

Anhang

Zitierweise:

Hartmann, H. (2001): Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen. In: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Tagungsband „Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse“ (Tagung am 8.–9. Mai 2001 in Tautenhain); Gülzower Fachgespräche, Band 17, Eigenverlag FNR, Gülzow 2001; S. 62–84.

Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen

Dipl.–Ing. agr. Dr. Hans Hartmann, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik

1 Einleitung

Im Zuge der gestiegenen Energiepreise wird die Nutzung biogener Festbrennstoffe zunehmend interessant. Das trifft in besonderem Maße auf die Nutzung in Feuerungsanlagen für häusliche oder kleingewerbliche Anwendungen zu. In diesem Leistungssegment handelt es sich in der Regel um private oder kleingewerbliche Investoren, die sich meist durch eine höhere Entscheidungsbereitschaft und –fähigkeit auszeichnen, so dass die Realisierung von Installationen rascher erfolgen kann.

Neben Holz rückt auch die Nutzung landwirtschaftlicher Brennstoffe wie Stroh, Gras oder andere Halmgüter in die Nähe der Wirtschaftlichkeit. Allerdings ist die Nutzung dieser Brennstoffe mit einer Vielzahl von technischen Problemen und Umweltwirkungen verbunden, die beim Holz nicht auftreten oder zumindest weniger gravierend sind. Diese Nachteile, die größtenteils auf ungünstigere Brennstoffeigenschaften zurückzuführen sind, haben dazu geführt, dass halmgutartige Brennstoffe in der Praxis der Biomassenutzung in Deutschland bisher eine kaum nennenswerte Größenordnung erreicht haben, zumal auch die rechtliche Beurteilung dieser Brennstoffe im Rahmen der aktuellen Emissionsschutzregelungen einige Besonderheiten und Verschärfungen gegenüber den „konventionellen“ Holzbrennstoffen aufweist, die den Einsatz des Halmguts als Brennstoff erschweren.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Probleme und technologischen Verfahren, die bei der dezentralen Energienutzung von Halmgut bekannt sind, vorgestellt und die in Frage kommenden Brennstoffe anhand von ausgewählten Messergebnissen bewertet werden.

2 Besonderheiten von Halmgutbrennstoffen

Landwirtschaftliche Festbrennstoffe wie Halmgut (Stroh, Gras, Ganzpflanzengetreide) oder Getreidekörner unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von den Holzbrennstoffen. Das gilt nicht so sehr für den Heizwert, der nur um durchschnittlich 9 % niedriger ist als bei Holz [5], sondern vielmehr für verschiedene kritische Inhaltsstoffe. Insbesondere beim Aschegehalt werden in der Regel um das 10–fache höhere Werte beim Getreidestroh im Vergleich zum Fichtenholz gemessen. Auch beim Stickstoff-, Kalium- und Chlorgehalt weisen Halmgut oder Getreidekörner stets um ein Viel-

faches höhere Werte auf als Holz (Abb. 1). Diese Stoffe sind an der Bildung von Luftschadstoffen beteiligt oder wirken bei der Korrosion und Verschlackung von Feuerraum- oder Wärmeübertragerflächen mit und sind dadurch von besonderer Bedeutung. Für die Frage der technischen Einsetzbarkeit in Feuerungen kommt es aber auch auf das Erweichungsverhalten der anfallenden Aschen an. Auch hier erweist sich Strohasche mit Erweichungspunkten um 1 000 °C als deutlich kritischer als Holz (Abb. 1), bei Getreidekörnern kommt es sogar noch früher zu Ascheverbackungen und Anhaftungen in der Anlage. Feuerungen für Halmgut oder Getreide müssen daher in besonderer Weise für diese kritischen Eigenschaften ausgelegt sein.

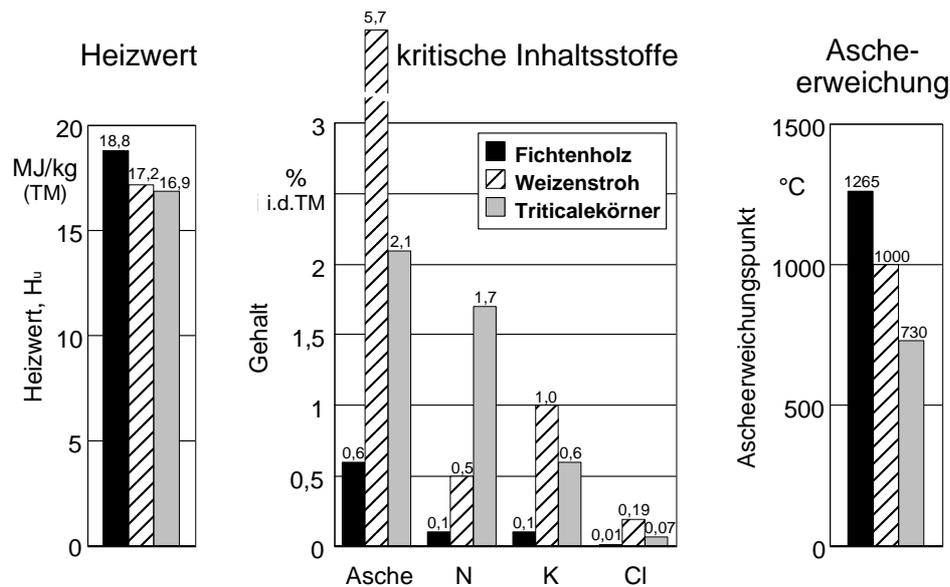


Abb. 1: Qualitätsmerkmale und kritische Inhaltsstoffe von Holz, Stroh und Getreidekörnern als Brennstoff (Quelle: Mittelwerte der NAWARO-Datenbank [4])

3 Anlagentechnik

Aufgrund der vorgestellten ungünstigen Brennstoffeigenschaften weisen Halmgutfeuerungen hinsichtlich verschiedener Merkmale wie Asche- und Schlackeabtrennung, Temperaturführung oder Brennstoffvorbehandlung einige Besonderheiten auf. Deshalb sind die speziell für relativ aschearme Holzbrennstoffe eingesetzten Systeme (z. B. Unterschubfeuerungen) für die Verbrennung von Halmgütern ungeeignet; zumindest ist eine leistungsstarke Entaschung erforderlich. Bestimmte Rostfeuerungen sind dagegen für ein breiteres Brennstoffband – und somit zum Teil auch für Halmgut – einsetzbar. Den Nachteilen der hohen Verschlackungsneigung wird dabei durch Begrenzung der Verbrennungstemperaturen im Glut- oder Bettbereich begegnet (z. B. durch gekühlte Rostelemente, wassergekühlte Brennraumoberflächen). Auch durch das kontinuierliche In-Bewegung-Halten von Brennstoff und Asche (z. B. in Vorschubrostfeuerungen) wird teilweise vermieden, dass einzelne Schlacketeilchen – trotz ggf. eintretender Ascheerweichung – festhaften.

Im Bereich der Wärmeübertrager (vor allem Überhitzer und Hochtemperaturwärmeübertrager von Dampferzeugern) ist die Vermeidung möglicher Schlackeablagerungen allerdings deutlich schwieriger. Zusätzlich können hier Chlor und Alkalien, deren Gehalt bei Halmgutbrennstoffen erhöht ist, am Korrosionsprozess an der Wärmeübertrageroberfläche mitwirken [11].

Nachfolgend werden die wesentlichen Halmgutfeuerungen dargestellt. Dazu gibt Tab. 1 eine entsprechende Übersicht.

Tab. 1: Bauarten von Halmgutfeuerungen und derzeitige Leistungsbereiche (nach [9])

Feuerungstyp	Leistung in MW	Brennstoff	Aufbereitung zur Beschickung
Chargenweise mechanisch beschickte Ganzballenfeuerung (Beschickung mit Ladefahrzeug)	0,15 – 0,5	Rund- und Quaderballen	keine
Chargenweise automatisch beschickte Ganzballenfeuerung ^a	≥ 3	Quaderballen	keine
Ballenfeuerung mit stirnseitigem Abbrand ("Zigarrenabbrand")	≥ 3	Quaderballen	keine
Ballenfeuerung mit Ballenteiler	0,5 – 3	Quaderballen	Ballenteilen durch Abscheren von Teilstücken
Ballenfeuerung mit Ballenauflöser	≥ 0,5	Quaderballen	Ballenauflöser mit Häckselgut oder Langstrohbereitung
Halmguttaugliche Schüttgutfeuerungen		Häckselgut, Pellets, (Quaderballen)	Feldhäcksler bzw. Pelletierung, ggf. Ballenauflöser
– Schubbodenfeuerung	0,05 – 3		
– Vorschubrostfeuerung	2,5 – >20		

^a In den letzten Jahren wurden keine Neuanlagen mehr ausgeführt.

Chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen. Bei chargenweiser Beschickung wird der Ballen als Ganzes in den Brennraum bzw. auf den Verbrennungsrost transportiert. Die Beschickung kann bei Kleinballen ("Hochdruckballen") für Anlagen mit Füllschacht und seitlichem Unterbrand (Abb. 2, links) zwar noch von Hand erfolgen, jedoch sind derartige Systeme aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes und der inzwischen nur noch geringen Verfügbarkeit von Kleinballenpressen kaum noch im Einsatz. Bei den heute gebräuchlichen Ballenmaßen erfolgt die Beschickung mechanisch z. B. mit Frontlader-Schleppern, wobei in den größten Anlagen dieser Bauart bis drei Großballen (Rund- oder Quaderballen) gleichzeitig in den wassergekühlten Brennraum eingebracht werden können. Derartige Anlagen (Abb. 2, rechts) sind vor allem in Dänemark im Leistungsbe- reich von ca. 150 bis 500 kW gebräuchlich, wobei Kesselgrößen mit einem Fassungsvermögen für einen Mini-Großballen oder alternativ 8–10 Hochdruckballen (Kleinballen) dominieren.

In der Feuerung findet – aufgrund dieser Beschickungstechnik– eine chargenweise Verbrennung mit den ihr typischen Phasen von Flüchtigabbrand und anschließender Kohleverbrennung statt. Obwohl bei allen derartigen Ballenfeuerungen inzwischen Verbrennungsluftgebläse und eine separate Primär- und Sekundärluftführung üblich sind, kann der Verbrennungsablauf aufgrund dieser diskontinuierlichen Beschickung nur bedingt geregelt werden. Daher können während des Abbrands große Schwankungen von Leistung, Temperatur, Luftüberschuss und Schadstofffreisetzung (z. B. Kohlenstoffmonoxid) auftreten. Hierin besteht Ähnlichkeit mit den handbeschickten Holzfeuerungen. Deshalb sind chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen möglichst immer unter Vollast zu betreiben (vor allem kleinere Anlagen); sie benötigen daher im Regelfall einen relativ großen Wärmespeicher.

Einem Einsatz solcher Anlagen in Deutschland stehen vor allem die hier zu Lande geltenden deutlich strengeren Emissionsgrenzwerte für CO und Staub entgegen; außerdem können Halmgutfeuerungen über 100 kW Leistung nur nach Durchlaufen eines aufwändigen Genehmigungsverfahrens errichtet werden.

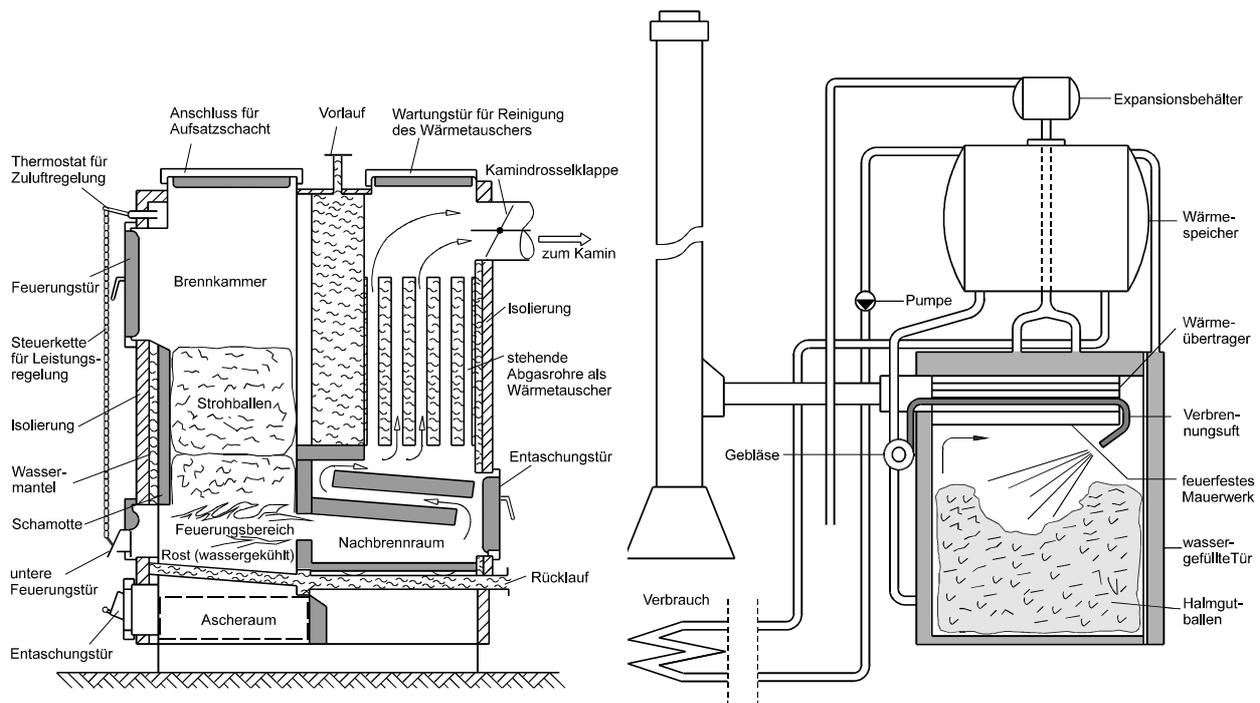


Abb. 2: Chargenweise beschickte Ganzballenfeuerungen, links: Unterbrandfeuerung für Holz und Strohkleinballen nach Loibl (nicht mehr gebräuchlich), rechts: mechanisch beschickte Großballenfeuerung mit Wärmespeicher nach Faust [1] (hauptsächlich in Dänemark)

Ballenfeuerungen mit Ballenteiler. Um die Vorteile einer kontinuierlichen Beschickung auch bei Anlagen im kleineren Leistungsbereich realisieren zu können, wurden Halmgutfeuerungen mit Ballenteiler entwickelt; hier wird der meist in Ballenform vorliegende halmgutartige Brennstoff in eine – im Vergleich zum Ballen – leichter dosierbare Form überführt (portioniert). Nach dem Scheibentrennprinzip wird der auf einer Transportbahn herantransportierte Ballen mit Hilfe einer Kippeinrichtung senkrecht gestellt, damit ein horizontal arbeitendes, hydraulisch vorgeschobenes Trennmesser im unteren Ballenteil eine jeweils ca. 30 cm hohe Scheibe abtrennen kann. Unterhalb dieses Trennmessers arbeitet ein Schubzylinder, der die Ballenscheibe durch eine Rückbrandschleuse in den Brennraum einer halmguttauglichen Rostfeuerung schiebt, wobei dieser entweder während eines getakteten Vorschubs zigarrenähnlich abbrennt (Abb. 3) oder als Ballenstück komplett in den Feuerraum eingebracht wird. Der Wechsel der Ballenscheibe ist allerdings stets mit Störungen im Verbrennungsablauf verbunden.

Ballenauflöser- und Schüttgutfeuerungen. Bei Anlagen mit Ballenauflösern wird der Strohballen vor der Verbrennung zerkleinert, so dass loses Stroh in kurzen zeitlichen Abständen (Schneckenkontakt) automatisch in die Feuerung gefördert wird, um so eine (quasi-)kontinuierliche Beschickung zu ermöglichen. Der Transport des losen Langguts oder des gehäckselten Halmguts erfolgt teilweise mit Schnecken; häufig kommen jedoch auch Rohrleitungen zum Einsatz, in denen das Material mit Hilfe eines Gebläseluftstroms transportiert wird. Am Rohrende wird das Halmgut in einem Zyklon vom Luftstrom getrennt und über eine Zellradschleuse luftdicht an das Beschickungssystem übergeben. Der Energieverbrauch der Fördergebläse ist zwar höher als bei Schneckenförderung; dafür jedoch bietet die pneumatische Förderung ein hohes Maß an Flexibilität bei der Anordnung des Ballenauflösers zu den übrigen Systemkomponenten (Abb. 4).

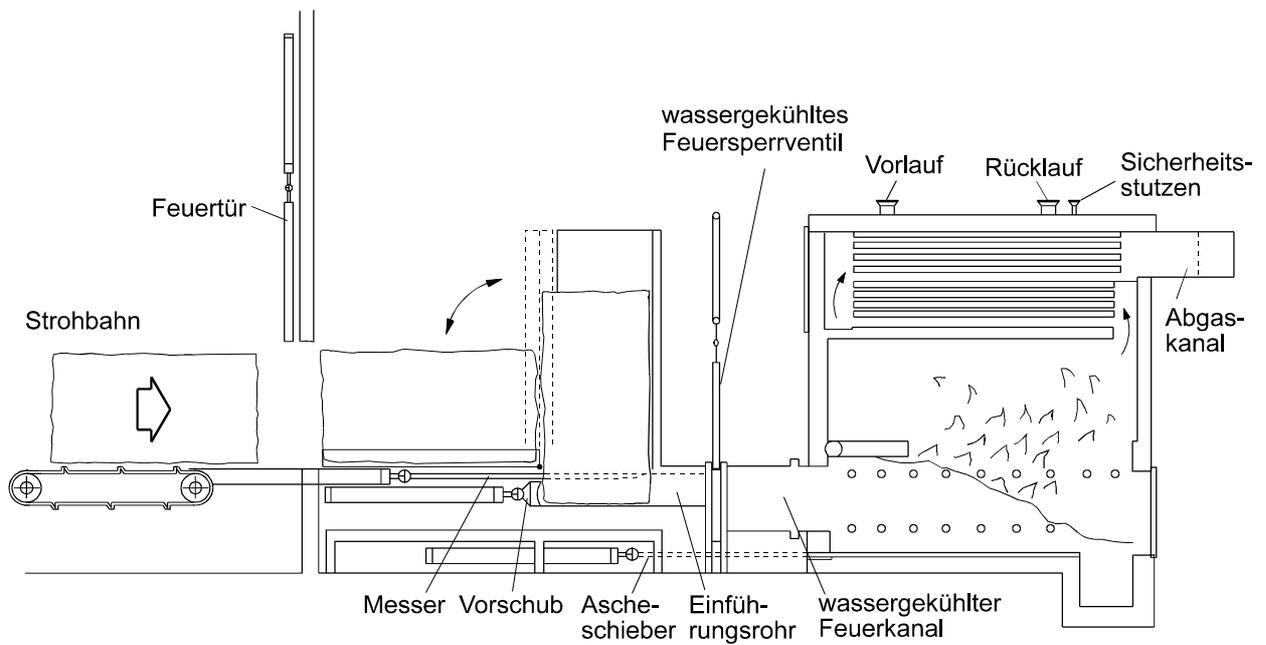


Abb. 3: Ballenfeuerungen mit Ballenteiler und halmguttauglichem Rost (nach [8])

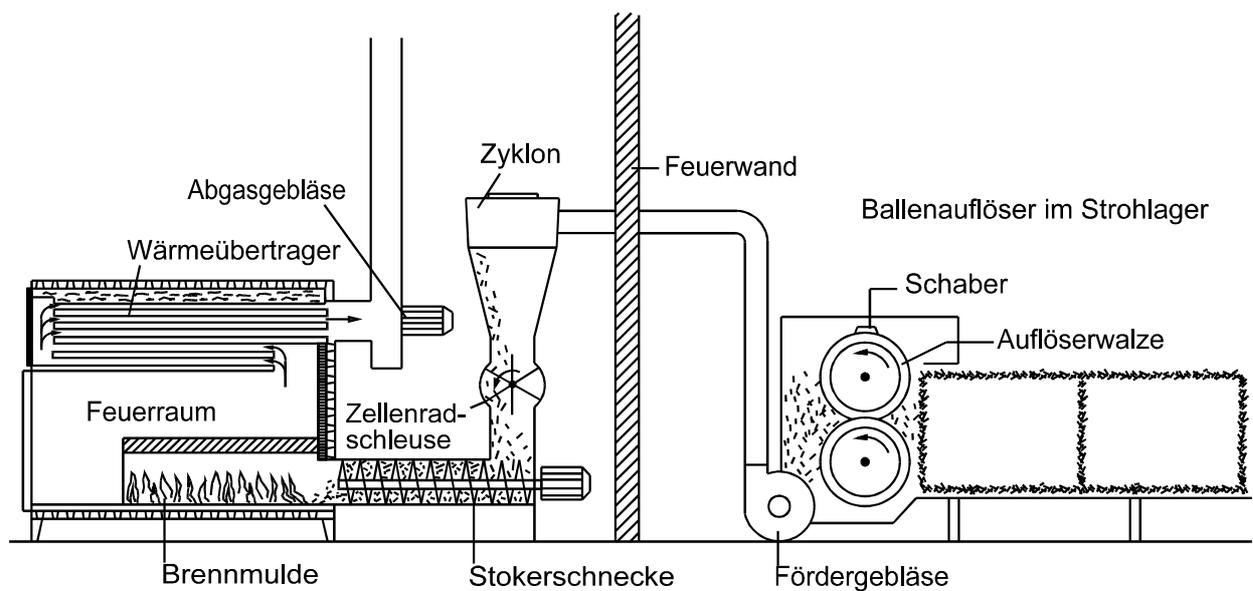


Abb. 4: Halmgutfeuerung mit Ballenauflöser

Die Feuerung selbst kann eine halmguttaugliche Vorschubrostfeuerung mit Wasserkühlung sein. Kleinere Anlagentypen verwenden auch Schubbodenfeuerungen (Abb. 5), die bereits ab etwa 50 kW Nennwärmeleistung angeboten werden.

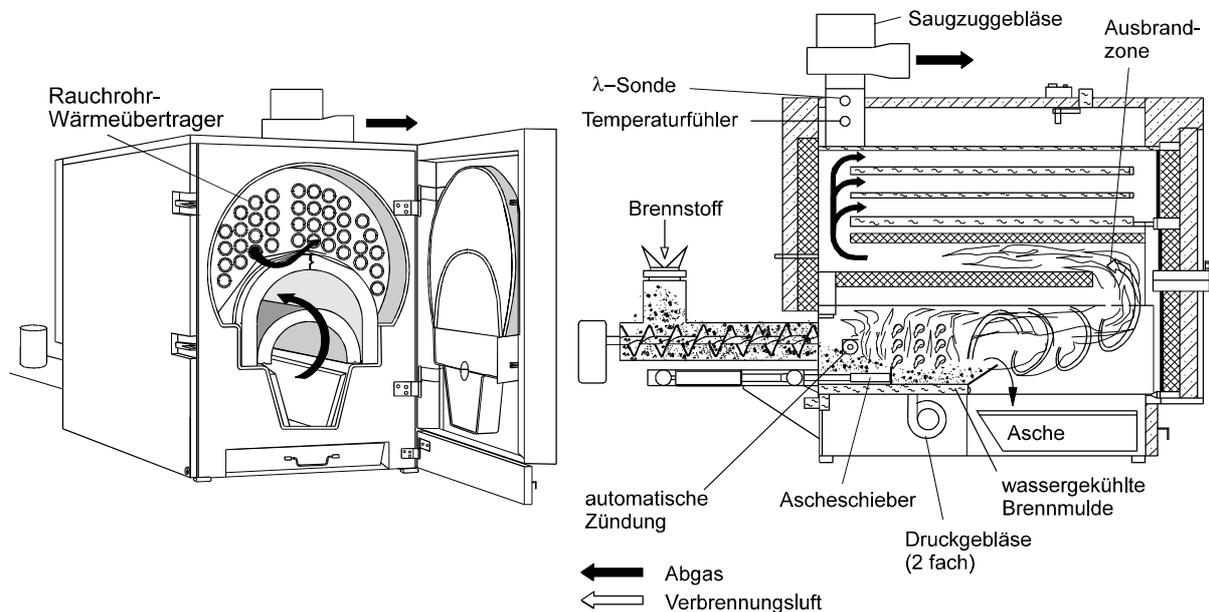


Abb. 5: Schubbodenfeuerung (49 kW) mit wassergekühlter Brennmulde, hier ohne automatische Entaschung [7]

4 Schadstoffemissionen im Abgas

In einem mehrjährigen Versuchsprogramm der Landtechnik Weihenstephan wurden umfangreiche Feuerungsversuche an einer automatisch beschickten halmguttauglichen Kleinanlage für Schüttgutbrennstoffe mit 49 kW Nennwärmeleistung durchgeführt (Fa. Ökotherm, Typ Compact C0, vgl. Abb. 5). Am Beispiel dieses Anlagentyps werden nachfolgend die wichtigsten Kenngrößen und Emissionen, die mit verschiedenen Biomasse-Brennstoffen, deren Merkmale in Tab. 2 zusammengestellt sind, sowie unterschiedlichen Aufbereitungsformen (Pellets/Häckselgut) bestimmt wurden, vorgestellt.

4.1 Brennstoffartenvergleich

Bei den erfassten Emissionsgrößen ist fast durchweg eine deutliche Zunahme der Massenkonzentrationen zu beobachten, wenn Nicht-Holzbrennstoffe (Stroh, Ganzpflanze, Heu und Rapspresskuchen) anstelle von Fichtenholz unter vergleichbaren Verbrennungsbedingungen eingesetzt werden. Da bei den Nicht-Holzbrennstoffen die Gehalte an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen deutlich höher liegen als beim Holz (hier im wesentlichen N, Cl und Asche, vgl. Tab. 2), zeigt sich dieser Emissionsanstieg insbesondere bei solchen Schadstoffen, die aus eben diesen Brennstoffinhaltsstoffen gebildet werden. Beispielsweise steigen die Stickstoffoxid-Emissionen bei Einjahrespflanzenbrennstoffen im Durchschnitt um das 2- bis 4-fache gegenüber Holz an. Noch höher fällt die Zunahme bei den Staubemissionen aus. Sie steigt durchschnittlich um das 5-fache, wobei es im Submikronbereich (aerodynamischer Partikeldurchmesser < 1 µm) zu einer überproportionalen Emissionszunahme kommt (Abb. 7).

Tab. 2: Merkmale der eingesetzten Brennstoffe

Brennstoffart	Form ^a	Wassergehalt ^b % FM	Aschegehalt % TM	Elementgehalte % TM.		
				N	K	Cl
Fichtenholz	Hä	7–20	1,0	0,16	0,08	0,004
Weizenstroh	Pe	11	6,4	0,92	1,12	0,206
	Hä	21	6,5	0,69	0,88	0,150
Heu (Landsch.-pflege)	Pe	12	7,9	1,10	0,91	0,289
	Hä	17	6,5	1,17	0,87	0,168
Triticale Ganzpflanze	Pe	13	3,8	1,22	0,50	0,058
	Hä	20	3,2	1,80	0,90	0,139
Rapspresskuchen	Hä	11	6,2	4,97	1,60	0,019

FM Frischmasse, TM Trockenmasse

^a gehäckseltes (Hä) oder pelletiertes (PE) Halmgut von der gleichen Anbaufläche

^b Wassergehalt zum Zeitpunkt der Verbrennung

Weitaus drastischer als bei NO_x und Staub ist jedoch die Zunahme bei den chlorhaltigen Schadstoffemissionen. Das liegt im Wesentlichen daran, dass die Unterschiede zwischen den Nicht-Holzbrennstoffen und dem Referenzbrennstoff Fichtenholz gerade beim Chlorgehalt stärker ausgeprägt sind als z. B. beim Stickstoff- und Aschegehalt. Unter den erfassten chlorhaltigen Emissionen werden diese Unterschiede besonders bei den anorganischen Chlorverbindungen (gemessen wurde HCl) sichtbar. Hier wurden bei den Nicht-Holzbrennstoffen gegenüber dem Fichtenholz 16- bis 107-fache Konzentrationszunahmen bestimmt, wobei der Rapspresskuchen aufgrund seines vergleichsweise niedrigeren Chlorgehaltes das untere Ende dieser Bandbreite markiert.

Neben dem erhöhten Risiko der HCl-Bildung zeigen die Versuchsergebnisse auch, dass beim Einsatz von Nicht-Holzbrennstoffen ein beträchtliches Potenzial zur Bildung und Emission von hochtoxischen organischen Chlorverbindungen besteht. Das wird sowohl bei der Emission an polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F) als auch bei der Emission an chlorierten Kohlenwasserstoffen (gemessen wurden die polychlorierten Benzole und Phenole, die hier nicht dargestellt sind) sichtbar, diese Messgrößen sind zudem auch eng miteinander korreliert [7]. Generell besteht eine Abhängigkeit der PCDD/F-Emission vom Chlorgehalt (Abb. 8). Das führt dazu, dass bei Halmgütern gegenüber Holz deutlich höhere Dioxin-Emissionen auftreten. Beispielsweise wurde für Weizenstroh und Landschaftspflegeheu eine deutliche Konzentrationszunahme um durchschnittlich das 13- bzw. 17-fache gegenüber Fichtenholz gemessen (Abb. 6, unten links). Positiv fällt hier lediglich die Triticale-Ganzpflanze auf (vgl. auch Abb. 8). Trotz erhöhtem Brennstoff-Chlorgehalt liegen die PCDD/F-Emissionen bei diesem Halmgutbrennstoff auf dem Niveau von Fichtenholz. Die geringe Zunahme bei Rapspresskuchen ergibt sich dagegen auch hier – wie bei der HCl-Emission – aus dem insgesamt geringeren Brennstoff-Chlorgehalt (im Vergleich zum Halmgut).

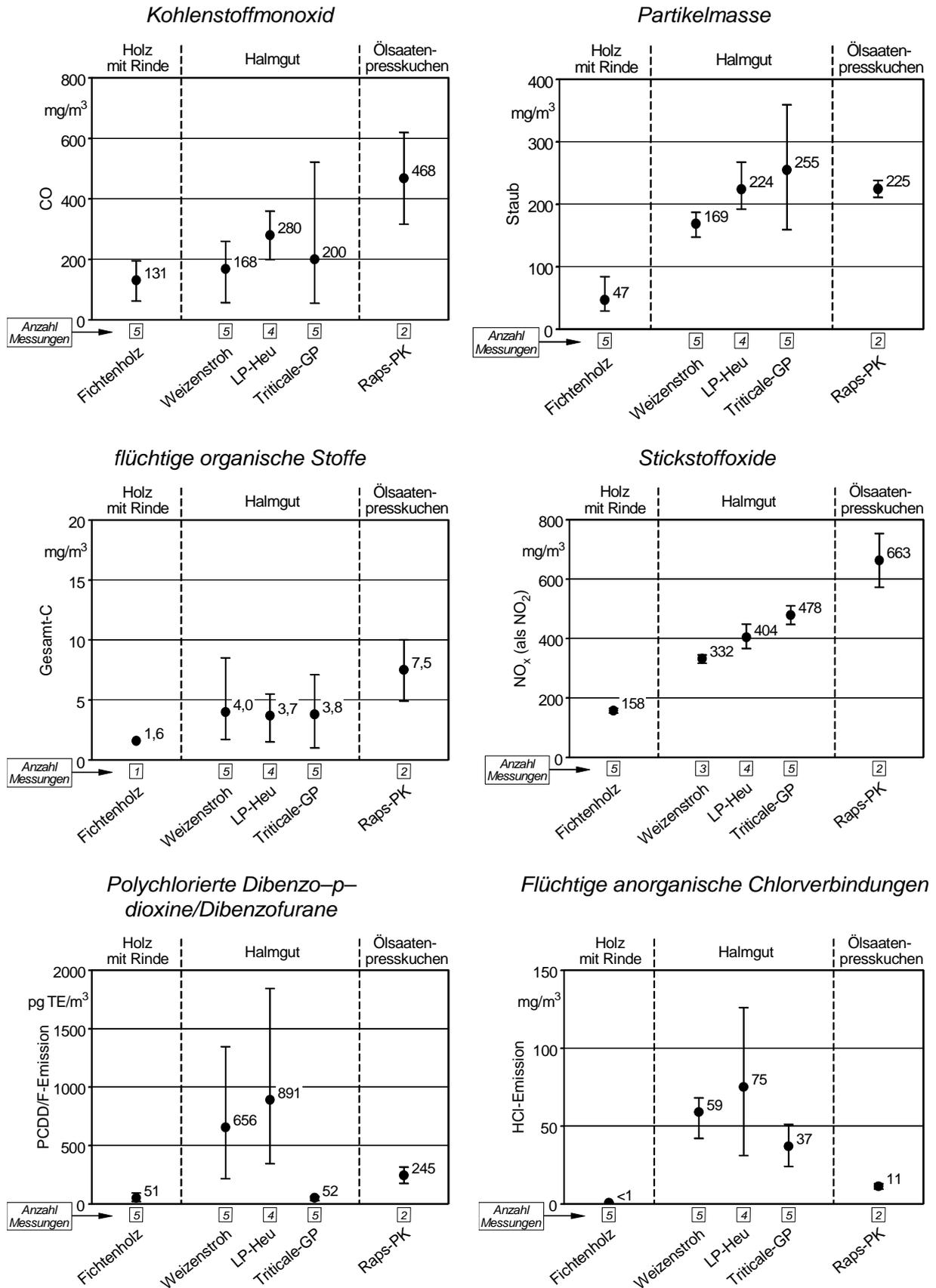


Abb. 6: Schadstoffemissionen beim Einsatz verschiedener Brennstoffarten in einer halmguttauglichen Kleinfeuerungsanlage (49 kW) bezogen auf trockenes Abgasvolumen im Normzustand bei 13 % O₂, Heizlast: 100 %; Aufbereitungsform und Wassergehalt (w) der Brennstoffe: Hackgut, w = 7–20 % (bei Holz); Häckselgut, w = 17–21 % und Pellet, w = 10–13 % (bei Halmgut); Pellet, w = 11 % (bei Ölsaatenpresskuchen) [7]

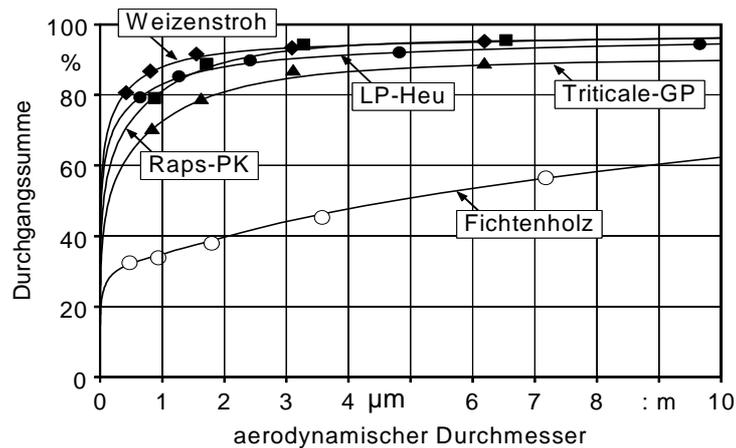


Abb. 7: Verteilungssummen der im Flugstaub gemessenen Partikelkollektive bei unterschiedlichen Brennstoffen in einer 49 kW Schubbodenfeuerung – Mittelwerte aus je zwei Einzelmessungen [7]

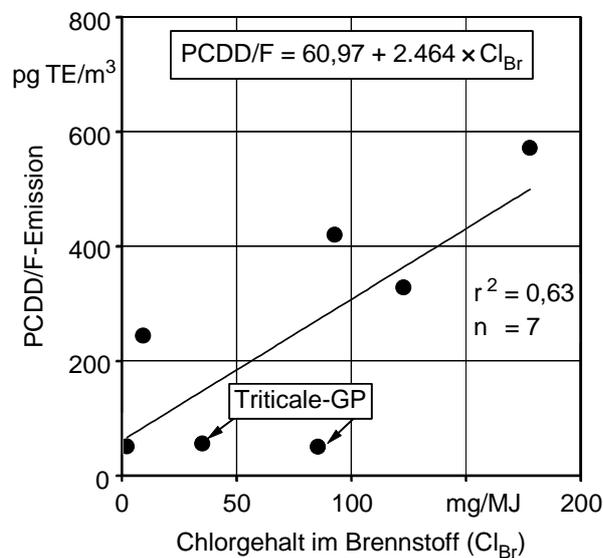


Abb. 8: Zusammenhang zwischen der PCDD/F-Emission und dem Chlorgehalt im Brennstoff in einer halmgut-tauglichen 49 kW Schubbodenfeuerung (bei Nennwärmeleistung) [7]

Die Halmgutbrennstoffe und der Rapspresskuchen zeigen darüber hinaus auch Nachteile bei den Emissionen an CO, CnHm (Abb. 6) und PAK (nicht dargestellt, vgl. hierzu [7]), bei denen es sich um Produkte einer unvollständigen Brennstoffumsetzung handelt. Bei den genannten Brennstoffen nehmen die Emissionen gegenüber dem Fichtenholz zu. Diese Zunahme ist jedoch weniger darauf zurückzuführen, dass die Verbrennung bei Nicht-Holzbrennstoffen grundsätzlich weniger vollständig als bei Holz abläuft. Im Gegenteil, bei den Verbrennungsversuchen mit Halmgut werden phasenweise häufig niedrigere Emissionswerte beobachtet, wenn die Verbrennungsreaktionen ungestört ablaufen. Allerdings führen die intermittierenden Bewegungen des Ascheschiebers, der für die Halmgut-tauglichkeit der Anlage eine wichtige Voraussetzung darstellt, zu zyklisch wiederkehrenden Emissionsspitzen, die zum Anstieg der Vierstundenmittelwerte führen. Aufgrund des niedrigeren Ascheschmelzpunktes der Nicht-Holzbrennstoffe [4] muss dieser Schieber für einen Dauerbetrieb mit Nicht-Holzbrennstoffen auf eine deutlich höhere Taktfrequenz als bei Holz eingestellt werden, um die Ascheräumung zu bewerkstelligen und mögliche Anbackungen und Verschlackungen im Feuerraum zu vermeiden. Somit geht die Emissionszunahme bei CO, CnHm und PAK bei Nicht-Holzbrennstoffen zum großen Teil auf deren ungünstigeren Aschegehalt und Ascheschmelzverhalten zurück.

4.2 Vergleich der Aufbereitungsformen (Pellets/Häckselgut)

Pelletierte Halmgutbrennstoffe weisen aufgrund ihrer hohen Schüttdichte (hier zwischen 510 und 580 kg/m³) vielfältige logistische Vorteile auf. Bedingt durch die günstigen physikalischen Eigenschaften werden den Halmgutpellets zudem auch Vorteile bei den Schadstoffemissionen – hier vor allem beim Staubausstoß nachgesagt.

Aufgrund der Ergebnisse aus der vorgestellten Untersuchung [7] kann von einem solchen Trend jedoch nicht generell ausgegangen werden. Statt dessen ergibt der durchgeführte Vergleich zwischen Pellets und Häckselgut, für den insgesamt drei Halmgutarten (Stroh, Heu und Ganzpflanze) verwendet worden waren, ein uneinheitliches Bild bei den betrachteten Emissionsgrößen.

Allgemein lässt sich feststellen, dass bei der Verbrennung von Pellets ein über einen längeren Zeitraum stabiler Betriebszustand auf niedrigerem Emissionsniveau möglich ist. In den meisten Fällen lässt sich daher der CO-Ausstoß auf ein niedrigeres Niveau einregeln, als bei Häckselgut (Abb. 9) – eine Beobachtung, die auch durch eine Untersuchung an einer größeren Schubbodenfeuerung (210 kW) bestätigt wird [10].

Entgegen den Erwartungen sind jedoch derartige Vorteile beim Staubausstoß nicht erkennbar. Ungleichmäßige Betriebsbedingungen, die bei Häckselgut häufiger auftreten, können zwar auch beim Staub zu Emissionsspitzen führen (vgl. Triticale-Ganzpflanze in Abb. 9), ihre Wirkung auf die Höhe des Staubausstoßes ist aber insgesamt weniger ausgeprägt als beim CO. Die Tatsache, dass den Pellets hinsichtlich dieses Parameters keine generellen Vorteile zuzusprechen sind, wird auch durch die genannte Untersuchung an einer 210 kW Schubbodenfeuerung bestätigt [10]. Darin hatten die Versuche mit pelletiertem Getreideganzpflanzenbrennstoff sogar fast durchweg zu einem Emissionsanstieg gegenüber dem parallel gemessenen Häckselgut geführt (Abb. 10).

Wie beim Staub lassen sich auch bei Stickstoffoxid (NO_x) keine durchweg vorteilhaften Wirkungen durch eine Pelletierung des Halmgutbrennstoffs nachweisen (Abb. 9). Hierin besteht ebenfalls Übereinstimmung mit der vorgenannten Untersuchung [10]. Ähnliches gilt auch für die Emissionen an PAK und chlorhaltigen Schadstoffen [7].

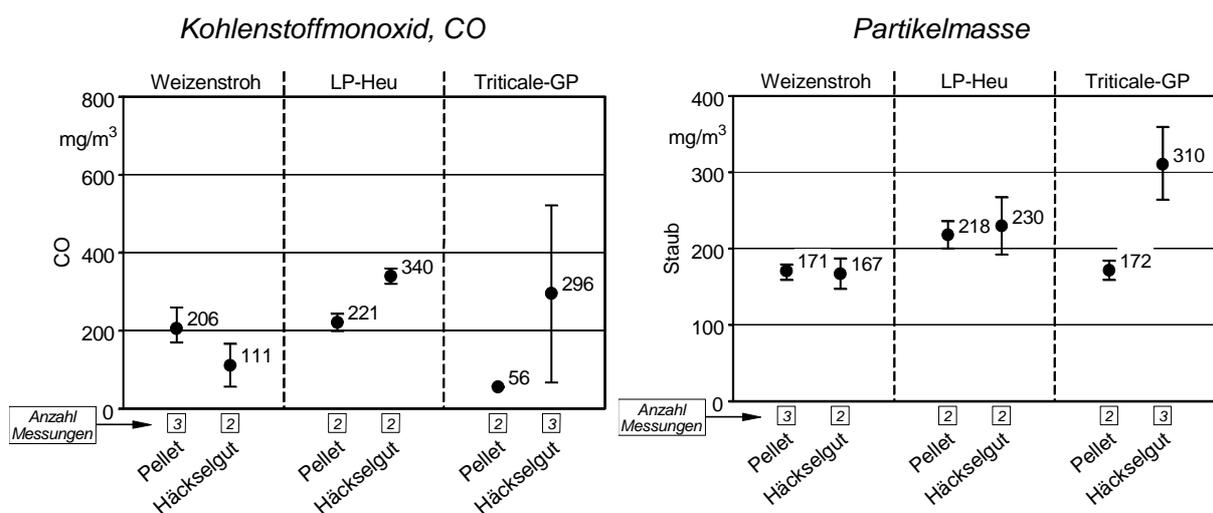


Abb. 9: Schadstoffemissionen beim Einsatz unterschiedlicher Aufbereitungsformen von Halmgutbrennstoffen in einer Schubbodenfeuerung (49 kW) – Dargestellt sind Mittelwerte und Spannweiten aus mehreren Einzelmessungen, angegeben als Vierstundenmittelwerte, bezogen auf trockenes Abgasvolumen im Normzustand bei 13 % O₂. Heizlast: 100 %; Brennstoff-Wassergehalt: w = 10–13 % (Pellet), w = 17–21 % (Häckselgut)

Pelletqualität. Auch der Einfluss der Pelletqualität auf den Gesamt-Staubausstoß ist bei derartigen Schubbodenfeuerungen offenbar relativ gering. Das bestätigen Untersuchungen mit pelletierten Getreideganzpflanzenbrennstoffen (Winterweizen, Winterroggen), die nach Absiebung und Zumischung unterschiedlicher Feianteile in definiert abgestuften Qualitäten (0, 20 und 40 % Feingehalt) verwendet wurden. Die Staubemission wurde lediglich bei sehr hohen Feingehalten von 40 % negativ beeinflusst (Abb. 10).

Die in Abb. 10 dargestellten Ergebnisse zeigen auch, dass Teillastbetriebszustände (hier 50 % der Nennwärmeleistung) sich vorteilhaft auf den Gesamtstaubausstoß auswirken. Hierin besteht Übereinstimmung mit Beobachtungen bei Scheitholz-, Hackschnitzel- oder Holzpelletfeuerungen, bei denen der Gesamt-Staubausstoß mit der Heizlast durchweg abnimmt [5].

Der Staubausstoß wurde allerdings auch hier nicht durch den Aufbereitungsschritt der Pelletierung verringert; die ursprüngliche Annahme, dass der Einsatz von Pellets aufgrund ihrer hohen Einzeldichte möglicherweise zur Ausbildung eines kompakteren Glutbettes führt, in dem die Feianteile und Aschepartikel besser festgehalten werden, anstatt vom Gasstrom als Staubemission mit dem Rauchgas mitgerissen zu werden, konnte somit bisher nicht bestätigt werden.

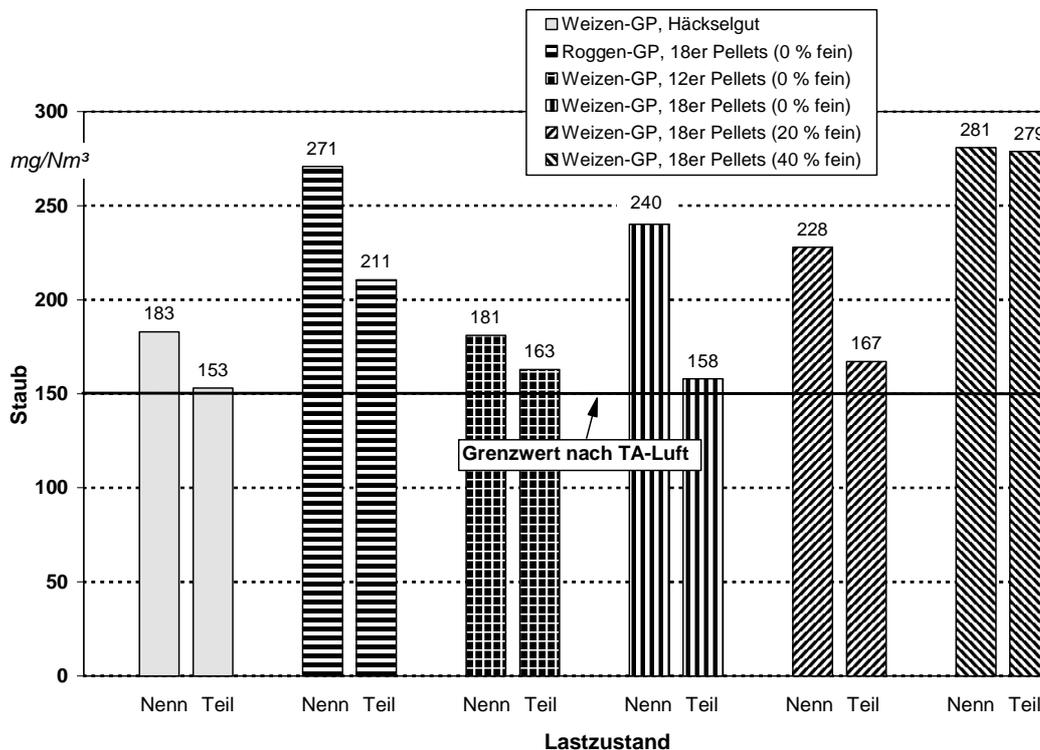


Abb. 10: Staubemission beim Einsatz von Ganzpflanzengetreide (Roggen-GP, Weizen-GP) in einer automatisch beschickten Schubbodenfeuerung (210 kW) bei unterschiedlicher Brennstoffaufbereitung (Häckselgut, 12 und 18 mm Pelletdurchmesser) und unterschiedlichen Pelletqualitäten. Mittelwerte im Rohgas (vor Multi-zyklon) aus je drei Wiederholungsmessungen; Nennwärmeleistung 100 % und Teillast 50 % Heizlast, Werte bezogen auf 11 % O₂ [10]

5 Wirkungsgrad und Aschequalität

Wirkungsgrad. Beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad sind die Unterschiede, die sich zwischen den einzelnen Brennstoffen ergeben, relativ gering (Abb. 11). Die in den dargestellten Versuchen verwendete Kleinanlage weist bei Holzhackgut, für welches sie offenbar optimiert worden war, stets einen leicht (um ca. 1 bis 1,5 Prozentpunkte) höheren Wirkungsgrad auf. Pelletiertes Material erhöht den Wirkungsgrad ebenfalls nur leicht gegenüber Häckselgut; wodurch die bei der Pelletierung aufgewendete Primärenergie (ca. 4 % der im Brennstoff gebundenen Energie, vgl. [3]) zumindest teilweise kompensiert wird. Wirkungsgradunterschiede bis ca. 2 Prozentpunkte liegen jedoch im Rahmen der üblichen Messwertschwankungen und sollten daher nicht überinterpretiert werden.

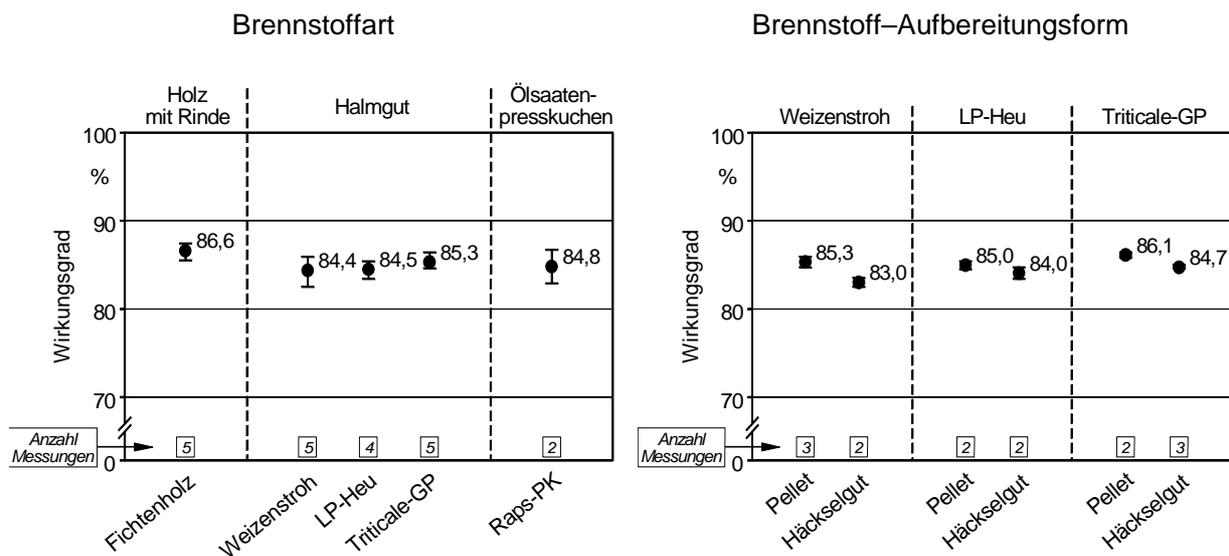


Abb. 11: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Brennstoffen und Aufbereitungsformen in einer halmguttauglichen 49 kW Schubbodenfeuerung (Messungen bei Nennwärmeleistung) [7]

Aschequalität. Während sämtliche hier betrachteten Halmgutbrennstoffe bei den Abgasemissionen fast ausschließlich Nachteile gegenüber dem Holz erkennen lassen, müssen ihre Aschen weitgehend günstiger beurteilt werden. Zumindest trifft dies auf die Feuerraumasche zu, die ca. 85 % bis 95 % der Gesamtasche ausmacht. Beispielsweise liegt der PAK-Gehalt der Nicht-Holz-asche um rund das 8fache niedriger als bei der Fichtenholzasche und auch der Ausbrand ist höher [7]. In den Aschen wiederholen sich allerdings die schon im Abgas beobachteten Brennstoffunterschiede hinsichtlich des PCDD/F-Gehalts; die chlorreichen Brennstoffe Weizenstroh und Landschaftspflegeheu zeigen auch bei den Aschen die höchsten PCDD/F-Gehalte.

Bei den untersuchten Schwermetallen ist eher mit Vorteilen für Halmgutbrennstoffe zu rechnen, wengleich diese in der dargestellten Untersuchung aufgrund der geringen Gehaltsunterschiede in den Brennstoffen nicht zu Tage traten. Naturbelassene Brennstoffe aus Einjahrespflanzen weisen aber tendenziell niedrigere Schwermetallgehalte auf als Waldholz [4]. Das liegt zum einen an der langen Umtriebszeit, in der der Wald die Schwermetalleinträge aus der Atmosphäre akkumuliert, und zum anderen an den niedrigen pH-Werten der Waldböden, wodurch sich die Schwermetalllöslichkeit und damit auch die Pflanzenaufnahme erhöht.

Wie bei Großanlagen erscheint auch bei kleineren Halmgutfeuerungen eine nach Anfallort getrennte Ascheabscheidung geboten, da die Aschen aus den Wärmetauschern und dem Kaminsystem auch bei Kleinanlagen kritische Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Das wird am Beispiel des Zinkgehalts in Abb. 12 dargestellt. Die zu deponierenden Wärmetauscher- und Kaminaschen sind mengenmäßig jedoch unbedeutend, verglichen mit den relativ gering belasteten Feuerraumaschen.

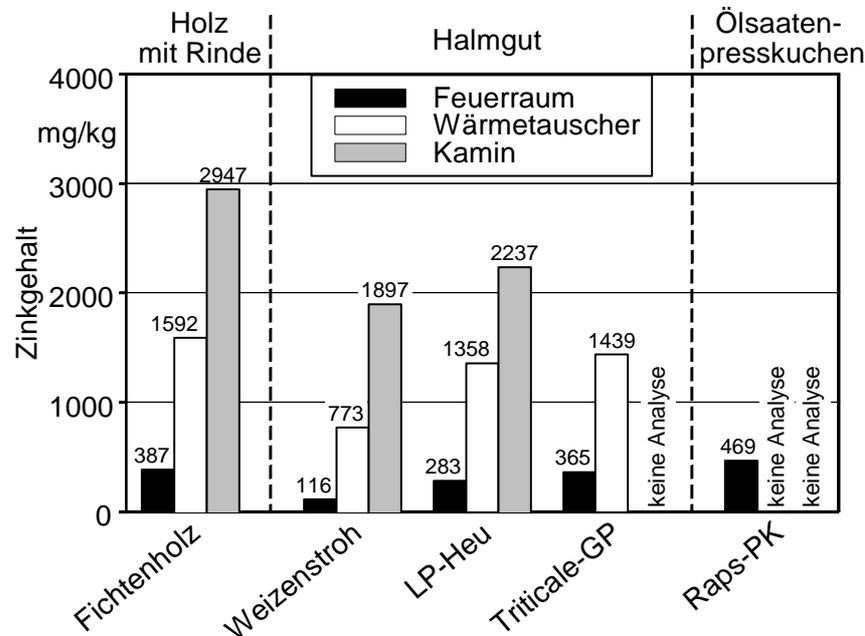


Abb. 12: Schwermetallanfall am Beispiel der Zinkgehalte in Aschen aus verschiedenen Abscheidungsbereichen und von unterschiedlichen Biomassebrennstoffen in einer halmguttauglichen Schubbodenfeuerung (49 kW)

6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Abweichend von den Rahmenbedingungen für Holzbrennstoffe gelten für Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe besondere rechtliche Anforderungen und Einsatzbedingungen. Anlagen für die Nutzung solcher Brennstoffe sind schon ab 0,1 MW Feuerungswärmeleistung genehmigungspflichtig gemäß 4. BImSchV (Sp. 2 Abs. 1.3). Bis 100 kW wird hierfür noch das sogenannte „vereinfachte“ Verfahren angewendet, das heißt, dass bei Planung und Errichtung der Anlage auf eine öffentliche Auslegung zur Bürgerbeteiligung gemäß BImSchG § 10 verzichtet werden kann. In der Praxis stellt jedoch auch dieses vereinfachte Verfahren eine – verglichen mit Holzfeuerungen, die noch bis 1 000 kW genehmigungsfrei sind – relativ große Hürde dar, die dazu führt, dass Strohfeuerungen zwischen 100 und ca. 1 000 kW Leistung in Deutschland nahezu nicht vorkommen.

Die Biomasse-Feuerungsanlagen müssen die Grenzwerte der jeweils gültigen Emissionsvorschrift einhalten. Bis 100 kW Nennwärmeleistung gelten beim Stroh die Begrenzungen der 1. BImSchV mit Kohlenmonoxid(CO)-Werten bis 4 000 mg/Nm³ und für Staub bis 150 mg/Nm³ (jeweils bezogen auf Abgas im Normzustand bei 13 % O₂). Ab 100 kW Leistung verschärfen sich diese Grenzen, da für die Schadstoffkonzentration im Abgas nun der Sauerstoff-Bezugswert der relevanten TA-Luft von 11 % O₂ gilt; dazwischen liegt der Faktor 1,25, d. h. der Staubgrenzwert von 150 mg/Nm³ bei

11 % O₂ entspricht einer Abgaskonzentration von 120 mg/Nm³ bei 13 % O₂. Zusätzlich müssen die genehmigungspflichtigen Strohfeuerungen (über 100 kW) auch Begrenzungen bei den organischen Kohlenstoffverbindungen sowie bei Stickstoffoxiden (NO_x) einhalten (Tab. 3).

Tab. 3: Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen [2] (Im Rahmen der derzeit laufenden Novellierung der TA-Luft ist in Kürze mit weiter verschärften Grenzwerten für Staub, CO und NO_x und zusätzlichen Stoffen zu rechnen)

Anlagen-nennleistung	relevante Vorschrift	Bezugs-sauerstoff Vol. % O ₂	Emissionsbegrenzung			
			CO (g/Nm ³)	Ges.-C ^a (mg/Nm ³)	NO _x ^b (mg/Nm ³)	Staub (mg/Nm ³)
<i>Emissionswerte bei der Verfeuerung von naturbelassenem Holz:</i>						
15 – <50 kW	1. BImSchV	13	4	–	–	150
50 – <150 kW	1. BImSchV	13	2	–	–	150
150 – <500 kW	1. BImSchV	13	1	–	–	150
500 – <1000 kW	1. BImSchV	13	0,5	–	–	150
1 – <5 MW	TA Luft	11	0,25 ^d	50	500 ^c	150
5 – <50 MW	TA Luft	11	0,25	50	500 ^c	50
<i>Emissionswerte bei der Verfeuerung von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Stoffen:</i>						
15 – <100 kW	1. BImSchV	13	4	–	–	150
100 kW – <5 MW	TA Luft	11	0,25 ^d	50	500 ^c	150
5 – <50 MW	TA Luft	11	0,25	50	500 ^c	50

^a Die Emission flüchtiger organischer Kohlenstoffverbindungen wird als „Gesamtkohlenstoff“ (Ges.-C) angegeben.

^b angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)

^c Für Wirbelschichtfeuerungen > 20 MW_{therm} oder für zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen gilt ein Grenzwert von 300 mg/Nm³.

^d Bis 2,5 MW Feuerungsleistung gilt der Grenzwert nur bei Betrieb mit Nennlast.

Automatisch beschickte Anlagen für Stroh(ähnliche)-Brennstoffe müssen die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte im Betrieb wiederkehrend nachweisen. Bei strohtaughlichen Feuerungen unter 100 kW (Holzfeuerungen: unter 1 000 kW) erfolgt diese Überwachung jährlich durch den Kaminkehrer; sie ist mit Kosten von ca. 100,- €/a verbunden. Genehmigungspflichtige Anlagen werden gemäß BImSchG § 28 dagegen nach der vorgeschriebenen Erstmessung nur alle 3 Jahre überprüft. Da diese Messung aber nicht – wie bei den genehmigungsfrei errichteten Anlagen – vom Kaminkehrer, sondern von einem speziellen hierfür zugelassenen Prüfinstitut durchgeführt wird, sind die anfallenden Kosten meist um mehr als das 15-fache höher, zumal dabei eine Vielzahl weiterer Messgrößen erfasst wird.

Unsicherheit besteht außerdem bei der Beurteilung von Körnern als zulässiger Brennstoff in Kleinanlagen (unter 100 kW). Getreide- oder Rapskörner werden nicht ausdrücklich unter den Regelbrennstoffen der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung genannt; inwieweit sie als „Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe“ (gemäß Ziffer 8 in § 3 (1) der 1. BImSchV) gelten können, wird in Deutschland regional unterschiedlich interpretiert.

7 Schlussfolgerungen

Aufgrund der vorgestellten Messungen, Erfahrungen und Rahmenbedingungen werden nachfolgend die wichtigsten Schlussfolgerungen zusammengestellt.

Technische Konzepte:

- Bei den Kleinfeuerungen werden nur wenige Systeme mit Strohtauglichkeit angeboten.
- Aufgrund unsicherer Marktchancen und zunehmend verschärfter Umweltauflagen ist die Weiterentwicklung derartiger Anlagen in Deutschland behindert.

Betrieb und Emissionen:

- Bei Halmgut handelt es sich um einen – im Vergleich zu Holz – deutlich problematischeren Brennstoff, dessen Eigenschaften und Inhaltsstoffe in Kleinfeuerungen ohne sekundäre Abgasreinigung in der Regel zu erhöhten Schadstoffemissionen führen.
- Als kritischste Schadstoffkomponente bei der Halmgutverbrennung erweist sich der Staub, zumal es sich dabei überwiegend um Submikronpartikel ($< 1 \mu\text{m}$) handelt und diese Stäube gleichzeitig ein Transportmittel und Kondensationskeime für die ebenfalls erhöhten Konzentrationen aromatischer und chlorhaltiger organischer Stoffe (PAK, PCDD/F) darstellen.
- Während beim Kohlenmonoxid(CO) die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen der 1. BImSchV und sogar der TA–Luft auch mit Halmgut möglich ist, ist dies beim Staub ohne sekundäre Entstaubungsmaßnahmen kaum zuverlässig denkbar. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der anstehenden Grenzwertverschärfungen im Bereich der TA–Luft.
- Die Pelletierung des Brennstoffs führt nicht zuverlässig zu Emissionsverbesserungen und stellt für das Hauptproblem (Staub) keinen sinnvollen Lösungsweg dar. Gleichwohl kann die Pelletierung aufgrund der Vereinfachung der Beschickungsprozesse als eine Art Schlüsseltechnologie für kleinere Strohfeuerungen angesehen werden.
- In den Aschen aus dem Wärmetauscher und Kamin sind verschiedene Schadstoffe (Schwermetalle und organische Kohlenstoffverbindungen) stark angereichert; diese Aschefractionen sollten daher – sofern sie bauartbedingt getrennt von den Feuerraumaschen anfallen – nicht als Düngemittel verwendet werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen:

- Die Errichtung von Strohfeuerungsanlagen wird durch die Genehmigungspflicht ab 100 kW Feuerungswärmeleistung deutlich erschwert.
- Die rechtliche Einordnung der landwirtschaftlichen Brennstoffe ist vielfach noch unklar und wird regional verschieden gehandhabt (z. B. Zulässigkeit von Getreidekörnern und Korn–Stroh–Gemischen in nicht–genehmigungspflichtigen Anlagen).
- Bei der Feststellung der anzuwendenden Grenzwerte für Halmgut– und Getreidefeuerungen besteht vielfach noch ein Interpretationsspielraum, so dass die Planungssicherheit der entwickelnden Hersteller und Errichter – auch nach der anstehenden Novellierung der TA–Luft – derzeit nicht gegeben ist. Beispielsweise sind in der Praxis verschiedene Ausnahmen bei der

Grenzwertzuordnung oder bei der Genehmigungspflicht für Strohfeuerungen bekannt geworden, wenn die 100 kW Grenze nur geringfügig überschritten war (gemäß dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes der TA-Luft).

- Für die Prüfung von Halmgutfeuerungen existieren nur unzureichende Vorschriften. Insbesondere hinsichtlich der Staubmessverfahren sowie der Prüfbrennstoffauswahl und deren Zusammensetzung besteht Klärungs- bzw. Harmonisierungsbedarf.

Literatur

- [1] Maskinfabriken Faust ApS. Vester Fjordvej 2, DK-9280 Storvorde, Dänemark
- [2] Feldhaus, G. Hansel, H.D. (Bearb.): Bundes-Immissionsschutzgesetz. 11. Auflage. Heidelberg, C.F. Müller Verlag, 1997, 646 S.
- [3] Hartmann, H.; Strehler, A.: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1995, 396 S.
- [4] Hartmann, H.; Böhm, T.; Maier, L.: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München, 2000, Reihe "Materialien", Nr. 154, 155 S.
- [5] Hartmann, H.; Schmidt, V.; Link, H.: Untersuchungen zum Staubausstoß von Holzcentralheizungsanlagen kleiner Leistung – Partikelgrößenverteilungen, Gesamtstaub und weitere Kenngrößen. Abschlussbericht (Teilbericht) der Landtechnik Weihenstephan für das Umweltbundesamt Berlin (noch unveröffentlicht), Freising, 2001, 64 S.
- [6] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer, Berlin, 2001, 770 S.
- [7] Launhardt, T.; Hartmann, H.; Link, H.; Schmid, V.: Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinfeuerungsanlage – Emissionen und Aschequalität. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München, 2000, Reihe "Materialien", Nr. 156, 133 S.
- [8] Linka Maskinfabrik (Firmenunterlagen), Lem, Dänemark
- [9] Nussbaumer, T., Hartmann, H. (2001): Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 2001, S. 345–363
- [10] Oberhauser, K.; M. Kanak und H. Hartmann (1998): Vergleich der Emissionen bei der Verbrennung von Getreideganzpflanzen an einer Praxisanlage in Abhängigkeit von der Brennstoffaufbereitung. Unveröffentlichter Abschlussbericht für das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, TU München-Weihenstephan, Freising, Selbstverlag, 24 S.
- [11] Obernberger, I.: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente – Habilitation am Institut für Verfahrenstechnik der TU-Graz. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung (1). dbv-Verlag, Graz, 1997, 349 S.

Dipl.-Ing. agr. Dr. Hans Hartmann

Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
der Technischen Universität München
Bayerische Landesanstalt für Landtechnik
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Tel.: (08161) 71 – 38 97

Fax: (08161) 71 – 40 48

hartmann@tec.agrar.tu-muenchen.de

www.tec.agrar.tu-muenchen.de/