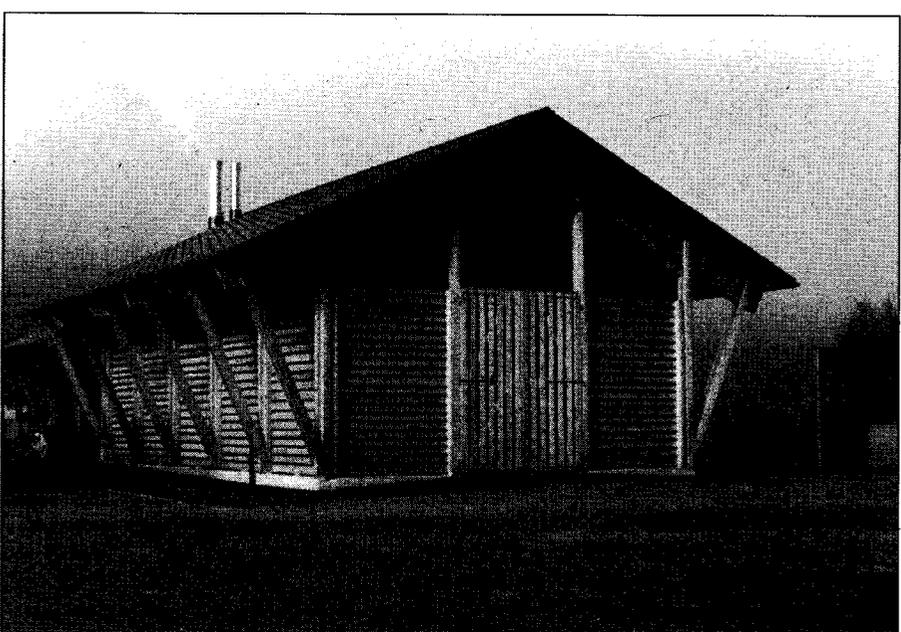
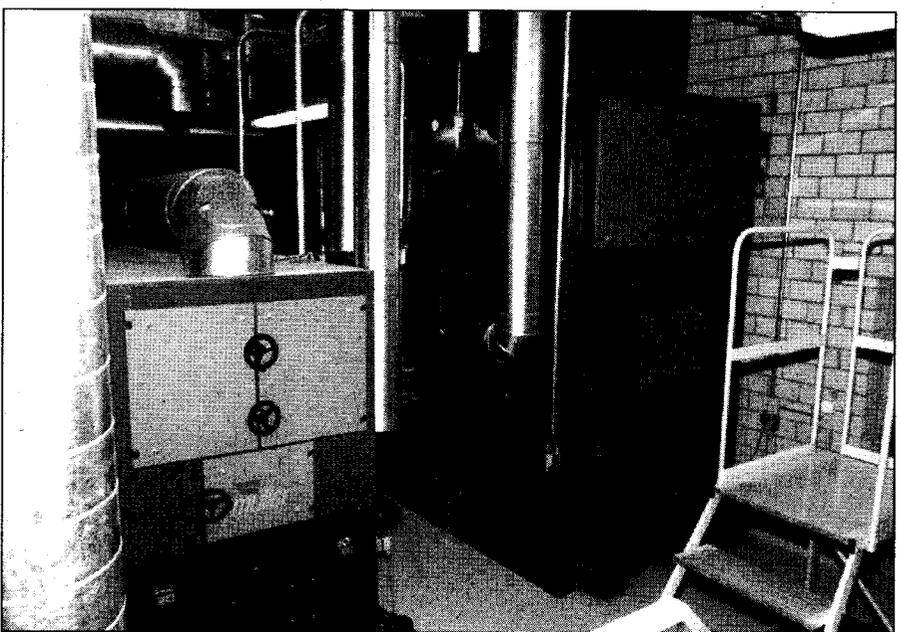
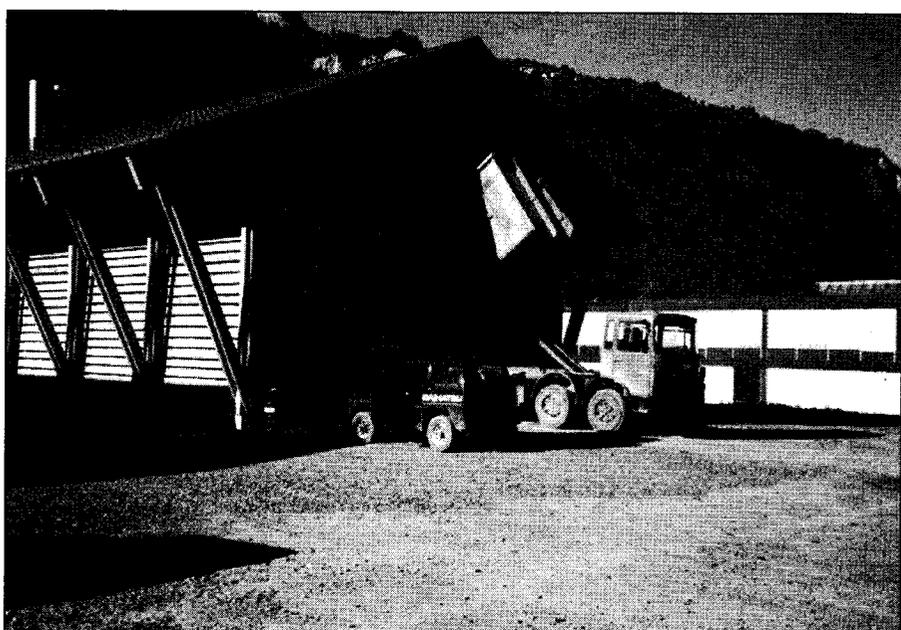
Verrechnungsmodus Nahwärmeverbund	
Wärmepreis:	11,5 Rp./kWh
Grundgebühr:	..... Fr./kW und Jahr
Anschlussgebühr pauschal:	..... Fr./kW

Weitere Unterlagen	
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung	Angaben zu: <input type="checkbox"/> Vorstudienphase
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude	<input type="checkbox"/> Vorprojektphase
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund	<input type="checkbox"/> Projektphase
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung	<input type="checkbox"/> Ausführungs- und Fachbauleitungsphase
	<input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung und Abnahme

Besonderheiten	
-	Investitionszulage Bund : 349'000.-
-	Die LRV-Messung erfolgt am 1.2.1995

Übersicht Wärmeverbund

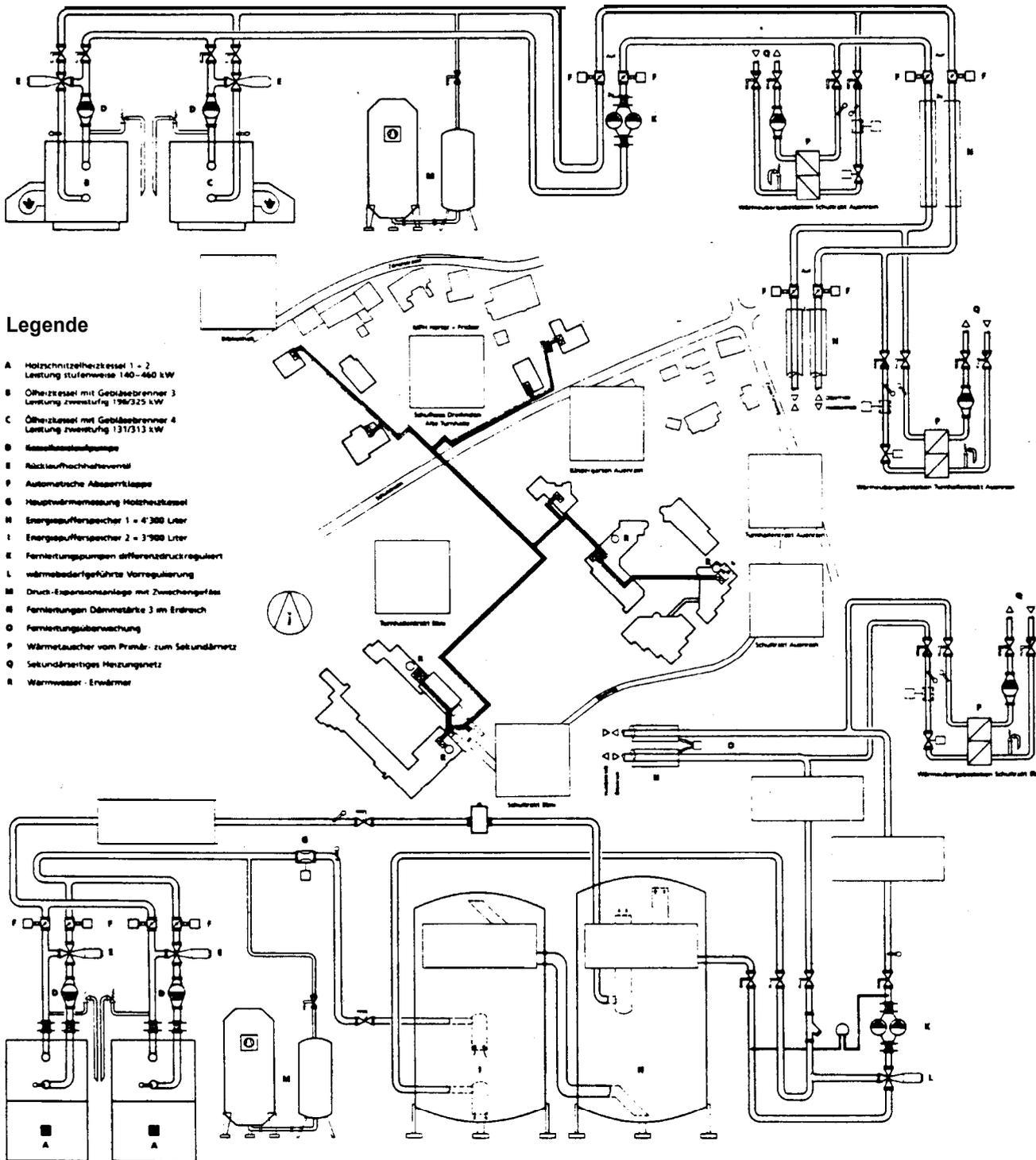




Beispiel 6: Waldholz, 800 kW, bivalent, Mehrkesselanlage, Nahwärmeverbund
Anlagensteckbrief

Objekt	
Standort: <u>Nellenbach 2H</u>	Höhe über Meer _____ m.ü.M.
Zweck: <input checked="" type="checkbox"/> Raumwärme <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasser <input checked="" type="checkbox"/> Prozesswärme 7 <input checked="" type="checkbox"/> Badwasser	
Wärmebezüger: <u>4</u> Schulhaus EFH <u>2</u> MFH <u>2</u> Turmhallen <u>1</u> Schwimmbad <u>1</u> Gibrietel	EKZ, Energiekennzahl _____ MJ/m ² /a EBF, Energiebezugsfläche _____ m ²
Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau <u>800</u> kW	Endausbau <u>800</u> kW
Wärmeenergiebedarf: Grundausbau <u>1.500</u> MWh/a	Endausbau <u>2.000</u> MWh/a
Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 <u>400</u> kW	Holzkessel 2 <u>400</u> kW
Ökessel <u>1</u> <u>325</u> kW	Holzkessel 3 _____ kW
Nahwärmenetz: Leistung <u>500</u> kW	Trasseelänge <u>600</u> m
Bronnstoff	
Versorgung: <input checked="" type="checkbox"/> Ankauf von Energieholz	<input type="checkbox"/> Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung: _____
<input type="checkbox"/> Kombination Ankauf + Eigenversorgung _____ % Eigenversorgung	
<input checked="" type="checkbox"/> Waldhackschnitzel	0 Restholz <input type="checkbox"/> _____
<u>100</u> % direkt ab Wald in Silo	_____ % Sägerei
_____ % indirekt (ab Zwischenlager)	_____ % Schreinerei
_____ % gemischt (direkt + indirekt)	_____ % Zimmerei
	_____ % Spanplattenfabr.
Sortiment: <input checked="" type="checkbox"/> Harte Laubhölzer	Wassergehalt w: <input type="checkbox"/> 10 - 25%
<input checked="" type="checkbox"/> Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer	<input type="checkbox"/> 25-40%
<input type="checkbox"/> Rinde	<input checked="" type="checkbox"/> 40 - 50%
<input type="checkbox"/> Restholz	<input type="checkbox"/> 50 - 60%
	<input type="checkbox"/> > 66%
Abrechnung: <input type="checkbox"/> pro Sm ³	Preis: _____ Fr. / Sm ³ für Brennstoff: _____ mit w = _____ %
<input checked="" type="checkbox"/> pro kWh	<u>0,0433</u> Fr. / kWh
<input type="checkbox"/> pro t atro	Fr. It atro
Feuerung	
Feuerungstyp: <input checked="" type="checkbox"/> Unterschubfeuerung	0 Vorschubrostfeuerung <input type="checkbox"/> _____
Regelung: <input checked="" type="checkbox"/> Leistung <input type="checkbox"/> einstufig 100%	<input checked="" type="checkbox"/> Verbrennung <input checked="" type="checkbox"/> Temperatur-Regelung
Cf mehrstufig (z.B. 100/80/60%)	<input type="checkbox"/> Lambda-Regelung
<input checked="" type="checkbox"/> gleitend (z.B. 100% - 30%)	0 CO/Lambda-Regelung
0 weitere _____	<input type="checkbox"/> weitere _____
Abgasreinigung: <input checked="" type="checkbox"/> Zylo	<input type="checkbox"/> Elektrofilter
<input type="checkbox"/> Filter	0 Gewebefilter
0 DENOX <input type="checkbox"/> SCR	<input type="checkbox"/> SNCR
Silo	
Bruttovolumen: <u>380</u> m ³	Nettovolumen: <u>310</u> m ³
Einbringsystem: 0 Einschubförderer	<input checked="" type="checkbox"/> Siloverteiler <input type="checkbox"/> Pumpen
Austragungssystem: <input checked="" type="checkbox"/> Schubboden	0 weitere _____
	<input type="checkbox"/> Zentrumsaustragung <input type="checkbox"/> weitere _____
Autonomie: 0 < 1 Woche	<input type="checkbox"/> 1-2 Wochen
(in kältester Jahreszeit)	<input checked="" type="checkbox"/> 2 - 4 Wochen
Umsatz Silonettovolumen: <u>7-8</u> Anzahl	0 > 8 Wochen
	Nettovolumenumsatz pro Jahr
Betriebsdaten	
Vollbetriebsstunden: Holz _____ h/a	Öl _____ h/a
Jahresverbrauch: Holz <u>2.100</u> Sm ³ /a	0 _____ tatro/a
Öl <u>30.000</u> l/a	0 _____ t/a
Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung	<u>~11.000</u> kWh/a
Nutzwärme: <u>~1.300</u> MWh/a	

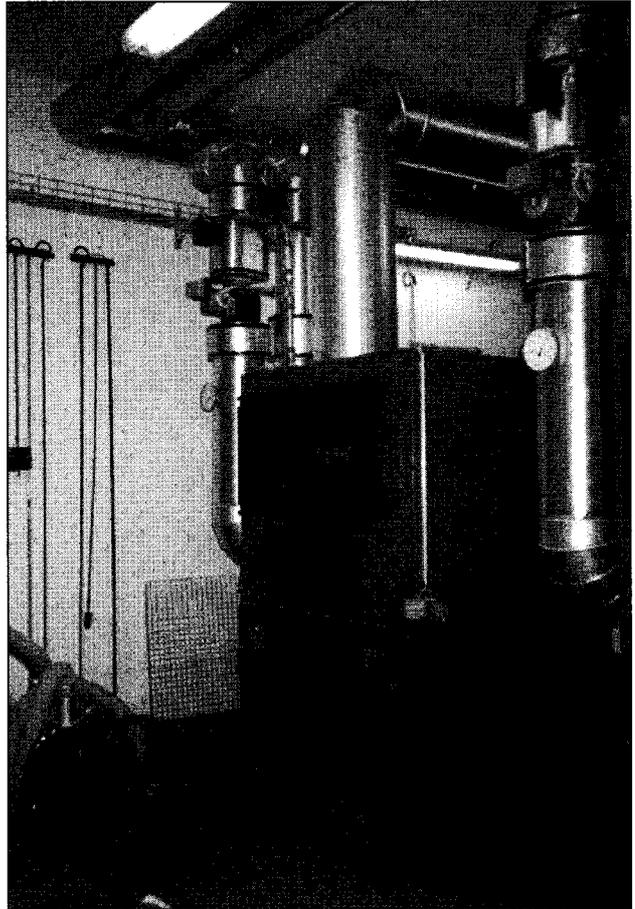
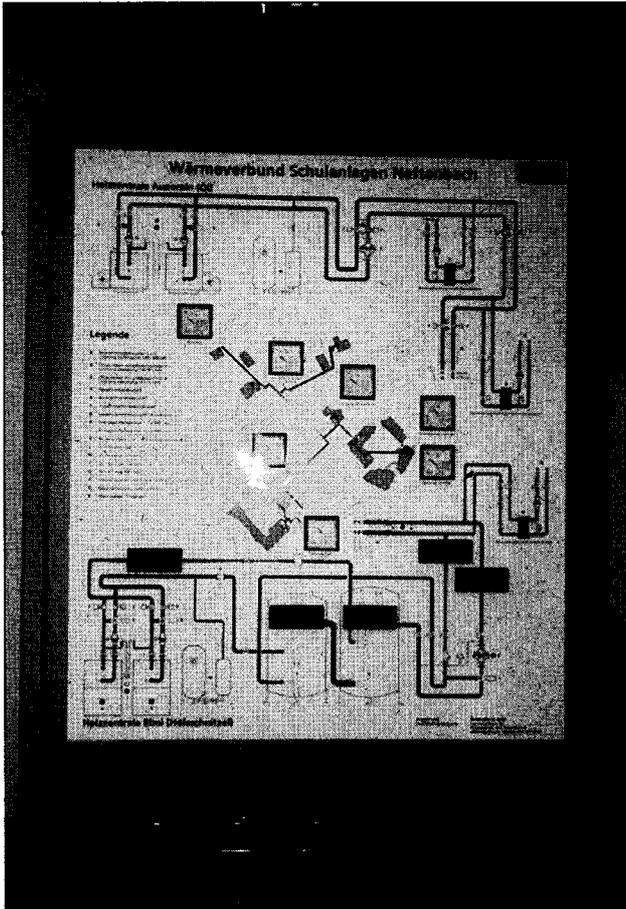
Investitionen							
	Investitionen	Nutzungs- dauer	Annuitäts- faktor	Kapital- kosten	Wartung& Unterhalt	Wartung&Un- terhaltskosten	
Baukosten Heizraum:	100'000 Fr.	50. Jahre	5,91 %	5'910 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Baukosten Silo (inkl. Zufahrt):	250'000 Fr.	50. Jahre	5,91 %	14'780 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Sibustragung:	80'000 Fr.	25. Jahre	7,45 %	5'960 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Baukosten Tankraum:	bestehend Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Elektro- u. Sanitärinstallation:	40'000 Fr.	20. Jahre	8,37 %	3'350 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Feuerung inkl. hydr. Einbindung bis Hauptverteiler:	250'000 Fr.	25. Jahre	7,45 %	11'180 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Kaminanlage:	18'000 Fr.	25. Jahre	7,45 %	1'340 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Hacker:	..... Fr.	..... Jahre	..... %	11'600 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Nahwärmeleitung:	372'000 Fr.	30. Jahre	6,88 %	12'410 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Planungshonorare:	120'000 Fr.	25. Jahre	7,45 %	8'940 Fr./a	..... %	..... Fr./a	
Förderbeiträge:	<input checked="" type="checkbox"/> Bund	110'000 Fr.	25. Jahre	7,45 %	8'200 Fr./a	..... %	..... Fr./a
	<input type="checkbox"/> Kanton	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
	0	..... Fr.	..... Jahre	..... %	..... Fr./a	..... %	..... Fr./a
Jahreskosten (ohne Teuerung)							
Kapitalkosten (siehe Investitionen):					Total	91'170.	Fr./a
Energiekosten:	Holz	57'400 Fr./a					
	Strom	2'100 Fr./a					
	Öl	3'500 Fr./a					
				Total	63'000.	Fr./a	
Wartung& Unter- haltskosten:	Personal, Wartung, Service	12'000 Fr./a					
	Kaminfeger, Messkontrollen	3'000 Fr./a					
				Total	15'000.	Fr./a	
Nebenkosten:	Verwaltung	1'500 Fr./a					
	Versicherung, Steuern	1'500 Fr./a					
				Total	3'000.	Fr./a	
Jahreskosten total:						176'170.	Fr./a
Spezifische Kenndaten (Zusammenfassung)							
Nutzwärme:	1'300 MWh/a		Wärmepreis: exkl. Nahwärmenetz	11,22 Rp./kWh			
Vollbetriebsstunden:	..... h/a		Wärmepreis: inkl. Nahwärmenetz	13,55 Rp./kWh			
Anlagekosten:	1'400 Fr./kW						
Nahwärmenetzkosten:	620 Fr./m						
Verrechnungsmodus Nahwärmeverbund							
Wärmepreis:	6,5 Rp./kWh		Anschlussgebühr pauschal:	0 Fr./kW			
Grundgebühr:	0 Fr./kW und Jahr						
Weitere Unterlagen							
<input type="checkbox"/> Schema Feuerung			Angaben zu:	<input type="checkbox"/> Vorstudienphase			
<input type="checkbox"/> Anordnung im Heizraum/Gebäude				<input type="checkbox"/> Vorprojektphase			
<input type="checkbox"/> Schema Wärmeverbund				<input type="checkbox"/> Projektphase			
<input type="checkbox"/> Abnahmemessung				0 Ausführungs- und Fachbauleitungsphase			
				<input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung und Abnahme			
Besonderheiten							
- Bedarfsgeführte Fernleitungsvorregelung je nach Bedarf der Unterstationen							
- Automatische Ascheentsorgung der beiden Kessel + Multi = Zyklonabscheider in fahrbare Aschecontainer							
- Ascheift hydraulisch							
- Verwertung der anfallenden Asche bzw. halbautomatische Austragung aufs Ackerland mit landwirtschaftlichem Fahrzeug möglich.							



Legende

- A Holzchipheizkessel 1 - 2
Leistung stufenweise 140-460 kW
- B Ölheizkessel mit Gebälgebrenner 3
Leistung zweistufig 196/325 kW
- C Ölheizkessel mit Gebälgebrenner 4
Leistung zweistufig 131/313 kW
- D Kesselfeststoffpumpe
- E Rücklaufhochhebeventil
- F Automatische Absperrklappe
- G Hauptwärmemessung Holzheizkessel
- H Energiepufferspeicher 1 = 4'300 Liter
- I Energiepufferspeicher 2 = 3'900 Liter
- K Fernleitungs-pumpen differenzdruck reguliert
wärmebedarfigeführte Vorregelung
- M Druck-Expansionsanlage mit Zwischengerät
- N Fernleitungen Dämmstärke 3 im Erdreich
- O Fernleitungsuberwachung
- P Wärmetauscher vom Prandier zum Sekundärnetz
- Q Sekundäres Heizungsnetz
- R Warmwasser - Erdwärmer

Projekt und
Ausführungsplanung: Schlemmer & Asaf
Ingenieurbüro für
Holzenergie und Haustechnik
4500 Solothurn Telefon 065-23 69 07



A2 LRV-Grenzwerte für Holzbrennstoffe

	Feuerungswärmeleistung					
	über 20 kW bis 70 kW	über 70 kW bis 200 kW	über 200 kW bis 500 kW	über 500 kW bis IMW	über IMW bis 5 MW	über 5 MW
<i>Holzbrennstoffe</i>						
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 Holzbrennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. a und b mg/m ³	4000 ¹⁾	2000	1000	500	250	250
- für Holzbrennstoffe nach Anh. 5 Ziff. 3 Abs. 1 Bst. c mg/m ³	1000	1000	800	500	250	250
Stickoxide (NO _x), angegeben als Stickstoffdioxid (NO ₂) mg/m ³	2)	2)	2)	2)	2)	2)
gasförmige organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlen- stoff (C) mg/m ³					50	50
Ammoniak und Ammonium- Verbindungen, angegeben als Ammoniak ³⁾ mg/m ³					30	30
<p><i>Hin weise:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Angabe eines Strichs in der Tabelle bedeutet, dass weder nach Anhang 3 noch nach Anhang 1 eine Begrenzung vorgeschrieben ist. ¹⁾ Gilt nicht für Zentralheizungsherde. ²⁾ Siehe Stickoxid-Grenzwert Anhang 1 Ziffer 6. ³⁾ Diese Emissionsbegrenzung ist nur für Feuerungsanlagen mit Entstickungseinrichtung von Bedeutung. 						

²⁾ Die Emissionsbegrenzungen für Chlorverbindungen nach Anhang 1 Ziffer 6 sowie für organische Stoffe nach Anhang 1 Ziffer 7 gelten nicht.

A3 Ermittlung des Jahresnutzungsgrades η_a

Mit dem folgenden Berechnungsweg kann der Jahresnutzungsgrad η_a mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 5\%$ bestimmt werden. Er ist abhängig von den Verlusten der Feuerungsanlage, der Auslastung α und der mittleren Laststufe L . Die Berechnung geht von einer Feuerung aus, deren Kesselwirkungsgrad η_k auf durchschnittlichen Betriebsparametern basiert. Für Feuerungen mit anderen Betriebsparametern wird der Kesselwirkungsgrad η_k mit Hilfe von Korrekturtermen angepasst. Mit der Auslastung α , dem Kesselwirkungsgrad η_k und der mittleren Laststufe L kann der Jahresnutzungsgrad η_a berechnet werden.

Es wird angenommen, dass der Kesselwirkungsgrad η_k über den ganzen Lastbereich konstant ist. Der höhere relative Anteil der Strahlungsverluste im Teillastbetrieb wird durch tiefere Abgastemperaturen kompensiert:

Auslastung α

$$\alpha = \frac{\text{Betriebszeit der Feuerung}}{\text{Einschaltdauer der Feuerung}}$$

Die Einschaltdauer entspricht der Zeit vom Anfeuern bis zum Ausschalten der Feuerung und setzt sich aus der Betriebs- und Bereitschaftszeit zusammen. Die Betriebszeit wird in der Regel mit einem Betriebsstundenzähler oder über die SPS-Steuerung erfasst.

Kesselwirkungsgrad η_k

Der Kesselwirkungsgrad η_k beträgt für eine automatische Holzschnitzelfeuerung mit den nachfolgenden Betriebsparametern 83%:

Betriebsparameter:

Strahlungsverlust q_s	= 1.5%
Holzfeuchte u	= 60%
Abgastemperatur $T_{AG} = 200$ °C	
Luftüberschuss λ^*	= 2

* Der Luftüberschuss λ kann mit CO_2 in Vol.-% aus dem Messprotokoll der periodischen LRV-Messungen wie folgt bestimmt werden: $\lambda = 20.4 / CO_2$.

Die Differenz zu den angenommenen Strahlungsverlusten q_s von 1.5% kann direkt zum Kesselwirkungsgrad η_k addiert oder subtrahiert werden. Falls die Strahlungsverluste q_s nicht bekannt sind,

kann näherungsweise angenommen werden, dass diese die Hälfte der Bereitschaftsverluste q_B betragen. Für die anderen Betriebsparameter gelten die folgenden Korrektursummanden:

pro A	= 10% feuchteres Holz
	→ 0.4% geringerer Kesselwirkungsgrad η_k
pro $\Delta \lambda$	= 0.1 grösserer Luftüberschuss
	→ 0.6% geringerer Kesselwirkungsgrad η_k
pro $\Delta T_{AG} = 10$ °C	= höhere Abgastemperatur
	→ 1.0% geringerer Kesselwirkungsgrad η_k

Die Korrektursummanden gelten auch im umgekehrten Sinn.

Gemittelte Laststufe L

Die gemittelte Laststufe, mit welcher die Feuerung im Durchschnitt über die Betriebszeit läuft, kann wie folgt berechnet werden:

$$L = \frac{AWZ}{\text{Nennleistung} \times t_B} \times 100\% \quad [\%]$$

AWZ = Wärmezähler Endwert -Anfangswert [kWh]
 t_B = Betriebszeit der Feuerung [h]

Bereitschaftsverluste q_B

Für eine moderne Anlage mittlerer Grösse betragen die Bereitschaftsverluste q_B ca. 3%. Als Richtwerte für andere Anlagengrössen gelten:

> 300 kW:	$q_B \leq 3\% - 1\%$ (< 4%-1.5%)
< 300 kW:	$q_B \geq 3\% - 5\%$ (> 4%-6%)

Die Werte in Klammern gelten für alte Anlagen.

Jahresnutzungsgrad η_a

Mit der Auslastung α , dem Kesselwirkungsgrad η_k , den Bereitschaftsverlusten q_B und der gemittelten Laststufe L kann mit der untenstehenden Formel der Jahresnutzungsgrad wie folgt berechnet werden:

$$\eta_a = \eta_k \frac{L - (q_B / \alpha)}{L - q_B} \quad [\%]$$

mit:

α	Auslastung [-]
η_k	Kesselwirkungsgrad [%]
q_B	Bereitschaftsverluste [%]
L	gemittelte Laststufe [%]

Beispiel

Ausgangsdaten

Wärmezähler:

Abgelesene Differenz am Wärmezähler AWZ = 99'764 kWh über die Heizperiode

Feuerung:

70 kW Nennleistung → kleine Anlagengrösse →

Bereitschaftsverluste $q_B = 4\%$

Strahlungsverluste = 2%

Abgastemperatur $T_{AG} = 180^\circ\text{C}$

Luftüberschuss $\lambda = 1.8$

Berechnung der Auslastung α :

Heizperiode:

15. Sept. bis 4. April = 202 Tage = 4848 h

$$\alpha = \frac{2'036 \text{ h}}{4'848 \text{ h}} = 0.42$$

Bestimmung des Kesselwirkungsgrads η_k :

angenommen $\eta_k = 83\%$

Korrekturterme:

Strahlungsverlust $q_s = -0.5\%$

Holzfeuchte $u =$

Luftüberschuss $\lambda = +1.2\%$

Abgastemperatur $T_{AG} = +2.0\%$

Total = +2.7%

Kesselwirkungsgrad $\eta_k = 83\% + 2.7\% = 85.7\%$

Berechnung der gemittelten Laststufe L :

$$\begin{aligned} \text{gemittelte Laststufe } L &= \frac{\text{AWZ}}{\text{Nennleistung} \times t_B} \times 100\% \\ &= \frac{99\,764 \text{ kWh}}{70 \text{ kW} \times 2036 \text{ h}} \times 100\% \end{aligned}$$

gemittelte Laststufe $L = 70\%$

Berechnung des Jahresnutzungsgrads η_a

$$\begin{aligned} \text{Jahresnutzungsgrad } \eta_a &= \eta_k \frac{L - (q_B / \alpha)}{L - q_B} \\ &= 86 \times \frac{70 - (4 / 0.42)}{70 - 4} \% \end{aligned}$$

Jahresnutzungsgrad $\eta_a = \underline{\underline{78.8\%}}$

A4 Berechnung des Stickoxidmassenstroms

Der Stickoxidmassenstrom \dot{m}_{NO_x} kann wie folgt bestimmt werden:

$$\dot{m}_{NO_x} = \dot{V}_{Abgas} NO_x / 1000 \quad [g/h]$$

\dot{V}_{Abgas} : Abgasvolumenstrom (trocken)
[m³/h] bei λ_{norm} und 0 °C

NO_x : Stickoxidkonzentration [mg/m³] bei λ_{norm} im trockenen Abgas

Der trockene Abgasvolumenstrom entspricht näherungsweise dem Volumenstrom der trockenen Verbrennungsluft. Mit dem Zusammenhang zwischen Feuerungsleistung und Massenstrom Holz sowie Heizwert können der Abgasvolumenstrom und der Stickoxidmassenstrom somit auch wie folgt aus der Feuerungsleistung abgeschätzt werden:

$$\dot{V}_{Abgas} \approx \dot{V}_{Verbrennungsluft}$$

$$\dot{V}_{Abgas} = \dot{m}_{Holz} V_{th} \lambda_{Norm} \quad [m^3/h]$$

zudem gilt: $\dot{Q} = \dot{m}_{Holz} H_u$

somit:

$$\dot{V}_{Abgas} = \frac{\dot{Q} V_{th} \lambda_{norm} \cdot 3.6}{18 \cdot 500 - 25 u} \quad [m^3/h]$$

\dot{m}_{Holz} : Massenstrom trockenes Holz in kg/h

V_{th} : theoretisches Verbrennungsluftvolumen pro kg trockenes Holz = 4.58 m³/kg

λ_{norm} : Luftüberschuss bei O_2_{norm} ; für $O_2_{norm} = 11$ Vol.-%: $\lambda_{norm} = 2.1$

\dot{Q} : Feuerungsleistung in MW

H_u : Heizwert in kJ/kg

u : Holzfeuchtigkeit in %_{atro}

Berechnung des Stickoxidmassenstroms bei Mehrkesselanlagen

Bei Mehrkesselanlagen regelt die LRV Anhang 3, Ziffer 3 die Berechnung des Massenstroms wie folgt:

- 1 Bilden mehrere Einzelfeuerungen zusammen eine betriebliche Einheit, so ist für die Emissionsbegrenzung jeder Einzelfeuerung die Feuerungswärmeleistung der ganzen betrieblichen Einheit (gesamte Feuerungswärmeleistung) massgebend.
- 2 Als gesamte Feuerungswärmeleistung gilt die Summe der Feuerungswärmeleistungen aller Einzelfeuerungen der betrieblichen Einheit.
- 3 Von den Absätzen 1 und 2 sind ausgenommen:
 - a Einzelfeuerungen bis 1 MW, sofern eine oder mehrere weitere Einzelfeuerungen der betrieblichen Einheit mit den gleichen Brennstoffen betrieben werden;
 - b Einzelfeuerungen bis 5 MW, sofern keine weiteren Einzelfeuerungen der betrieblichen Einheit mit dem gleichen Brennstoff betrieben werden.

Beispiel 1

Holzessel 1	1.0 MW
Holzessel 2	1.0 MW
Ölkessel	0.9 MW

Jeder Kessel wird isoliert bewertet.

Beispiel 2

Holzessel 1	1.1 MW
Holzessel 2	1.1 MW
Ölkessel	1.5 MW

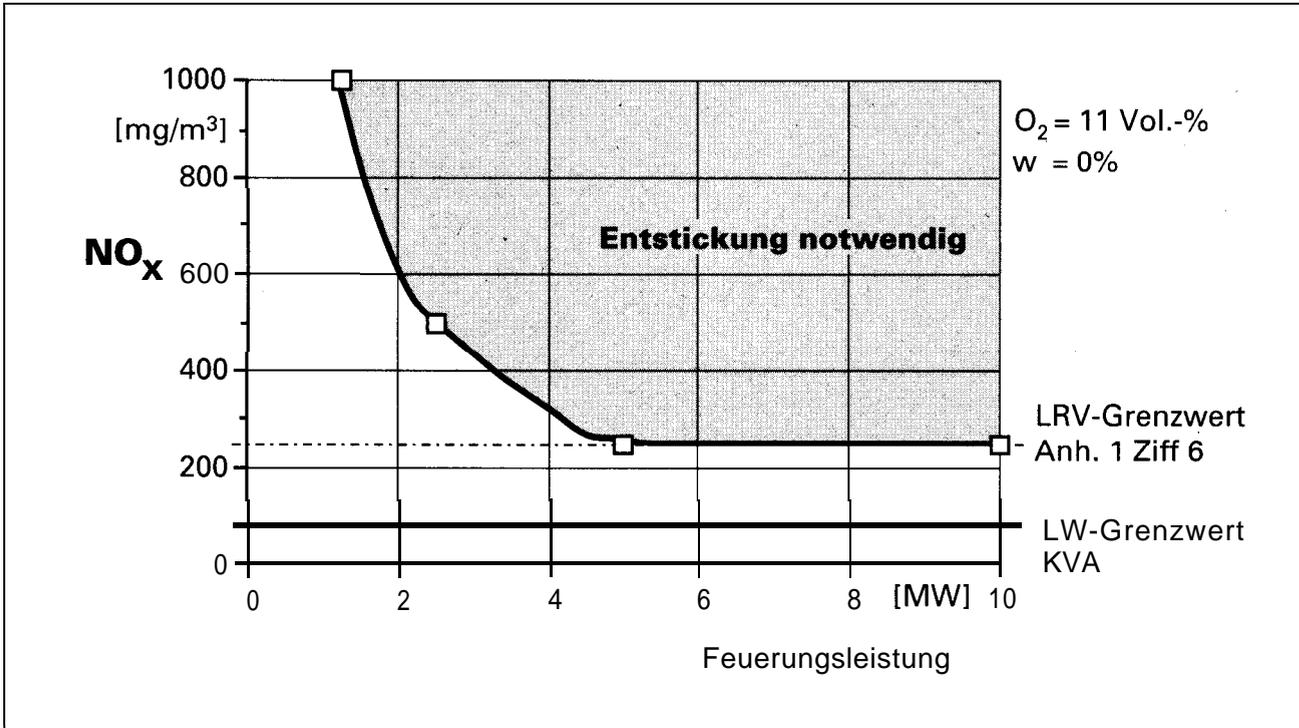
Der Ölkessel wird isoliert bewertet. Bei den Holzesseln sind die Summe der Stickoxidemissionen und die Summe der Leistungen massgebend.

Beispiel 3

Holzessel	5.1 MW
Ölkessel	5.1 MW

Für den Stickoxidmassenstrom werden die beiden Kessel als eine Gesamtanlage bewertet.

NO_x-Gehalt in Funktion der Feuerungsleistung als Kriterium für Entstickungsmassnahmen



A5 Kopiervorlagen Anlagensteckbrief

Objekt	
Standort:	Höhe über Meer m.ü.M.
Zweck:	<input type="checkbox"/> Raumwärme <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/> Prozesswärme
Wärmebezügler:	<input type="checkbox"/> Schulhaus EFH MFH
	EKZ, Energiekennzahl- MJ/m²/a EBF, Energiebezugsfläche m ²
Wärmeleistungsbedarf:	Grundausbau kW Endausbau kW
Wärmeenergiebedarf:	Grundausbau MWh/a Endausbau MWh/a
Wärmeerzeugung:	Holzessel 1 kW Holzessel 2 kW Holzessel 3 kW
	Ölessel kW Gaskessel kW
Nahwärmenetz:	Leistung k W Trasseelänge m
Brennstoff	
Versorgung:	<input type="checkbox"/> Ankauf von Energieholz
	<input type="checkbox"/> Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung:
	<input type="checkbox"/> Kombination Ankauf + Eigenversorgung % Eigenversorgung
	<input type="checkbox"/> Waldhackschnitzel <input type="checkbox"/> Restholz <input type="checkbox"/>
	..... % direkt ab Wald in Sib % Sägerei
	..... % indirekt (ab Zwischenlager) % Schreinerei
	..... % gemischt (direkt + indirekt) % Zimmerei
	..... % ..... % Spanplattenfabr.
Sortiment:	<input type="checkbox"/> Harte Laubhölzer Wassergehalt w: <input type="checkbox"/> 10 – 25%
	<input type="checkbox"/> Nadelhölzer oder weiche Laubhölzer <input type="checkbox"/> 25-40%
	<input type="checkbox"/> Rinde <input type="checkbox"/> 40 – 50%
	<input type="checkbox"/> Restholz <input type="checkbox"/> 50 – 60%
	<input type="checkbox"/> > 60%
Abrechnung:	<input type="checkbox"/> pro Sm ³ Preis: Fr. / Sm ³ für Brennstoff: mit w = %
	<input type="checkbox"/> pro kWh Fr. / kWh
	<input type="checkbox"/> pro t atro Fr. / t atro
Feuerung	
Feuerungstyp:	<input type="checkbox"/> Unterschubfeuerung <input type="checkbox"/> Vorschubrostfeuerung <input type="checkbox"/>
Regelung:	<input type="checkbox"/> Leistung <input type="checkbox"/> einstufig 100% <input type="checkbox"/> Verbrennung <input type="checkbox"/> Temperatur-Regelung
	<input type="checkbox"/> mehrstufig (z.B. 100/80/60%) <input type="checkbox"/> Lambda-Regelung
	<input type="checkbox"/> gleitend (z.B. 100% – 30%) <input type="checkbox"/> CO/Lambda-Regelung
	<input type="checkbox"/> weitere <input type="checkbox"/> weitere
Abgasreinigung:	<input type="checkbox"/> Zyklon
	<input type="checkbox"/> Filter <input type="checkbox"/> Elektrofilter <input type="checkbox"/> Gewebefilter
	<input type="checkbox"/> DENOX <input type="checkbox"/> SCR <input type="checkbox"/> SNCR
Silo	
Bruttovolumen: m ³	Nettovolumen: m ³
Einbringsystem:	<input type="checkbox"/> Einschubförderer <input type="checkbox"/> Siloverteiler <input type="checkbox"/> Pumpen <input type="checkbox"/> weitere
Austragungssystem:	<input type="checkbox"/> Schubboden <input type="checkbox"/> Zentrumsaustragung <input type="checkbox"/> weitere
Autonomie:	<input type="checkbox"/> < 1 Woche <input type="checkbox"/> 1-2 Wochen <input type="checkbox"/> 2-4 Wochen
(in kältester Jahreszeit)	<input type="checkbox"/> 4-8 Wochen <input type="checkbox"/> > 8 Wochen
Umsatz Sibnettovolumen:	..... Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr
Betriebsdaten	
Vollbetriebsstunden:	Holz h/a Öl h/a
Jahresverbrauch:	Holz <input type="checkbox"/> Sm ³ /a Öl <input type="checkbox"/> t _{atro} /a <input type="checkbox"/> MWh/a mit η _a = %
	Öl <input type="checkbox"/> t/a Öl <input type="checkbox"/> t/a
	Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung kWh/a
Nutzwärme:	..... MWh/a

Objekt

Standort: _____ Höhe über Meer _____ m.ü.M.
 Zweck: Raumwärme Warmwasser Prozesswärme
 Wärmebezüger: Schulhaus EKZ, Energiekennzahl **EFH** **MFH** _____
 _____ EBF, Energiebezugsfläche _____ m²

Wärmeleistungsbedarf: Grundausbau _____ kW Endausbau _____ kW
 Wärmeenergiebedarf: Grundausbau _____ MWh/a Endausbau _____ MWh/a
 Wärmeerzeugung: Holzkessel 1 _____ kW Holzkessel 2 _____ kW Holzkessel 3 _____ kW
 Ölkessel _____ kW Gaskessel _____ kW _____ kW

Nahwärmenetz: Leistung _____ kW Trasseelänge _____ m

Brennstoff

Versorgung: Ankauf von Energieholz
 Eigenversorgung (z.B. Sägerei), genaue Bezeichnung: _____
 Kombination Ankauf + Eigenversorgung _____ % Eigenversorgung

Waldhackschnitzel Restholz _____
 _____ % direkt ab Wald In Silo _____ % Sägerei
 _____ % indirekt (ab Zwischenlager) _____ % Schreinerei
 _____ % gemischt (direkt + indirekt) _____ % Zimmerei
 _____ % Spanplattenfabr.

Sortiment: 0 Harte Laubhölzer Wassergehalt w: 0 10 – 25%
 Nadelholzer oder weiche Laubhölzer 0 25-40%
 Rinde 40 – 50%
 Restholz 0 50 – 60%
 0 > 60%

Abrechnung: pro Sm³ Preis: = _____ Fr. / Sm³ für Brennstoff: _____ mit w %
 pro kWh _____ Fr. / kWh
 pro t atro _____ Fr. / t atro

Feuerung

Feuerungstyp: Unterschubfeuerung 0 Vorschubrostfeuerung _____

Regelung: 0 Leistung einstufig 100% Verbrennung 0 Temperatur-Regelung
 mehrstufig (z.B. 100/80/60%) Lambda-Regelung
 gleitend (z.B. 100% – 30%) 0 CO/Lambda-Regelung
 weitere _____ 0 weitere _____

Abgasreinigung: Zyklon Filter Elektrofilter 0 Gewebefilter
 DENOX **SCR** **SNCR**

Silo

Bruttovolumen: _____ m³ Nettovolumen: _____ m³

Einbringsystem: 0 Einschubförderer Siloverteiler Pumpen 0 weitere _____
 Austragungssystem: 0 Schubboden Zentrumsaustragung weitere _____

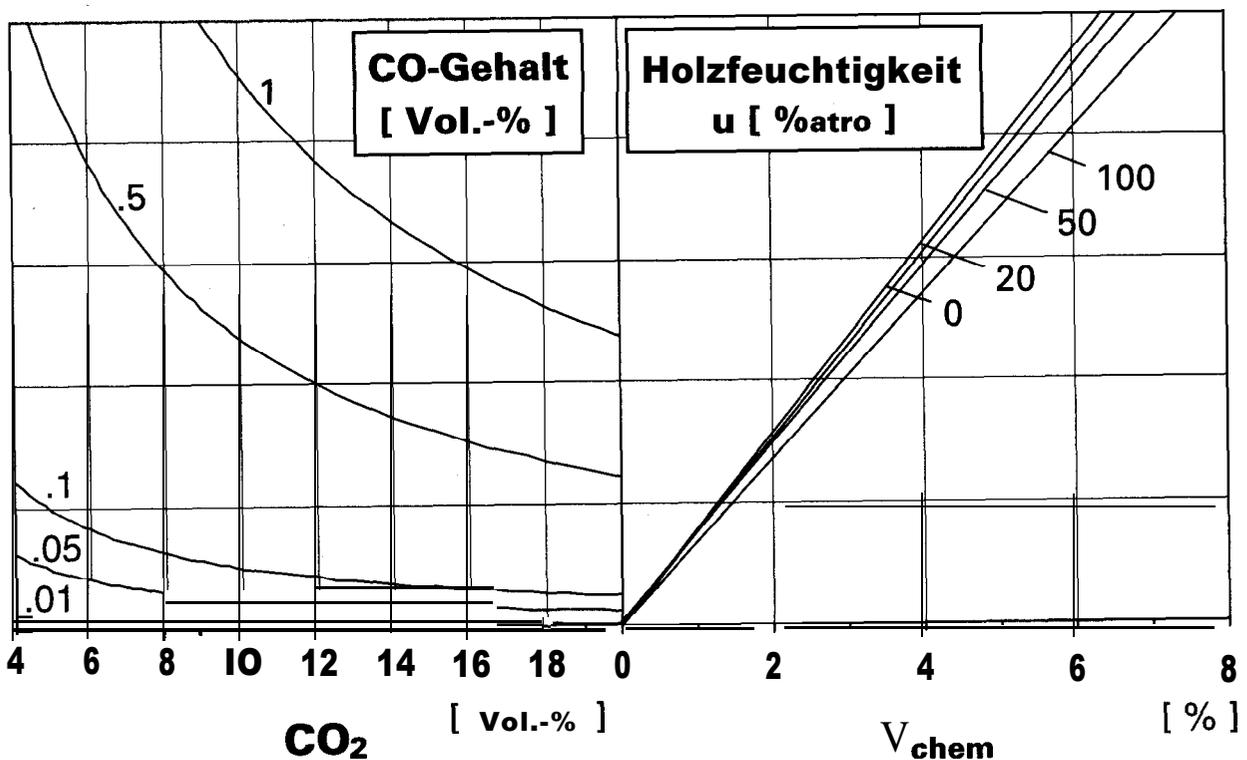
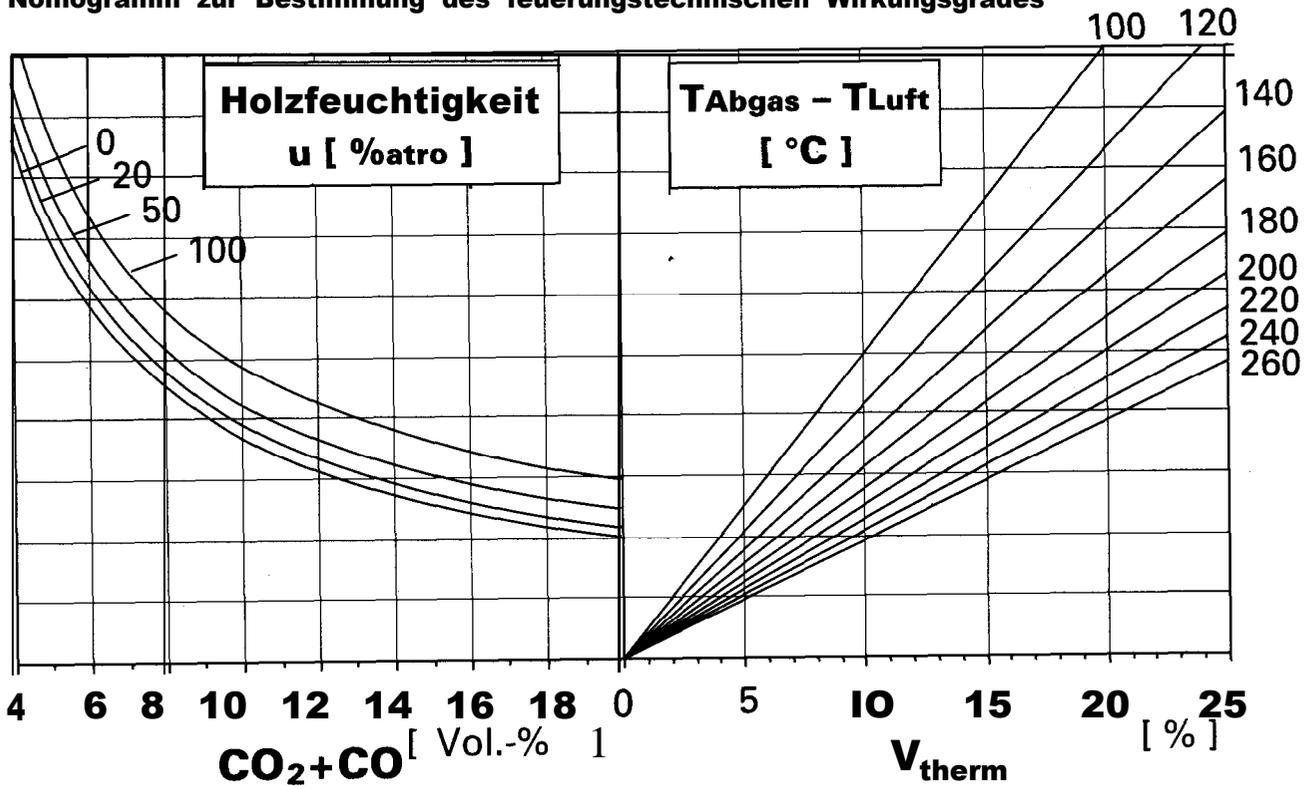
Autonomie: 0 < 1 Woche 1 – 2 Wochen 0 2-4 Wochen
 4 – 6 Wochen > 6 Wochen
 Umsatz Silonettovolumen: _____ Anzahl Nettovolumenumsatz pro Jahr

Betriebsdaten

Vollbetriebsstunden: Holz _____ h/a Öl _____ h/a
 Jahresverbrauch: Holz _____ Sm³/a _____ t_{atro}/a 0 _____ MWh/a mit η_a = _____ %
 Öl 0 _____ l/a 0 _____ t/a
 Stromverbrauch zum Betrieb der Holzfeuerung _____ kWh/a

Nutzwärme: _____ MWh/a

Nomogramm zur Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades



A6 Ausschreibungsvorlage SFIH

SFIH STANDARD - Ausschreibung Schnitzelfeuerung

Bauvorhaben:

Bauherrschaft:

Telefon-Nummer: Fax-Nummer:

Architekt:

Telefon-Nummer: Fax-Nummer:

Planer:

Telefon-Nummer: Fax-Nummer:

Unternehmer:

Telefon-Nummer: Fax-Nummer:

Arbeitsgattung: **BKP 242. WAERMEERZEUCUNG HOLZ**

Eingabetermin:

Preisstand:

Ausführungstermin:

Offertsumme netto: Offertgültigkeit bis

Ort. Datum:

Unterschrift:

Mit / Ohne Unternhemervorschlag

Allgemeine Bedingungen für die Offerte der Holzfeuerungsanlage

Erstellen der Offerte

Es sind die verlangten Sammelpreise einzusetzen.
Die technischen Angaben sind unbedingt auszufüllen.

Ein detaillierter **Offertbeschreibung** ist vom Anbieter beizulegen. In **diesem** sind alle Einzelheiten sowie Material Menge, Dimensionen und Gewichte aufzuführen.

Die Darstellung dieser Offerten und die Aufteilung der verschiedenen Positionen der Anlage müssen nicht obligatorisch mit jener des Preiszusammenzuges übereinstimmen und dürfen mit dem eigenen Informatik-System für Submissionen erstellt werden. Der Totalpreis der Anlage muss jedoch mit der Preiszusammenstellung übereinstimmen.

Unterbreitung von Alternativen oder Zusätzen welche vom Fabrikanten als wünschenswert oder notwendig angesehen werden.

Die kompletten Beschreibungen dieser Zusatzausführungen sowie eine Erklärung der Vorteile, die diese mit sich bringen, müssen der detaillierten Offerte beigelegt werden.

VORSCHRIFTEN

Die Anlage muss den gesetzlichen Anforderungen entsprechen sowie auch den gültigen eidg. und kantonalen Vorschriften, insbesondere jedoch:

- den Anordnungen der SUVA
 - den Vorschriften der Feuerpolizei
 - VKF Nummer
 - der eidgenössischen Luftreinhalte-Verordnung LRV 92
- den Normen und Empfehlungen der SIA und der beruflichen Vereinigungen im Zusammenhang mit den behandelten Techniken.

GARANTIE

- 2 Jahre auf den Heizkessel
 - 1 Jahr auf Förder- und Transportanlagen (Austragung, Schnecken Kettenförderer usw.) und dem Einfüllsystem des Silos, Ventilatoren etc.
 - 1 Jahr auf elektrische Komponenten (Schaltschrank, Thermostaten, Sonden usw.)
- Einhaltung der angegebenen Leistungs- und Garantiewerte.
- Die Garantie erstreckt sich nicht auf die dem natürlichen Verschleiss unterworfenen Anlageteile.

LEISTUNGEN DES ANLAGELIEFERANTEN

- Dispositionsplan der Holzfeuerungsanlage
- Plan für die Einlegeeile im Silo (ohne statische Berechnung)
- Elektroschema
- **Betriebsanleitung**, Revisions- und Wartungspläne

AUSFUEHRUNGEN DURCH DEN HEIZKESSELLIEFERANTEN

- Lieferung **des** gesamten Materials franko Baustelle
- Bereitstellung evtl. nötiger Werkzeuge
- komplettes Einrichten und Montage der Anlage
- Kompletter Anstrich der Anlage und Ausbesserungen nach Montage
- Einregulierung und Inbetriebnahme der Anlage mit Instruktion **des** Bedienungspersonals
- Nachregulierung nach ca. 2-monatigem Betrieb

BAUSEITS WIRD ERSTELLT

- | | |
|---------------|---|
| Gebäude: | <ul style="list-style-type: none">- alle Baumeisterarbeiten- Frischluftzufuhr in den Heizraum- alle Zimmerer- und Schreinerarbeiten- alle Malerarbeiten mit Ausnahme der gelieferten Anlage- Versetzen der Zylinderverankerungen und Einlegeeile |
| Installation: | <ul style="list-style-type: none">- Hydraulischer Anschluss des Heizkessels an die Heizungsanlage- Notwendige Hydraulische Sicherheitseinrichtungen |
| Sanitär: | <ul style="list-style-type: none">- den Anschluss der Brandschutzvorrichtung an das Wassernetz sowie die Montage der Ventile oder der vom Unternehmer gelieferten Armaturen. |
| Elektrisch: | <ul style="list-style-type: none">- die Montage sowie Fixierung des Schaltschrankes.- alle elektrischen Anschlüsse vom Schaltschrank zu den verschiedenen Motoren und Geräte.- zur Verfügungsstellung eines Stromanschlusses für die Montagearbeiten und des Schweissgerätes.- Anwesenheit eines Elektromonteurs bei Inbetriebnahme. |
| Isolationen: | <ul style="list-style-type: none">- die Isolation der Abgasrohre vom Heizkessel zum Kamin. |
| Bauseits: | <ul style="list-style-type: none">- Bereitstellung der Räumlichkeiten mit Schlüsselvorhängen für Materialdepot der Unternehmung.- Stellen eines Krans für Ablad und Transport des Heizkessels sowie Zubehör.- Mithilfe beim Einbringen von schweren Teilen. |
| Zufahrt: | <ul style="list-style-type: none">- Diese muss gewährleistet sein. |
| Amtsmessung: | <ul style="list-style-type: none">- Amtsmessung durch anerkanntes, neutrales Messinstitut für 1. Amtsmessung. (Bei nicht Erfüllung der Grenzwerte, gehen die weiteren Messungen zu Lasten des Herstellers insofern der Fehler bei ihm liegt). |

PREIS DER ANLAGE

Die Preise verstehen sich für eine komplette Anlage, welche allen gültigen Vorschriften entspricht sowie **das** sorgfältige Aufstellen und Montieren aller Teile, betriebsbereit, inkl. Verpackung und Transport.

Alle Montagearbeiten die für ein einwandfreies Funktionieren der Anlage notwendig sind, sind **einzuschliessen**, auch wenn diese nicht speziell im **Beschrieb** angefordert werden.

Die Montage **umfasst** auch die Inbetriebnahme der Anlage sowie die Instruktion **des** Betreibers. Im Preis einzurechnen sind sämtliche Spesen der Monteure sowie die Kosten für die An- und Abreise.

Die Preise verstehen sich, wenn nichts anderes vereinbart wurde, für die Montagearbeiten in einer einzigen Operation. **Muss** durch baulich bedingte Gründe die Montage **mehrmals** unterbrochen werden, können diese **Spesen** mit Nachweis **fakturiert** werden.

Eventuelle Preisadjustierungen, sowie auch eventuelle **Verzugs-Schadenersatzforderungen**, welche auch gegenüber dem Unternehmer gemacht werden können, müssen für deren Gültigkeit im Vertrag **erfasst** sein.

ZAHLUNGSBEDINGUNGEN

- 30 % zahlbar innert 30 Tagen ab **Bestellungsingang**
- 30 % bei Rohmontage der Anlage
- 30 % nach Abschluss der Montage, zahlbar innert 30 Tagen nach Rechnungsstellung
- 10 % bei Endabnahme der Anlage und gegen Solidarbürgschaft einer Bank mit Gültigkeit von 2 Jahren, aber spätestens 6 Monate nach Abschluss der Montagearbeiten, in Annahme, **dass** der Fabrikant für eine eventuelle Verschiebung **des** Datums der Inbetriebnahme nicht verantwortlich ist.
- Allfällige andere Zahlungsbedingungen **müssen** schriftlich vereinbart wurden.

ALLGEMEINE LIEFERBEDINGUNGEN

Es gelten die allgemeinen Lieferbedingungen für Wenteller- / Lieferantenfirmer der HLK-Branche **gemäss** Beilage.

Spezifische Anlagendaten des Ingenieurs für den Liefwanten

242.0

Grundlage

Beschrieb der Anlagegrundlagen

(Verwendungszweck, späterer Ausbau, Einbindung in Heizungssystem.
Anlieferung der Schnitzel, Transportfahrzeuge etc.)

ALLGEMEINE ANGABEN UND ANFORDERUNGEN AN DIE AUTOMATISCHE HOLZFEUERUNGSANLAGE

242.01.1

Wärmeerzeugung

Kesselleistung . kW Vorlauftemperatur max. . °C
Betriebsdruck . bar Rücklauftemperatur min. . °C

Brennstoffe:

Waldholz oder **Industrieschnitzel/** Naturbelassen

Einteilung von Energieholz nach anlagentechnischen Kriterien

Nadelholz % Anteil Waldholz . %
Laubholz% Anteil Restholz .%
Rinde ...% Anteil

Sortiment	Schnitzelgrösse mm	Überlängen Gew.-%	max. Anteil Feinanteil* bis 3 mm Gew.-%	max. Rindenanteil Gew.-%	max. Wassergehalt w**	max. Holzfeuchtigkeit u**
Trockene Holzschnitzel fein	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 30 %	< 43 %
Feuchte Holzschnitzel fein	40/20/10	1 % > 80 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Feuchte Holzschnitzel grob	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 10 %	< 50 %	< 100 %
Nasse Holzschnitzel grob mit erhöhtem Rindenanteil	60/20/10	1 % > 220 mm	< 5 %	< 30 %	< 60 %	< 150 %

- zuzüglich max. Nadelanteil von 5%
- * Wassergehalt bzw. Holzfeuchtigkeit von sachgemäss gelagertem Holz ohne Fremdwasser

Zusatzbrennstoffe: (%-Anteil angeben)

.....
.....
.....

242.01.2

Entaschung

Standardausführung für die vorgesehene Kesselgrösse.
Genauer Beschrieb in Unternehmerröferte.

Handentaschung

- Automatische Entaschung mechanisch
 - ~ 100 Liter Aschekübel
 - ~ 600 Liter Aschecontainer
 - ~ 800 Liter Aschecontainer
 - ~ Liter

- Automatische Entaschung pneumatisch
 - ~ 600 Liter Aschecontainer
 - ~ 800 Liter Aschecontainer
 - ~ Liter Aschecontainer

Entaschung auf höher gelegene Ebene als Heizraum



242.06.7

Weitere gewünschte Optionen

(wie Kaminanlage, Schalldämpfer, Abgasrohr V4A, Entlüftung Silo
Aschelift, Empa-Messstutzen usw.)

242.06.8

O
.....
.....

242.06.9

O

Zusätzliche Forderungen des Ingenieurs:

242.0

Planungsgrundlagen

Disposition Heizraum

(Skizze von Heizraum / Silo mit notwendigen Angaben über Masse, Standort
Kamin, Zufahrt zum Silo, Ascheentsorgung etc. oder entsprechende Baupläne)

Grundriss

Schnitt

TECHNISCHE DATEN

SPEZIFISCHE ANGABEN DES FEUERUNGS- HERSTELLERS

Angaben zur Firma:

Anzahl Beschäftigte im Bereich Holzfeuerung: Mitarbeiter
Technisches Personal: Mitarbeiter
Fabrikation / Montage: Mitarbeiter
Serviceabteilung: Mitarbeiter
Servicestellen in:

Eigener Fabrikationsanteil: . . . < %
Bei Import Herstellungsland:
Referenzen mit ähnlichen Anlagen Jahr der Inbetriebnahme:
inkl. Telefon-Nummer:
1
.....
2.

3.

4.

O Referenzliste beilegen, sofern vorhanden

TECHNISCHE ANLAGEDATEN

Feuerung / Kessel
0 Unterschubfeuerung
O Vorschubrostfeuerung
0

Nennleistung kW
Max. **Wassertemperatur** °C
Min. Rücklauftemperatur °C
Max. **Betriebsdruck** bar
Prüfdruck bar
Wasserinhalt Liter
Wasserseitiger Widerstand mbar
Gewicht ohne Inhalt kg
Vorlauf NW
Rücklauf NW

Abgastemperatur bei 100 % Last °C
Abgastemperatur bei SO % Last °C

Feuerungst.-Wirkungsgrad* bei 100 % Last %
Feuerungst.-Wirkungsgrad* bei 50 % Last %
(* bei mittlerer Holzfeuchte)

Betriebsverluste bei Nennleistung %

Garantieinhaltung LRV - Werte **CO** % bei O₂
Staub % bei 0.2

Transportanlage

Transportsystem Silo bis Kessel/ Beschrieb

Durchmesser Schnecken: mm
Querschnitt **Kratzförderer:** mm
Querschnitt. mm



<p>242.01.3</p> <p><u>Brennstofftransport Silo - Kessel</u> Querförderung nach Siloaustragungssystem Transporteinheit bis Stokerschnecke Stokerschnecke Brandschutzeinrichtung gemäss Vorschrift VKF (Die Transporteinheitsgrössen sind in der Detailofferte genau zu spezifizieren)!</p>	<p>242.01.5</p> <p><u>Schaltschrank mit Steuerung / Regelung</u> Metallschrank mit grosser Frontüre, staubdicht, beinhaltend: komplette Vorrichtung für die Steuerung und Überwachung der gesamten Anlage gemäss Grundlage inklusiv Optimierung des Verbrennungsablaufes (Regelungsbereich in detaillierter Offerte zu erläutern) alle Geräte sowie auch Sicherungen, Kontakte, Relais etc. die für die Funktion der Anlage nötig sind. Informations- und Überwachungssystem über alle Funktionen und Störungen</p>
<p>242.01.4</p> <p>Dimensionen und Dispositionen des Silos gemäss beiliegendem Plan, beinhaltet: Schubstange mit Mitnehmer (Anzahl in detaillierter Offerte zu erwähnen) Hydraulikzylinder (Anzahl in detaillierter Offerte zu erwähnen) Hydraulikaggregat Hydraulikanschluss zwischen Zylinder und Hydraulikaggregat Satz Steuerungselemente für Steuerung und Schubboden</p>	<p>242.01.6</p> <p><u>Transport, Montage, Inbetriebnahme und Einregulierung</u> beinhaltend: Transport bis auf die Baustelle des gesamten Materials. Komplette Montage der Anlage mit Ausnahme vom Schaltschrank sowie der elektrischen Anschlüsse der verschiedenen Geräte. Inbetriebnahme der Anlage, Einstellung und Einregulierung Instruktion des Bedienungspersonals Nachregulierung nach ca. 2-monatigem Betrieb</p>
<p>Fr.</p>	<p>Fr.</p>

242.07	<u>Optionen</u>		
242.07.1	<u>Lieferung der Einlegeteile für Silbaustragungssystem</u>	<p>Verankerungssystem pro Schubstange für die Hydraulikzylinder Gleitschiene pro Schubstange Abschlussseisen am Siloaustritt</p> <p>Lieferung der Einlegeteile auf Baustelle ohne Montage. Versetzplan für Maurer.</p>	Fr.
242.07.2	<u>Notfeuerung für Öl oder Gas</u>	<p>Für Notbetrieb (kein Low - Nox)</p> <p>Ausstattung mit einer Wechsellüre für die Montage des Brenners</p> <p>Elektrische Steuerung für Öl- oder Gasbrenner</p>	Fr.
242.07.3	<u>Aschesauger</u>	<p>beinhaltend:</p> <p>mobiler Aschesauger, mit leicht auswechselbarem Filter Behälter oder Container mit Vorabscheider für das Auffangen der Asche Satz Staubsauger - Schlauche fix und flexibel, hitzebeständig (heisse Asche) Schaltschränktafel und elektrisches Anschlusskabel Komplette Lieferung und Inbetriebnahme des Gerätes</p>	Fr.
242.07.4	<u>Siloverteiler</u>	<p>..... Silo Füll- und Verteilvorrichtung zur besseren Ausnützung des Silovolumen.</p> <p>- Beschrieb gemäss spezifischer Unternehmerofferte mit Angabe der Verteilleistung und des Füllgrades</p> <p>- Notwendiges Hydraulikaggregat</p> <p>- Schaltschränkerweiterung</p> <p>- Montage und Inbetriebnahme</p>	Fr.
242.07.5	<u>Siloeinfülldeckel</u>	<p>... Einfülldeckel, Ausführung gemäss Vorlage</p> <p>komplett inkl. Einlegeteilen, Wasserablauf, Fallschutzgitter, Hydraulikanlage oder Öffnungshilfe.</p> <p>- Gemäss spezifischer Unternehmerofferte.</p> <p>- Ergänzung elektrische Steuerung.</p> <p>- Montage und Inbetriebnahme.</p>	Fr.

242.0-	Preis der beschriebenen Anlage	
242.0.1	Wärmeerzeugung	
242.01.1	Wärmeerzeugung / Entstaubung	Fr.
242.01.2	Entscheidung	Fr.
242.01.3	Transport für den Brennstoff	Fr.
242.01.4	Austragungssystem	Fr.
242.01.5	Schaltschrank, Steuerung	Fr.
242.01.6	Transport, Montage, Inbetriebnahme	Fr.
242.0.3	Gewünschte Optionen	
	Nachstehend nur Preis der gewünschten Optionen angeben!	
242.07.1	Einlegeeile	Fr.
242.07.2	Umstellung auf Oel	Fr.
242.07.3	Aschesauger	Fr.
242.07.4	Siloverteiler	Fr.
242.07.5	Siloeinfülldeckel	Fr.
242.07.6	.....	Fr.
242.07.8	.....	Fr.
242.07.9	.....	Fr.
242.0.3.9	.....	Fr.
	Preis Holzfeuerungsanlage	Fr.
	/.....% Rabatt	Fr.
	Anlagepreis exkl. MWST	Fr.
	MWST 6,5%	Fr.
	Anlagepreis inkl. MWST	Fr.

.....% Skonto bei Einhaltung der Zahlungsbedingungen.

Zusatzausführungen die vom Hersteller gegenüber Submission als wünschenswert oder unumgänglich angesehen werden, sind zusätzlich anzubieten.

O Es ist eine zusätzliche Unternehmervariante beigelegt.

A7 Literaturverzeichnis

Holz-Zentralheizungen - Grundlagen für Planung, Projektierung und Ausführung
Impulsprogramm Haustechnik

Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1988
Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Nr. 724.623 d

Energie aus Restholz - Ein Leitfaden für die holzverarbeitende Industrie

Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1994
Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Nr. 724.238 d

Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich

Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1994
Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Nr. 724.270 d

Energie aus Heizöl oder Holz - Eine vergleichende Umweltbilanz

Schriftenreihe Umwelt Nr. 131 - Holz
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1990
Bezugsquelle: BUWAL, 3003 Bern

Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen

Diane 7, Klein-Holzfeuerungen
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1993
Bezugsquelle: ENET, Postfach 142, 3006 Bern

Stromerzeugung aus Holz - Grob beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Holzverstromungsanlagen

Diane 8, Energie aus Altholz und Altpapier
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Nr. 805.182 d

Wirtschaftlichkeit der Holzenergienutzung in der Gemeinde

Förderprogramm Holz
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
Bezugsquelle: VHe, Falkenstrasse 26, 8008 Zürich

Emissionsarme Altholznutzung in 1 - 10 MW-Anlagen

Diane 8, Energie aus Altholz und Altpapier
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Nr. 805.180 d

SNCR-Verfahren zur Stickoxidminderung bei einer Holzfeuerung

Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
Bezugsquelle: ENET, Postfach 142, 3006 Bern

Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz

Thomas Nussbaumer, Diss ETH Nr. 8838, Zürich 1989

Verbrennungsregelung bei automatischen Holzschnitzelfeuerungen

Jürgen Good, Diss ETH Nr. 9771, Zürich 1992

Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz

Thomas Nussbaumer (Hrsg.)
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1990
Bezugsquelle: ENET, Postfach 142, 3006 Bern

Neue Konzepte zur schadstoffarmen Holzenergie-Nutzung

Thomas Nussbaumer (Hrsg.)
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1992
Bezugsquelle: ENET, Postfach 142, 3006 Bern

Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz

Thomas Nussbaumer (Hrsg.)
Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1994
Bezugsquelle: ENET, Postfach 142, 3006 Bern

Energietechnik in der Holzverarbeitung -

Handbuch für Holzindustrie und Handwerk
Klaus Seeger, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen (D) 1989, ISBN 3-87181-317-6

Reinigung von Abgasen

Wolfgang Fritz und Heinz Kern, 2. Auflage, Vogel-Verlag Würzburg (D) 1990, ISBN 3-8023-0244-3

Energietechnik - Technische, ökonomische und ökologische Grundlagen

Kurt Kugeler und Peter-W. Phlippen, Springer-Verlag Berlin 1990, ISBN 3-540-52865-2

A8 Vorschriften und Verordnungen

Luftreinhalte-Verordnung (LRV)

Stand am 1.1.1992

Bezugsquelle: BUWAL 3003 Bern

Form 814.318.142.1

Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

Stand am 1.1.1993

Bezugsquelle: BUWAL 3003 Bern

Form 814.015

Empfehlungen über die Mindesthöhe von Kaminen über Dach

Bezugsquelle: BUWAL 3003 Bern

15. Dez. 1989

Empfehlungen über die Emissionsmessung von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen

Bezugsquelle: BUWAL 3003 Bern

Neuaufgabe in Bearbeitung

Grünschnittsilos

Inhalt: Sicherheitstechnische Anforderungen, Verhalten beim Einstieg in das Silo.

Bezugsquelle: SUVA, Schweizerische Versicherungsanstalt, Postfach, 6002 Luzern

Bestellnummer: 66050.d

Holzspänesilos

SUVA - Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit

Inhalt: Spänematerial, Entleeren von Silos und Gefahren bei der Späneentnahme, Unfälle in Spänesilos, Unfallursachen

Bezugsquelle: SUVA, Schweizerische Versicherungsanstalt, Postfach, 6002 Luzern

Bestellnummer: SBA-Nr. 126

Richtlinien über Stetigförderanlagen

SUVA - Arbeitssicherheit

Inhalt: Bauliche Vorschriften und Sicherheitsvorkehrungen

Bezugsquelle: SUVA, Schweizerische Versicherungsanstalt, Postfach, 6002 Luzern

Bestellnummer: 1545.d

Be- und Entlüften von Heizräumen

SWKI-Richtlinie 91-1, 11/1992

Inhalt: Luftmengenbestimmung, natürliche und mechanische Lüftung, Praxishinweise, Beispiele.

Bezugsquelle: Schweiz. Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren SWKI, Postfach, CH-3001 Bern

Brandschutzrichtlinien

Wärmetechnische Anlagen

Ausgabe 1993

Vereinigung Kant. Feuerversicherungen VKF

Inhalt: Aufstellung von Feuerungsaggregaten, Ableitung der Abgase, Lagerung von Brennstoffen.

Bezugsquelle: Vereinigung Kant. Feuerversicherungen VKF, Bundesgasse 20, 3011 Bern

A9 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.

VKF

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

Auskünfte über die Brandschutzvorschriften für die Restholz-Aufbereitung, -Lagerung und -Nutzung, Adressen der Kantonalen Gebäudeversicherungen und Feuerpolizeibehörden.

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.

EFS

Verband Energiefachleute Schweiz
c/o INFOENERGIE
FAT, 8356 Tänikon
Tel. 052-62 34 70, 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.

Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER

Ab 1995 verstehen sich die Preisangaben inklusive Mehrwertsteuer: Bücher 2%; Videos, Dias und Disketten 6,5%.

Erneuerbare Energien:

Der notwendige «Fort»-Schritt

Der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien gilt als eine Option, längerfristig fossile Energieträger zu substituieren und eine Energieversorgung zu gewährleisten, die im Einklang mit der Ökologie steht. «Erneuerbare Energien: Der notwendige «Fort»-Schritt»: So liess sich die Option umschreiben und nach ihr heisst die Broschüre, welche das Impulsprogramm PACER kurz zusammenfasst. Die einfache, prägnante Beschreibung ermöglicht einen Überblick über die Zielsetzungen, die verschiedenen Angebote und Mittel der Wissensumsetzung von PACER und ist mit grossen Bildern illustriert, die der Veranschaulichung dienen. Ferner umfasst sie die Adressen der Programmleitung und der verschiedenen Ansprechstellen in der Schweiz sowie eine Liste der Träger- und Patronatsorganisationen.
Bestell-Nr: 724.201 d gratis

Strom aus erneuerbaren Energien:

«Photovoltaik -

Grundlagen, Montage und Einspeisung»

Studien des Bundesamtes für Energiewirtschaftszeiten: Der Strom aus Solaranlagen könnte rund 10 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in der Schweiz abdecken. Zur Produktion von Solarstrom bieten sich insbesondere ungenutzte Gebäudeflächen, Parkplätze sowie Flächen entlang von Eisenbahnlinien und Autobahnen an. Für die entsprechende Verbreitung der Solarzellentechnik sind interessierte Berufsleute nötig, welche die Möglichkeiten erkennen und Photovoltaikanlagen bauen wollen. So lässt sich letztlich auch auf eine Kostensenkung hinwirken.

An solche Elektroinstallateure richtet sich die Dokumentation zum gleichnamigen PACER-Kurs «**Photovoltaik - Grundlagen, Montage und Einspeisung**». Sie bietet diesen Berufsleuten das Fachwissen, um die eigene Hemmschwelle gegenüber der unbekannteren Technik abzubauen und eine Anlage realisieren zu können. Schwerpunkt bilden die Netzverbund-Anlagen, bei welchen als Speicher für den unregelmässig anfallenden Solarstrom das öffentliche Netz benützt wird.

Die Dokumentation soll dem Elektroinstallateur als Nachschlagewerk bei Installation und allfälliger Wartung einer Solaranlage dienen. Sie vermittelt deshalb - nebst theoretischem Grundlagewissen über Meteorologie, Solarzellentechnologie sowie Komponenten und Besonderheiten der Solaranlage - eine praktische Anleitung für die Installation. Dazu gehören unter anderem Gesetze, Vorschriften und Bewilligungen, die es beim Bau zu berücksichtigen gilt.

1991, 110 Seiten, Bestell-Nr. 724.242 d

Fr. 24.50

Video «Photovoltaik:

Einführung für Architekten und Bauherren»

Elektrizität ist die gebräuchlichste Energieform, um die Nacht in Tag zu verwandeln. **Elektrizität lässt sich mit Hilfe von Photovoltaik aus der Sonne gewinnen:** Solarzellen wandeln die Sonnenstrahlung in Strom um. Das PACER-Video «**Photovoltaik: Einführung für Bauherren und Architekten**» visualisiert die Möglichkeiten der solaren Stromerzeugung und motiviert zu deren Anwendung.

Die Funktion und der Aufbau einer Solarzelle, ihr Wirkungsgrad sowie die weiteren Komponenten einer Photovoltaik-Anlage sind im Video erklärt und grafisch dargestellt. Solaranlagen werden entweder als Inselanlage oder im Netzverbund betrieben. Bei einer Netzverbundanlage dient das öffentliche Stromnetz als Speicher. Im Gegensatz dazu funk-

tioniert eine Inselanlage unabhängig vom Elektrizitätsnetz und eignet sich dementsprechend für die Stromerzeugung abseits eines Netzanschlusses. Eine Batterie speichert den Überschussstrom.

Nebst diesen Grundlagen zeigt das Video die Montage von Photovoltaik-Anlagen detailliert auf. Statements von Besitzern verdeutlichen, dass sich Unterhalt und Wartung auf periodische Kontrollen beschränken, weil eine Photovoltaik-Anlage keine mechanisch beweglichen Teile aufweist. Beispiele dokumentieren den Handlungsspielraum und die ästhetische Herausforderung, die sich für ArchitektInnen insbesondere bei der Integration von Solarzellen in eine Gebäudefassade ergeben.

Eine Begleitbroschüre ist im Preis inbegriffen - vertieft die Thematik und tritt zusätzlich auf die Planung, Dimensionierung und den Bau einer Photovoltaik-Anlage detailliert ein. Anhand einer Checkliste mit den wesentlichen Beurteilungskriterien lässt sich abschätzen, ob es sinnvoll ist, am untersuchten Objekt eine Anlage zu realisieren.

Video (VHS-PAL 15') inklusive Begleitbroschüre (36 Seiten) 1992, Bestell-Nr. 724.241 d Fr. 31,95

«Photovoltaik - Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen»

Die Photovoltaik, die direkte Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie, hat in den vergangenen Jahren den Sprung von der Anwendung bei Pilotanlagen zur weitverbreiteten Technologie geschafft. Bis ins Jahr 2000 - so sieht das Aktionsprogramm Energie 2000 vor - soll die heute installierte Solarzellenfläche um rund das 200fache gesteigert werden.

An diese Zielsetzung antrauen der PACER-Kurs «**Photovoltaik - Planung in Theorie und Praxis**» sowie die für den Kurs ausgearbeitete Publikation «**Photovoltaik - Planungsgrundlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen**» massgeblich bei. Die Publikation bietet Fachleuten, wie Planern und Ingenieuren, Grundlagenkenntnisse über Sonneneinstrahlung sowie verschiedene Solarsysteme und deren Installation. Das Hauptgewicht liegt auf der Vermittlung praxisnaher Anleitungen für die Planung von Solaranlagen. Insbesondere bei autonomen Systemen, die unabhängig vom öffentlichen Elektrizitätsnetz funktionieren, ist die Planung von grösster Bedeutung, muss doch die Anlage genügend Strom für alle Verbraucher erzeugen und eine Batterie überschüssigen Sonnenstrom speichern können. Bei den Netzverbundanlagen stehen Marktübersicht und Ertragsberechnungen im Mittelpunkt, welche die korrekte Planung erleichtern sollen. Angaben zur Installation von Solaranlagen wie auch Kostenberechnungen runden den planerischen Teil der Dokumentation ab. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen werden sowohl Kosten und Tarifierung als auch graue Energie und Energierücklaufzeit aufgezeigt und Subventionsmöglichkeiten erläutert.

1992, 90 Seiten, Bestell-Nr. 724.243 d

Fr. 20.40

«Photovoltaik: Dachmontagesysteme»

Heute können einfache standardisierte Photovoltaikanlagen bis zu einer Leistung von rund 3 kW durch das Installationsgewerbe ohne grosse Spezialkenntnisse realisiert werden. Damit eröffnet sich für die Fachleute des Baubereichs, insbesondere für Dachdecker und Elektroinstallateure ein neues Auftragspotential. Die Dokumentation «**Photovoltaik: Dachmontagesysteme**» und der gleichnamige Kurs bietet dem Dachdecker das notwendige Wissen, um diese berufliche Chance wahrzunehmen und zusammen mit dem Elektroinstallateur eine photovoltaische Solaranlage normgerecht und einwandfrei funktionsfähig zu installieren, in Betrieb zu setzen und allenfalls zu warten. Grund-

lageninformationen zum Potential, zum Aufbau und zur Funktion von Photovoltaik- sowie Kollektoranlagen führen in die Thematik ein. Das Hauptgewicht liegt auf einer detaillierten Übersicht über die verschiedenen Montagearten, wie die Systeme «Auf Dach», Spezial- und Solardachziegel sowie Integration in die Dachebene oder Fassade. Die Publikation tritt ausserdem auf die Standorteignung der Solaranlagen, das Bewilligungsverfahren sowie die Zusammenarbeit mit Planern und Elektrikern ein und behandelt kurz die Montagesysteme für Kollektoranlagen. 1993, 123 Seiten, Bestell-Nr. 724.246 d Fr. 30.60

Passive und aktive Sonnenenergienutzung: Video: «Sonne und Architektur»

Schon früh richteten die Menschen die Bauweise ihrer Wohnhäuser nach der Sonne aus und profitierten von der Speichereigenschaft gewisser Materialien: Sie haben die Sonnenenergie passiv genutzt. Wenn Licht und Wärme die Räume durchfluten, ist nicht nur eine Energieeinsparung zu erzielen, sondern ebenso lässt sich die Wohnqualität für die BewohnerInnen steigern.

Die heutigen Erkenntnisse eröffnen neue Möglichkeiten, mit der Sonne zu bauen, was im Video **«Sonne und Architektur»** dargestellt wird. Es bietet ArchitektInnen und PlanerInnen aber auch LehrerInnen angehende Baufachleute einen Einblick in eine derzeit anaoeasste Bauweise, die dem Anspruch gerecht wird: **Moderne Architektur befindet sich im Einklang mit Ökonomie.** Anhand von Entwurfskizzen wird durch die wichtigsten planerischen Grundsätze der Solararchitektur geführt. Neuere Bauten aus den Bereichen Wohnen, Dienstleistung, Industrie und Gewerbe verdeutlichen, dass sich mit geschickter Bauweise für alle Gebäudetypen optimale Lösungen zur passiven Nutzung der Sonnenenergie realisieren lassen. Grundsätzlich soll möglichst viel Licht in ein Gebäude eindringen und möglichst wenig Wärme verlorengehen. So gelten beispielsweise in der Grösse der Orientierung des Baues angepasste Fenster und Scheiben mit guter thermischer Isolierung als wichtige Bestandteile der Solararchitektur.

Beinahe grenzenlos ist bei der passiven Sonnenenergienutzung der gestalterische Spielraum für ArchitektInnen. In diesem Zusammenhang sind Glasatrien zu erwähnen und architektonische Konzepte mit durchdachtem Lichteinfall, der eine wohnlich-heile Atmosphäre in den Räumen schafft. Glasatrien wie auch Wintergärten bieten als Pufferzone zwischen beheiztem Wohn- oder Arbeitsbereich und dem Aussenklima zusätzlichen Raum.

1991, (VHS-PAL 12'), Bestell-Nr. 724.211 d Fr. 26.60

«Sonne und Architektur - Leitfaden für die Projektierung»

Schon heute leistet die Sonneneinstrahlung durch die Fenster einen ansehnlichen Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs in Gebäuden. Eine konsequente Nutzung der passiven Sonnenenergie kann mithelfen, den Verbrauch nicht erneuerbarer Energien zu senken. Wie dieses Ziel erreicht werden kann, zeigt das Handbuch **«Sonne und Architektur - Leitfaden für die Projektierung»**.

Die Publikation ist unterteilt in die folgenden Kurzbeschreibungen:

- Potential
- Bauteile und Grundsätze
- technische Installationen
- Bauprojekt Gesetze und Normen

In einer reich gestalteten Beispielsammlung wird anhand bestehender Bauten aufgezeigt, dass sich die Nutzung der

passiven Sonnenenergie bereichernd auf die architektonischen Möglichkeiten auswirken kann.

1992, 151 Seiten, Bestell-Nr. 724.212 d Fr. 46.90

«Solare Warmwassererzeugung - Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»

Die Sonnenenergienutzung bildet für Sanitär- und Heizungsfachleute eine berufliche Herausforderung: Die Fähigkeit, Sonnenenergieanlagen zu installieren und zu warten, kann mithelfen, Arbeitsplätze zu erhalten, neue zu schaffen und Gewinne zu erzielen.

Der PACER-Kurs **«Solare Warmwassererzeugung - Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»** und die gleichnamige Dokumentation unterstützen insbesondere Sanitär- und Heizungsfachleute der Planungs- und Ausführungsstufe sowie Sanitär- und Heizungszeichner in ausführenden Betrieben, sich die fachliche Kompetenz anzueignen, um diese berufliche Chance wahrnehmen zu können. Die Publikation bietet einleitend meteorologische Grundlagen und tritt auf das Funktionsprinzip eines Sonnenkollektors, dessen Aufbau und die gebräuchlichsten Kollektortypen ein. Im Mittelpunkt stehen Anleitungen zur selbständigen Dimensionierung, Installation, Inbetriebnahme und Wartung von Solaranlagen. Dabei werden einfache Warmwasseranlagen im Ein- und Zweifamilienhaus, Warmwasseranlagen im Mehrfamilienhaus sowie Warmwasseranlagen mit Heizunterstützung im Ein- und Zweifamilienhaus eingehend behandelt. Die Dokumentation beinhaltet ferner das Vorgehen bei der Realisierung einer Solaranlage im Überblick. Sie beschreibt den Ablauf von der Idee, über Preisabsprache, Datenerhebung, Kollektortandort und Art der Zusatzenergie bis hin zu Baubewilligung und möglichen Subventionen.

1993, 221 Seiten, Bestell-Nr. 724.213 d Fr. 51.-

Video: «Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»

Wie wird die Energie der Sonne zur Wassererwärmung genutzt? Welches sind die idealen Einsatzgebiete für Sonnenkollektoranlagen? Diese Fragen stehen im Zentrum des Videos **«Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»**. Es visualisiert die aktive Nutzung der Sonnenenergie: Sonnenkollektoren eignen sich zur Erwärmung des Brauchwassers in Wohn- und Geschäftsbauten und für die Schwimmbadbeheizung und zur Heizungsunterstützung. Ebenso verdeutlicht das Video, insbesondere durch Interviews mit ausführenden Berufsleuten und Anlagebesitzern - dass es sich bei der aktiven Sonnenenergienutzung um eine einfache Technik handelt. Die Installation erfordert die üblichen Fachkenntnisse von Heizungs- und Sanitärinstallateuren. Zusätzlich können aktive Solarsysteme ArchitektInnen vor eine berufliche Herausforderung stellen: Die Suche nach einer ästhetisch optimalen Lösung für die Integration eines Systems. Weitere Aspekte bilden Wirtschaftlichkeit, Kosten und sinnvolle Realisierungsmöglichkeiten von Sonnenkollektoranlagen. Denn sowohl der Einbezug eines Solarsystems bei der Planung eines Neubaus, wie auch eine notwendige Heizungsanierung bei einem bestehenden Gebäude kann der geeignete Zeitpunkt für die Installation sein.

Das Video wird durch eine Begleitbroschüre vertieft und richtet sich an Architekten, Mitarbeiter von Installationsfirmen, Verantwortliche der Verwaltung, Bauherren und weitere Interessierte.

1993, Bestell-Nr. 724.214 d Fr. 37.25

«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen»

Auf landwirtschaftlichen Betrieben wird Biomasse produziert, in den Ställen fällt Wärme an und ebenso sind Flächen für die Installation von Sonnenkollektoren vorhanden. Vor diesem Hintergrund ist die Dokumentation «**Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen**» entstanden, ausgearbeitet zum gleichnamigen PACER-Kurs. Sie behandelt schwerpunktmässig die Themenbereiche Wärmerückgewinnung aus der Stallluft mittels Wärmeumformern für die Beheizung des Wohnhauses und Wärmetauscher für die Beheizung der Zuluft sowie **Sonnenkollektoren für die Heubelüftung** und im Anhang die Dimensionierung von **Biogasanlagen**.

Landwirtschaftlichen BeraterInnen, MitarbeiterInnen von Meliorationsämtern sowie von Architektur- und Ingenieurbüros vermittelt die Dokumentation die nötigen Planungsgrundlagen und Kenntnisse, um den Einsatz von Wärmerückgewinnung, Sonnenkollektoren und Biogasanlagen bei einem Neu- oder Umbau zu evaluieren. Auf Grund dieser Abklärungen lässt sich in der Vorprojektphase beurteilen, wie sinnvoll die Anwendung eines der Systeme, sowohl in ökologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht ist. Die Grunddaten zur Dimensionierung der drei Anlagentypen werden mit PC-Programmen berechnet. Sie sind im Anhang der Publikation erläutert und können mit dem dort beigelegten Gutschein bezogen werden.

1991, 123 Seiten, Bestell-Nr. 724.221 d Fr. 38.75
(inkl. 3 MS-DOS-Disketten)

«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»

Seit jeher nutzt der Landwirt die Sonnenenergie: Indirekt, indem er aus Biomasse Nahrung für Mensch und Tier produziert und direkt bei der Gastrocknung im Freien für die Futteraufbereitung. Die Nutzung von nicht erneuerbaren Energien hat zur Verdrängung Kreisläufe auf landwirtschaftlichen Betrieben und zu massiven Umweltbelastungen geführt. Der Einsatz erneuerbarer Energien wie Sonnenenergie, Wasserkraft oder Energie aus Biomasse reduzieren die Belastung.

In der Dokumentation und dem Video «**Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft**» werden die heutigen Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung erklärt und aufgezeigt: Als bewährte Beispiele sind Biogasanlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom, Photovoltaikanlagen und Kleinwasserkraftwerken zur Stromproduktion und Sonnenkollektoren für die Heubelüftung dargestellt. Die neuere Technik der Treibstoffproduktion mittels nachwachsender Rohstoffe wird am Beispiel des Raps aufgezeigt.

Die Dokumentation ist speziell für landwirtschaftliche Schulen konzipiert. Sie bietet mit Kopiervorlagen, Grafiken, Abbildungen und prägnanten Zusammenfassungen für die Herstellung von Folien ideale Unterrichtshilfen. Ergänzend sind Beispiele aus der Praxis und Wirtschaftlichkeitsrechnungen angeführt.

Video: vergriffen

Publikation: 1992, 69 Seiten, Bestell-Nr. 724.222.1 d Fr. 17.35

«Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern»

Bei der anaeroben Veräuerung oder Methanisierung werden organische Reststoffe in den erneuerbaren Energieträger Biogas und in organischen Dünger umgewandelt. Sowohl zur Vergärung fester als auch flüssiger Substrate sind in jüngster Zeit neue Verfahren entwickelt worden. Sie eröffnen der Abfallbewirtschaftung, die sich im Zusammenhang

mit der getrennten Sammlung organischer Abfälle im Umbruch befindet, ganz neue Perspektiven.

Neben Informationen zu den Grundlagen der Vergärung gibt die Dokumentation «**Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern**» eine Übersicht über die neuesten Verfahren. Durch einen technischen und ökonomischen Vergleich der Vergärung mit aeroben Verfahren (Kompostierung, Abwasserbelüftung) lassen sich zukünftige Einsatzmöglichkeiten anaerober Verfahren abgrenzen. Ebenso kann das Potential an erneuerbarer Energie in Form von Biogas bestimmt werden. Anhand realisierter Anlagen werden betriebliche Konsequenzen, Kosten und Energiebilanzen vorgestellt.

Die Dokumentation richtet sich an Vertreter von Gemeinden und Industrien, welche sich mit der Verwertung biogener Abfälle und Abwässer beschäftigen, an Ingenieur- und Planungsbüros sowie an interessierte öffentliche Stellen. Ziel ist, dem Leser einen Überblick über die Aufbereitung biogener Reststoffe zu geben, welcher eine optimale Entscheidungsfindung für zukünftige Projekte erlaubt.

1993, 68 Seiten, Bestell-Nr. 724.230 d Fr. 16.30

Selbstbaukurs:

«Sonnenkollektoren für die Heubelüftung»

Sonnenkollektoren für die Heubelüftung werden oft im Zusammenhang mit Neubauten von Ökonomiegebäuden realisiert. Diese Kollektoren baut in der Regel der beauftragte Zimmermann während den Aufrichtearbeiten. Bei bestehenden Scheunen werden Kollektoren nachgerüstet, wobei diese Arbeiten oft durch den Bauern selbst ausgeführt werden können.

Die anaroolitische Laue wird in Zukunft ein Absinken der Neubautätigkeiten der Landwirtschaft bewirken. Das grosse Potential von ca. 40 000 bestehenden Heubelüftungen könnte zum grössten Teil nachgerüstet werden. Da die schweizerische Landwirtschaft in Zukunft keine Produktionsexpansion mehr realisieren kann und die Betriebe unter einem hohen Kostendruck stehen, müssen sich in Zukunft die Betriebsleiter vermehrt auf Massnahmen zur Betriebskosteneinsparung konzentrieren. Dazu gehören auch die Energiekosten.

Während einzelner kurzerzeitperioden sind die Arbeitskräfte auf dem Bauernhof nicht voll ausgelastet. Diese Zeit wird aenutzt, um administrative Arbeiten nachzuholen und an Maschinen, Geräten und Gebäuden Unterhaltsarbeiten durchzuführen. Zahlreiche Bauern sind auch bereit, grössere Bauarbeiten, zum Beispiel bei der Erstellung eines Sonnenkollektors, selber durchzuführen, doch brauchen sie dazu entsprechende Anleitungen. Für den Bau von Sonnenkollektoren soll das Handbuch, neben den fehlenden theoretischen Kenntnissen, folgendes Wissen vermitteln:

- für den Laien verständliche Planungsgrundlagen,
- Anleitung zum Selbstbau,
- Anleitung zur Unfallverhütung.
- Kenntnis über geeignete Materialien.

Die anaebotenen Selbstbaukurse helfen, die theoretischen Kenntnisse in die Praxis umzusetzen. Sie können für ein breites Zielpublikum von Interesse sein:

- praktizierende Landwirte,
- Angestellte von Gutsbetrieben,
- Verkaufsberater von Heubelüftungsfirmen,
- Kantonale landwirtschaftliche Maschinen- und Betriebsberater,

- Zimmereibetriebe, welche für landwirtschaftliche Neu- und Umbauten spezialisiert sind.

1994, 79 Seiten, Bestell-Nr. 724.223 d Fr. 19.40

Faltblatt: «Selbstbau-Sonnenkollektoren Heubelüftung»

Mit einem Sonnenkollektor für die Heubelüftung sparen LandwirtInnen nicht nur Strom und Geld. Er verkürzt auch die Trocknungszeit und verbessert zudem die Futterqualität. Dem Faltblatt können Kurzinformationen über die Schritte für den Bau ebenso entnommen werden wie über die Funktionsweise eines solchen Sonnenkollektors für die Heubelüftung.

1993,, Bestell-Nr. 724.223.1 d

gratis

«Energie aus Restholz - Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe»

Momentan werden in der Schweiz rund 1,4 Millionen m³ Holz energetisch genutzt. Das entspricht 1,6% der Gesamtenergie oder 3% der Wärmeenergieerzeugung. Das sofort verfügbare Potential liegt bei 2,5 Millionen m³. Theoretisch könnten sogar 6 Millionen m³ als Energieholz verwendet werden.

Neben dem Brennholz aus dem Wald bildet das Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben einen wesentlichen Anteil des Potentials. Dazu gehören Schwarten, Spreissel, Rinde und Sääemehl aus Sääereien sowie Verschnittstücke und Sägemehl aus Zimmereien und Schreinerereien.

Das Inkrafttreten der Luftreinhalte-Verordnuna 92 (LRV) hat in vielen holzverarbeitenden Betrieben Verunsicherung bezüglich der Emissionsgrenzwerte bei Holzfeuerungsanlagen ausgelöst. Daraus erabehen sich für holzverarbeitende Betriebe neue Fragen: Ist die energetische Nutzung des Restholzes überhaupt noch sinnvoll und wirtschaftlich? Welche Auswirkungen haben die Grenzwerte der LRV auf die energetische Nutzung eines spezifischen Restholzsortiments? Soll die bestehende Heizung saniert werden und welche Feurungstechniken stehen zur Verfügung? Die Dokumentation ((Energie aus Restholz - Ein-Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe)) vermittelt Antworten auf diese aktuellen Fragen von Besitzern und Verantwortlichen holzverarbeitender Betriebe. Daneben behandelt sie die Aspekte der schadstoffarmen Verbrennung von Restholz mit Betrieb, Regelung und Abgasreinigung der Feuerungsanlage, die Reduktion des Energieverbauchs in einem Betrieb und liefert ergänzend Fallbeispiele zur Grobabschätzung der Betriebsdaten der eigenen Holzfeuerungsanlage. Der Leitfaden zeigt damit grundsätzlich auf, wie ein holzverarbeitender Betrieb eine Vorauswahl für ein sinnvolles Anlagekonzept trifft, das der bestimmten Grösse und dem spezifischen Restholzsortiment entspricht. Das Anlagekonzept für die kostengünstige und ökologisch einwandfreie energetische Nutzung des Restholzes erarbeitet ein Planer.

1994, 109 Seiten, Bestell-Nr. 724.238 d

Fr. 25.50

Energie in ARA: «Energiesparmassnahmen in Abwasserreinigungsanlagen»

Abwasserreinigungsanlagen sind dank der Produktion von Faulgas nicht nur interessante Erzeuger von erneuerbarer Energie, sondern auch bedeutende-Energieverbraucher: Sie verbrauchen rund einen Fünftel der Elektrizität kommunaler Bauten und Anlagen. Im Durchschnitt machen heute die Energiekosten einer Abwasserreinigungsanlage 18% des Betriebsaufwandes aus-an sich schon Anlass genug, sich intensiv mit der energetischen Optimierung zu befassen. Die Ermittlung von Energiesparmassnahmen und insbesondere die Umsetzung der wirtschaftlich rentablen Teile liegen daher im Interesse des Kläranlagenbetreibers wie des Abwasserlieferanten. Die damit verbundenen Investitionen sind bestimmt gut angelegt.

In einer zunehmenden Zahl von Kläranlagen müssen in nächster Zeit Anlagenkomponenten wegen Erreichens ihrer Nutzungsdauer ersetzt werden. Zudem werden viele Anlagen mit einer weiterführenden Reinigungsstufe versehen. Diese kostenintensive Zäsur bietet gleichzeitig die Chance, nicht nur die Reinigungsleistung den heutigen Anforderungen anzupassen, sondern ebenso den Energieaufwand zu optimieren und damit wieder Betriebskosten einzusparen.

Diese Chance haben auch das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), das Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK) und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) erkannt und ein koordiniertes Programm initiiert: E2000, PACER und die Abteilung Abwasseranlagen des BUWAL erteilten gemeinsam den Auftrag zur Erarbeitung von Grundlagen für eine energetische Optimierung von Kläranlagen.

Das vorliegende Handbuch ist das Resultat der gemeinsamen Interessen der drei Ämter. Die Autoren sind im Abwasserbereich seit langem tätige Fachleute mit grossem Erfahrungsschatz. Die vom Verband Schweizer Abwasserfachleute (VSA) getragenen Weiterbildungskurse werden helfen, das im Handbuch zusammengefasste Wissen zu verbreiten. Das Handbuch soll über die Kurse hinaus allen mit Planung und Projektierung von Kläranlagen beauftragten Fachleuten als praktisches Nachschlagewerk dienen, welches ihnen für die Entscheidungsfindung gesichertes Wissen bietet. Zusammen mit den exemplarischen Feinanalysen, welche in der Reihe Materialien zu PACER (Bestell-Nr. 7241239.1 d) herausgegeben werden, und einem EDV-gestützten Anwendungsprogramm soll das Handbuch zu einem neuen, energetischen Standard in der Abwasserreinigung beitragen.

Alle am vorliegenden Werk beteiligten Stellen hoffen, dass die Lektüre dem Leser und der Leserin nicht nur zur Vertiefung ihres Wissens dient, sondern daraus Motivation und Können entstehen und die Unterlagen schliesslich Anstösse für möglichst viele energetisch optimale Kläranlagen liefern.

1994, 240 Seiten, Bestell-Nr. 724.239 d

Fr. 32.65

Elektrizität aus Kleinstwasserkraftwerken - eine saubere und umweltfreundliche Energie:

«Kleinstwasserkraftwerke - Einführung in Bau und Betrieb»

In der Schweiz besteht ein beträchtliches Potential für Kleinstwasserkraftwerke. Dank Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen kann sich die Realisierung solcher Anlagen aus finanzieller Sicht als interessant erweisen.

Für den Einstieg in diese Thematik dient der Faltprospekt «Kleinstwasserkraftwerke». Ausführlichere Informationen enthält die vorliegende Broschüre. Sie ist eine Übersetzung der bereits erschienenen französischsprachigen Publikation «Petites centrales hydrauliques) des Bundesamtes für Konjunkturfragen. Sie richtet sich an all jene, die sich generell über Kleinstwasserkraftwerke informieren möchten oder eine Anlage zu realisieren anedenken. Die vorliegende Broschüre wird durch kantonale Informationsblätter zum Thema Kleinstwasserkraftwerke ergänzt. All diese Publikationen können bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ) in 3000 Bern bezogen werden.

Die Zukunft der Kleinstwasserkraftwerke ist aufs enaste mit der Entwicklung der Strompreise, im besonderen der Rücklieferungsstarife verbunden. Zu Redaktionsschluss dieser Broschüre zeichnen sich rasche, für die Kleinstwasserkraftnutzung erfreuliche Veränderungen ab.

1993, 96 Seiten, Bestell-Nr. 724.244 d

Fr. 25.50

Faltblatt: «Kleinstwasserkraftwerke»

Prospekt für Entscheidungsträger mit einem Kurzttext über dezentrale, umweltgerechte Energieerzeugung sowie Beispielen: Reaktivierung und Modernisierung alter Anlagen sowie Elektrizitätsversorgung von Siedlung und Alpwirtschaften, die nicht ans öffentliche Stromnetz angeschlossen sind.

1993, Bestell-Nr. 724.245 d

gratis

Volkswirtschaftliche Aspekte der erneuerbaren Energien:

«Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich. Neue Argumente für Investitionsentscheide»

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte externe Kosten, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt.

Die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung werden identifiziert, ihr Ausmass quantifiziert und die resultierenden Kosten monetarisiert: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der übermässigen Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Energiesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) resultieren daraus kalkulatorische Energiepreiszuschläge (Rp./kWh), welche die monetarisierten externen Kosten widerspiegeln. Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruchs werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen - sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen - wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von Risikozuschlägen ausgewiesen. Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.). Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

1994, 169 Seiten, Bestell-Nr. 724.270 d

Fr. 36.70

1. PACER-Treffpunkt

«Gebäude im Zeichen der Sonne». Tagungsband des 1. PACER-Treffpunktes 1993

Fragen nach intelligentem Energieeinsatz und nach der Anwendung erneuerbarer Energien im Bauwesen erhalten heutzutage infolge ökologischer und ökonomischer Rand-

bedingungen eine wachsende Bedeutung. Bei den Entscheidungsträgern/innen finden die erneuerbaren Energien aus verschiedenen Gründen noch nicht die verdiente Beachtung. Die Konkurrenzfähigkeit könnte jedoch durch Anwendung marktwirtschaftlicher Instrumente wie kalkulatorische Energiepreiszuschläge verbessert werden. Die öffentliche Hand ist insbesondere gefordert, in einer Vorreiterrolle Energiepreiszuschläge bei Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen.

Die Frage nach einem intelligenten Umgang mit erneuerbarer Energie steht auch mit dem Begriff des angemessenen Bauens in Zusammenhang. Machbarkeit, Qualitätsbewusstsein und Komfortverständnis sind Kriterien, die eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Planungs- und Bauprozesses verlangen. Angesprochen sind Architekten/innen, Bauherren, Behördenvertreter/innen und Energiefachleute. Sie sind die Akteure/innen, welche diese Thematik aufgreifen und sich dieser Aufgabe stellen müssen. Bei der Lösung dieser neuen Aufgabe stehen vier Fragen im Vordergrund:

Was kosten erneuerbare Energien, sind sie nur wirtschaftlich unter dem Gesichtspunkt der Ökologie?

Bietet die Anwendung von erneuerbaren Energien den Architekten/innen neue gestalterische Chancen?

Wie lassen sich die erneuerbaren Energien in den Planungsprozess integrieren?

Können erneuerbare Energien auch bei Umbauten und Sanierungen eingesetzt werden?

Genau auf diese und andere wichtige Fragen versuchte der PACER-Treffpunkt 1993 Antworten zu geben. Er stellte neue Werkzeuge für den Planungsalltag sowie Handlungsanleitungen vor und bietet damit allen Fachleuten, die Entscheidungen im Baubereich treffen, ein Hilfsmittel an, um zur Anwendung erneuerbarer Energien motivieren zu können. (1 Artikel und Zusammenfassungen französisch)

vergriffen

2. PACER-Treffpunkt

«PACER in der Gemeinde - von den Erfahrungen anderer profitieren». Tagungsband des 2. PACER-Treffpunktes 1995

Alle sind einverstanden: Wir wollen Energie effizienter einsetzen und erneuerbare Energien nutzen. Rationeller Energieverbrauch zusammen mit dem Einsatz erneuerbarer Energien brauchen die Unterstützung der Kantone und insbesondere der Gemeinden. Gemeinden sollen mit gutem Beispiel vorangehen und Anreize schaffen, damit erneuerbare Energien vorausschauend sowohl in die Planung einzelner Anlagen als auch in die Zonenplanung miteinbezogen werden. Das lohnt sich für die Gemeinden: Auf die Dauer bringt der Einsatz umweltfreundlicher Technologien mehr Umwelt- und Lebensqualität, steigert die Attraktivität der Region, die Erschliessung von einheimischen Energiequellen schafft regionale Arbeitsplätze, und alles trägt letztlich zu einer höheren Steuerkraft bei.

Der Abdruck der Referate beinhaltet u.a.: «Hier wird es so gemacht...»-Beispiele der Energiepolitik aus den Kantonen Zürich und Bern, «Mustergültige Projekte» - wie das Kleinstwasserkraftwerk von Roggwil und die Heizgenossenschaft in Affoltern a.A., «Rechtsformen für die interkommunale Zusammenarbeit», «Energiebewirtschaftung: Schlüsselfrage der ökologischen Unternehmensführung».

Als praktisches Nachschlagewerk dient der umfangreiche Teil «Beispiele interkommunaler Zusammenarbeit») und

«Organisationen und Fördermittel im Dienste der Gemeinden» in dem die verschiedenen Subventionen, Förderungs-mittel, P+D-Projekte und Kontaktadressen aufgelistet sind. 1995, 168 Seiten, Bestell-Nr. 724.202.2 d/f Fr. 40.80

Ausserdem erhältlich: Photovoltaik und Architektur. Die Integra-tion von Solarzellen in Gebäudehüllen.

Die Nutzung der Sonnenenergie durch photovoltaische Anlagen ist eine wirkliche Alternative zur herkömmlichen Stromerzeugung, doch ihre architektonische Umsetzung lässt noch immerzu wünschen übrig. Das vorliegende Buch zeigt die gestalterischen und technischen Anforderungen für photovoltaische Fassaden und Dächer auf, und es demonstriert, wie diese Elemente in die Architektur der Bauwerke integriert werden können. Durch die anschauliche Darstellung von bereits existierenden Lösungen und zukünftigen Modellen und mit präzisen Sachinformationen über die benötigten Technologien führt dieser Band die Realisierbarkeit einer Architektur vor, in der sich ökologi-sche, technische und ästhetische Aspekte wechselseitig durchdringen.

(viersprachig deutsch, französisch, italienisch, englisch, zahlreiche Abb.)
1993, 120 Seiten, Bestell-Nr. 724.203 d/f/i/e, Fr. 59.15

«Erneuerbare Energien und Architektur. Fragestellungen im Entwurfsprozess - ein Leitfaden»

Die Anwendung erneuerbarer Energien an und im Gebäude gewinnt zunehmend an Bedeutung. Eine Forderung vieler Bauherrschaften und damit Herausforderung an alle Archi-tektnInnen. Die vorliegende Dokumentation vermittelt den entwerfenden ArchitektInnen die Kompetenz zur frühzeitigen (sprich rechtzeitigen) Integration der Systeme in das Projekt-konzept. Der inhaltliche Schwerpunkt dieses Leitfa-dens als **Arbeitsmittel** liegt im frühen Planungsprozess, also dort, wo die entscheidenden Weichen für einen substantiellen Zusammenhang von Projektidee und Umgang mit Energie gestellt werden. Berücksichtigt wird sowohl die Anwen-dung bei Neubauten wie auch, selbstverständlich unter eingeschränkten Randbedingungen, bei der Bauerneue-rung. Der Leitfaden zeigt grundsätzliche, allgemeingültige Zusammenhänge auf und behält so, über die heutigen Rahmenbedingungen hinaus, seine Berechtigung als aktu-elles Planungshilfsmittel. Es wird deshalb weitgehend auf konkrete, rezeptartige Lösungsvorschläge verzichtet. um nicht vom rasanten Technologiefortschritt und den sich verändernden wirtschaftlichen Rahmenbedin-nungen überholt zu werden. Der Leitfaden lässt sich für alle Gebäudetypen anwenden, wobei sich die unterschiedlichen Nutzungsarten durch die jeweils eigene Energiecharakteristik aus-zeichnen. Planungsabläufe sind keine kontinuierlichen, li-nearen Vorgänge von A bis Z, sondern eher individuell unterschiedlich strukturierte, assoziative Prozesse. Die gleichzeitige Bearbeitung von auf den verschiedensten Ebenen angesiedelten Kriterien sowie ein Bewusstsein für die relevanten Fragestellungen im richtigen Zeitpunkt des Projektierungsprozesses und das Wissen um integrale Pla-nungsmethoden sind von Bedeutung. ArchitektInnen als GeneralistInnen und oft einzige(r) GesprächspartnerInnen der Bauherrschaft in den frühen Planungsphasen sind zu-nehmend gefordert, sich den Energiefragen kompetent zu stellen und in den Entwurf wie selbstverständlich einfließen zu lassen. Bereits bei der Programmformulierung sind die energetischen Zielsetzungen zu definieren. Aber auch bei der Situierung des Gebäudes im Grundstück sind zen-

trale Energie-Entscheide zu fällen. Verpasste Weichenstel-lungen können in den späteren Projektierungsphasen nicht mehr oder nur mit Erschwernissen (von FachplanerInnen) korrigiert werden. Der Leitfaden setzt sich zum Ziel, die Anwendung erneuerbarer Energien auszuleuchten und prioritäre, objektspezifische Fragestellungen aufzuzeigen und auf erfolgversprechende Lösungsansätze hinzuwei-sen.

1995, 95 Seiten, Bestell-Nr. 724.215 d Fr. 33.-

Die im Leitfaden entwickelte und vorgestellte Prozessma-trix kann in Plakatform für Architekturbüros separat bezo-gen werden.

1995, Bestell-Nr. 724.215.1 d Fr. 13.-

Projektieren von automatischen Holzfeue-rungen

Holz deckt in der Schweiz heute rund 1.6% des Gesamten-ergieverbrauchs oder 3% des Wärmebedarfs ab. Aufarund des verfügbaren Potentials kann der Energieholzverbrauch noch verdoppelt bis verdreifacht werden. Der erneuerbare Brennstoff Holz kann damit wesentlich zur Substitution fossiler Brennstoffe beitragen und er leistet gleichzeitig den nrössten Beitrag zur Erreichung der Ziele von Eneraie 2000. Eine verstärkte Holzenergienutzung setzt jedoch voraus, dass gut organisierte Versorgungsketten für Energieholz vorhanden sind. Im weiteren müssen Feuerungsanlagen zur effizienten und schadstoffarmen Nutzung von Holz zur Verfüauna stehen und wirtschaftlich konkurrenzfähig sein. Automatische Holzfeuerungen sind eine geeignete Lösung, den Energieträger Holz auf hohem technischen Stand ener-getisch zu nutzen. Bei der Projektierung solcher Anlagen müssen die Bedürfnisse von Wärmebezüger und Anlagen-betreiber erfüllt und gleichzeitig die Randbedingungen der Holzversorgung berücksichtigt werden. Die Proiektieruno automatischer Holzfeuerung erfordert deshalb den Ein-bezug von Holzlieferant, Bauherr, Architekt, Behörden und Anlagenlieferant. Es ist Aufgabe des Planers, die verschie-denen Bedürfnisse zu befriedigen und unter Berücksichti-gung der jeweiligen Gegebenheiten ein geeignetes Anla-genkonzept zu realisieren.

Die Dokumentation «Projektieren von automatischen Holz-feuerungen» richtet sich an Heizungsplaner und an Mitar-beiter von Planungsbüros in der Haus- und Energietechnik. Der gleichnamige Kurs vermittelt die Grundlagen zur Projektierung von automatischen Holzfeuerungen und er stellt die wichtigsten Anlagekomponenten vor. Den Schwerpunkt der Dokumentation bilden automatische Holzfeuerungen im Leistungsbereich von 100 kW bis 5 MW, wobei sowohl Anlagen für Waldholz als auch für Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie behandelt werden. Im weiteren werden die Versorgungsketten, die Brennstoffka-tegorien und die Abrechnungsarten beschrieben. Die Be-deutung der wichtigsten Vorschriften, insbesondere der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) sowie der Sicherheits- und Brandschutzvorschriften, werden erläutert und der Pla-nungsablauf vom Vorprojekt bis zur Projektausführung und zum Betrieb der Anlage vorgestellt.

Die Dokumentation berücksichtigt die Erkenntnisse der letz-ten Jahre und weist auf neuere Entwicklungen hin. Die Kosten von Gesamtanlagen werden anhand von Beispielen aufgezeigt. Im weiteren wird der Einfluss der wichtigsten Kostenfaktoren anhand von Sensitivitätsbetrachtungen er-läutert.

1995, 190 Seiten, Bestell-Nr. 724.237 d Fr. 44.40



Trägerorganisation



**Schweizerische Vereinigung
für Holzenergie VHe**