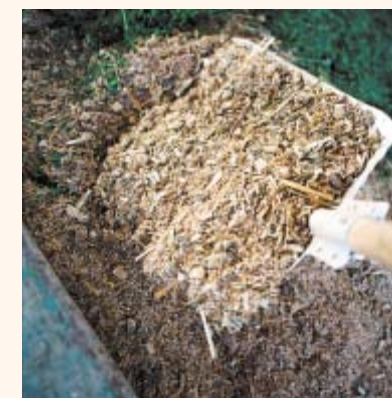


# Handbuch

## Bioenergie-Kleinanlagen



HANDBUCH BIOENERGIE-KLEINANLAGEN



### Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
Tel.: 0 38 43 / 69 30 - 0  
Fax: 0 38 43 / 69 30 - 1 02  
info@fnr.de • www.fnr.de

und Dr. Hans Hartmann

Gefördert durch das Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

ISBN 3-00-011041-0



Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz



# Handbuch

## Bioenergie-Kleinanlagen

**Autoren:**

Dr. agr. Hans Hartmann

Dipl.-Ing.(FH) Klaus Reisinger

Dipl. Ing. agr. Klaus Thuneke

Dipl. Forstwirt Dipl. Ing. (BA) Alexander Höldrich

Dipl. Phys. Paul Roßmann

Erarbeitet im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. durch das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Schulgasse 18, 94315 Straubing ([www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de))

**Autoren:**

Dr. agr. Hans Hartmann  
Dipl.-Ing.(FH) Klaus Reisinger  
Dipl. Ing. agr. Klaus Thuneke  
Dipl. Forstwirt Dipl. Ing. (BA) Alexander Höldrich  
Dipl. Phys. Paul Roßmann

**weitere Mitarbeit:**

Dipl.-Ing.(FH) Peter Emberger  
Heike Eismann und Helga Nielsen (Grafiken)

**Herausgeber:**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.  
Hofplatz 1  
18276 Gülzow  
Tel.: (0 38 43) 69 30-0  
Fax: (0 38 43) 69 30-102  
E-Mail: [info@fnr.de](mailto:info@fnr.de)  
Internet: [www.fnr.de](http://www.fnr.de)

und Dr. agr. Hans Hartmann

**Redaktion:**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.  
Abt. Öffentlichkeitsarbeit

**Gestaltung und Produktion:**

tangram documents, Bentwisch  
Internet: [www.tangram.de](http://www.tangram.de)

**Druckerei:**

Stadtdruckerei Weidner, Carl-Hopp-Str. 15, 18069 Rostock

2. vollständig überarbeitete Auflage, März 2007

Alle Rechte vorbehalten.

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

ISBN 3-00-011041-0

# Inhaltsverzeichnis



## **Vorwort..... 9**



## **1 Ziele des Handbuchs..... 10**

HANS HARTMANN

1.1	Ausgangslage.....	10
1.2	Ziele.....	10
1.3	Abgrenzung.....	11



## **2 Biogene Brennstoffe im Energiesystem..... 13**

HANS HARTMANN

2.1	Globale Vorteile der Biomasse.....	13
2.2	Definitionen.....	14
2.3	Potenziale und Nutzung.....	14
2.4	Technische Nutzungspfade für Biomasse.....	17



## **3 Bereitstellung von Festbrennstoffen..... 18**

HANS HARTMANN, ALEXANDER HÖLDRICH

3.1	Rohstoffangebot und -herkunft.....	18
3.1.1	Durchforstungs- und Waldrestholz.....	18
3.1.2	Be- und Verarbeitungsrückstände.....	19
3.1.3	Reststoffe der Landschaftspflege.....	20
3.1.4	Festbrennstoffe aus der Landwirtschaft.....	20
3.1.5	Altholz.....	21
3.2	Bereitstellungsketten (Übersicht).....	21
3.3	Ernte und Aufbereitung.....	23
3.3.1	Brennholzwerbung im Wald.....	23
3.3.1.1	Die Axt.....	23
3.3.1.2	Die Motorsäge.....	24
3.3.1.3	Die weitere Ausrüstung.....	25
3.3.1.4	Arbeitsablauf und Arbeitssicherheit.....	25
3.3.2	Scheitholzaufbereitung.....	27
3.3.2.1	Sägen.....	27
3.3.2.2	Spalten.....	28

	3.3.2.3	Kombinierte Säge-Spaltmaschinen .....	30
	3.3.2.4	Stapel- und Umschlagshilfen .....	30
3.3.3		Techniken der Hackschnitzelerzeugung .....	31
	3.3.3.1	Hacker .....	31
	3.3.3.2	Schredder und Zerspaner .....	34
3.3.4		Brikett- und Pelletherstellung .....	35
	3.3.4.1	Brikettierung .....	35
	3.3.4.2	Pelletierung .....	36
3.4		Lagerung .....	37
	3.4.1	Lagerungsrisiken .....	37
	3.4.2	Lagerungstechniken .....	39
	3.4.2.1	Scheitholz .....	39
	3.4.2.2	Hackschnitzel .....	42
	3.4.2.3	Pellets .....	43
	3.4.3	Entnahme- und Beschickungssysteme .....	47
3.5		Trocknung .....	49
	3.5.1	Grundlegendes zur Trocknung .....	49
	3.5.2	Trocknungsverfahren .....	51
	3.5.2.1	Natürliche Trocknung .....	51
	3.5.2.2	Trocknung durch Belüftung .....	52
	3.5.3	Trocknungseinrichtungen .....	53



## **4 Brennstoffeigenschaften und Mengenplanung .....56**

HANS HARTMANN, KLAUS REISINGER

4.1		Elementarzusammensetzung .....	56
	4.1.1	Hauptelemente .....	56
	4.1.2	Emissionsrelevante Elemente .....	56
	4.1.3	Spurenelemente (Schwermetalle) .....	57
4.2		Weitere Brennstoffeigenschaften und ihre Bedeutung .....	58
	4.2.1	Wassergehalt und Brennstoff-Feuchte .....	58
	4.2.2	Heizwert .....	59
	4.2.3	Brennwert .....	60
	4.2.4	Aschegehalt .....	60
	4.2.5	Ascheerweichungsverhalten .....	60
4.3		Physikalisch-mechanische Eigenschaften .....	61
4.4		Brennstoffmengenrechnung (Umrechnungszahlen) .....	63



## **5 Grundlegendes zur Feststoff-Verbrennung .....68**

HANS HARTMANN

5.1		Begriffsdefinitionen .....	68
5.2		Ablauf der Verbrennung .....	70
5.3		Anforderungen an die Feuerungskonstruktion .....	72
5.4		Feuerungstechnische Besonderheiten der Beschickungsarten .....	73



## 6 Feuerungen und Anlagentechnik ..... 75

HANS HARTMANN, KLAUS REISINGER

6.1	Handbeschickte Holzfeuerungen .....	75
6.1.1	Bauarten und Verbrennungsprinzipien .....	75
6.1.1.1	Durchbrand .....	75
6.1.1.2	Oberer Abbrand .....	77
6.1.1.3	Unterer Abbrand .....	77
6.1.2	Einzelfeuerstätten .....	78
6.1.2.1	Offene Kamine .....	79
6.1.2.2	Geschlossene Kamine .....	79
6.1.2.3	Zimmeröfen .....	80
6.1.2.4	Kaminöfen .....	81
6.1.2.5	Speicheröfen .....	81
6.1.2.6	Küchenherde .....	82
6.1.2.7	Pelletöfen .....	83
6.1.3	Erweiterte Einzelfeuerstätten .....	84
6.1.3.1	Zentralheizungsherde .....	84
6.1.3.2	Erweiterte Kachelöfen oder Kamine .....	85
6.1.3.3	Pelletöfen mit Wasserwärmeübertrager .....	86
6.1.4	Zentralheizungskessel (handbeschickt) .....	86
6.1.4.1	Funktionsweise .....	87
6.1.4.2	Einsatzbereiche, Varianten und Ausstattung .....	88
6.1.4.3	Regelung .....	89
6.1.4.4	Wärmespeicher .....	91
6.1.4.5	Kombination mit anderen Wärmeerzeugern .....	94
6.2	Automatisch beschickte Feuerungen .....	94
6.2.1	Bauarten und Feuerungstypen .....	94
6.2.1.1	Unterschubfeuerungen .....	95
6.2.1.2	Quereinschubfeuerungen .....	95
6.2.1.3	Abwurffeuerungen (Pelletfeuerungen) .....	97
6.2.2	Feuerungskomponenten und Systemeinbindung .....	98
6.2.3	Sicherheitseinrichtungen .....	100
6.2.4	Regelung .....	102
6.3	Feuerungen für Halmgut und Getreide .....	103
6.3.1	Allgemeine Merkmale .....	103
6.3.2	Halmgutfeuerungen .....	104
6.3.2.1	Schüttgutfeuerungen .....	104
6.3.2.2	Ganzballenfeuerungen .....	104
6.3.3	Getreidefeuerungen .....	106
6.4	Schornsteinsysteme .....	108
6.5	Kleine Wärmenetze .....	110
6.6	Kraft-Wärmekopplung mit Feststofffeuerungen .....	113
6.6.1	Vergasung .....	113
6.6.2	Stirlingmotoren .....	116

## **7 Wirkungsgrad, Emissionen, Aschequalität .....118**

HANS HARTMANN, ALEXANDER HÖLDRICH

7.1	Wirkungsgrade von Holzfeuerungen .....	118
7.2	Schadstoffemissionen.....	121
7.2.1	Bedeutung und Bezugsgrößen.....	121
7.2.2	Emissionsniveau von Biomassefeuerungen.....	122
7.2.2.1	Emissionen von Einzelfeuerstätten.....	123
7.2.2.2	Emissionen von Holzheizkesseln.....	124
7.2.2.3	Emissionen von Halmgutfeuerungen.....	127
7.3	Aschequalität und -verwendung .....	129

## **8 Rechtliche Anforderungen und Vorschriften .....131**

HANS HARTMANN, KLAUS REISINGER

8.1	Zulassung von Feuerungsanlagen.....	131
8.2	Anforderungen an den Wärmeschutz und an die Anlagentechnik.....	133
8.2.1	Anforderungen bei Altbauten.....	134
8.2.2	Anforderungen bei Neubauten.....	134
8.3	Bauliche Anforderungen.....	134
8.3.1	Verbrennungsluftversorgung.....	135
8.3.2	Aufstellort der Feuerung und dessen Nutzung als Brennstofflager .....	135
8.3.3	Abgasanlagen .....	137
8.4	Kaminkehrung .....	140
8.5	Zulässige Brennstoffe und deren Einsatzbereich .....	140
8.6	Anforderungen, Emissionsbegrenzungen und -überwachung.....	143
8.6.1	Anforderungen an den Anlagenbetrieb.....	143
8.6.2	Emissionsbegrenzungen .....	144
8.6.3	Emissionsüberwachung .....	145

## **9 Kosten der Festbrennstoffnutzung .....147**

HANS HARTMANN, KLAUS REISINGER

9.1	Brennstoffpreise und -kosten.....	147
9.2	Anlagenkosten .....	150
9.3	Kostenberechnung.....	154
9.3.1	Berechnungsgrundlagen .....	154
9.3.2	Beispielrechnungen.....	156

## **10 Stationäre Nutzung von Pflanzenölen .....160**

KLAUS THUNEKE

10.1	Ölgewinnung und -reinigung.....	160
10.2	Kraftstoffeigenschaften.....	161
10.3	Energetische Nutzung .....	163
10.3.1	Pflanzenölmotoren.....	163
10.3.2	Pflanzenöl-BHKW .....	163
10.3.3	Thermische Nutzung in Ölbrennern.....	166
10.4	Planungs- und Betriebshinweise.....	167

10.5	Anforderungen und Vorschriften.....	170
10.5.1	Genehmigung.....	170
10.5.2	Emissionsbegrenzungen .....	171
10.5.3	Vermeidung von Gefährdungen .....	172
10.5.4	Steuerliche Regelungen.....	172
10.5.5	Stromeinspeisung und -vergütung .....	174
10.6	Emissionen und Wirkungsgrade .....	175
10.7	Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	176
10.7.1	Berechnungsgrundlagen.....	176
10.7.2	Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	178



## 11 Quellenverzeichnis..... 180

## i Anhang..... 190

Anhang A:	Bauarten von Kreissägen, Holzspaltern und Schneid-Spaltgeräten .....	191
Anhang B:	Bauarten von mobilen Holzhackern .....	193
Anhang C:	Bauarten von Einzelfeuerstätten für Holzbrennstoffe .....	194
Anhang D:	Bauarten von Zentralheizungskesseln für Festbrennstoffe (Kleinanlagen).....	197
Anhang E:	Bauarten von Vergasungsanlagen für Biomasse (Kleinanlagen) .....	202
Anhang F:	Bauarten von Stirlingtechnologien für Biomassefeuerungen .....	203
Anhang G:	Adressenlisten zu den Herstellerverzeichnissen in Anhang A bis F und zum Thema Pflanzenöl .....	204
Anhang H:	Informationsstellen für öffentliche Fördermaßnahmen.....	220
Anhang I:	Weiterführende Literatur (Bücher und andere Quellen).....	221
Anhang J:	Energieeinheiten und Umrechnungsfaktoren.....	222
Anhang K:	Faktoren (F) zur Umrechnung von normierten Massenkonzentrationen auf energiemengenbezogene Emissionen .....	223
Anhang L:	Faktoren (F) zur Umrechnung von Emissionsangaben bei unterschiedlichem Bezugssauerstoffgehalt .....	224

# Vorwort

Der Ausbau erneuerbarer Energien schreitet in Deutschland schneller voran als erwartet. So stieg die Nachfrage nach Biomasse bzw. Holzbrennstoffen 2006 gegenüber dem Vorjahr um schätzungsweise 10 %, Holzheizungen und weitere Biomasseanlagen stellten 2006 rd. 84 Mrd. kWh Wärme bereit. Dies entspricht einem Anteil von 94 % an der gesamten Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, womit der Biomasse und hierunter vor allem dem Holz die mit Abstand größte Bedeutung im regenerativen Wärmemarkt beizumessen ist.

Während der Zubau an Windkraftanlagen, Biokraftstoff- und Biogasanlagen sowie auch Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie von den Medien recht intensiv begleitet wird, erfolgt der Ausbau der Wärme-erzeugung aus Holz und anderer Biomasse entweder eher unbemerkt oder wird pauschal mit Feinstaubproblemen in Relation gesetzt.

Natürlich weist jede Form der Nutzung Erneuerbarer Energien spezifische Vor- und Nachteile auf. Die Wärmeerzeugung mit biogenen Festbrennstoffen zeichnet sich durch vergleichsweise sehr positive Energiebilanzen und geringe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten aus. Werden die Auswirkungen hinsichtlich Klimaschutz und Luftreinhaltung abgewägt, fällt das Ergebnis eindeutig

zu Gunsten biogener Festbrennstoffe aus. So bescheinigt beispielsweise das renommierte Öko-Institut Freiburg modernen Holzpellettheizungen Gesamtumweltbelastungen, die nicht einmal halb so hoch sind wie die von Ölheizungen.

Da in vielen Fällen alte Holzkessel – in Deutschland sind ca. 14 Millionen Festbrennstofffeuerungen im Einsatz – durch moderne, automatisch beschickte Biomasseanlagen oder Scheitholzvergaserkessel ersetzt werden, leisten sie einen erheblichen Beitrag zur Staubemissionsminderung.

Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) fördert über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur weiteren Optimierung des Emissionsverhaltens von Biomassefeuerungsanlagen.

In der vorliegenden Neuauflage des Handbuchs Bioenergie Kleinanlagen wurde den Emissionen von Biomasseanlagen deutlich mehr Gewicht eingeräumt. Das Handbuch soll so zur Versachlichung dieser Diskussionen beitragen und Interessierten eine Bewertung der verschiedenen Feuerungssysteme ermöglichen.

Dr.-Ing. Andreas Schütte  
Geschäftsführer