

# OPTIMALE QUALITÄT VON HOLZSCHNITZELN



Vorsicht  
Dachlawine

## Zusammenfassung

Für einen emissions- und wartungsarmen Betrieb von automatischen Holzfeuerungen ist die Qualität der eingesetzten Holzschnitzel von entscheidender Bedeutung. Viele Schnitzelhersteller, Waldbesitzer, Planer und Anlagenbetreiber können vom grossen Potenzial profitieren, welches die Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln hinsichtlich eines schadstoffarmen und störungsfreien Betriebs der Anlagen bietet.

Vor allem bei kleinen Feuerungen bis 200 kW Leistung («Seriengeräte») beeinträchtigt ein hoher Feingutanteil insbesondere die Verbrennungsqualität, aber auch das Fliessverhalten und damit die Qualität der Austragung. Solche Anlagen benötigen Qualitätsholzschnitzel.



Qualitätsholzschnitzel ohne Feingutanteil

Für die Höhe des Feingutanteils ist die Qualität des Ausgangsmaterials entscheidend. Das Hackgut der Qualitätsholzschnitzel darf keine Blätter oder Nadeln und nur wenig Rinde enthalten. Deshalb ist eine Unterteilung in Energierundholz für gute Schnitzelqualitäten und Waldrestholz für schlechte Qualitäten zweckmässig. Aus minderwertigem Ausgangsmaterial lassen sich keine Qualitätsholzschnitzel herstellen.

Eine der wichtigsten Massnahmen im Hinblick auf einen emissions- und wartungsarmen Betrieb der Anlagen und Geräte ist die Reduktion des Feingutanteils durch Aussieben der Holz-

schnitzel. Dafür gelangen meistens Rüttelsiebe, Trommelsiebe oder Sternsiebe zum Einsatz. Idealerweise werden die Holzschnitzel sowohl vor als auch nach der Trocknung ausgesiebt.

Durch die Trocknung von Holzschnitzeln reduziert sich deren Wassergehalt und der Heizwert nimmt zu. Bei einem Wassergehalt von mehr als 30% findet aber bei natürlicher Trocknung ein beträchtlicher Substanzverlust an Trockenbiomasse statt. In ungedeckten Schnitzellagern kann so in einem Jahr bis zu 30% der Masse verloren gehen. Der Substanzverlust ist umso grösser, je schlechter die Qualität der gelagerten Schnitzel ursprünglich war. Bei der Lagerung von Holzschnitzeln im Freien empfiehlt sich die Abdeckung mit diffusionsoffenen Vliesen.

Bei der Lagerung der Holzschnitzel unter Dach in Lagerhallen konnten nach sechs Monaten Wassergehalte von unter 30% gemessen werden, und der Substanzverlust an Trockenbiomasse lag bei ca. 13%. Wichtige Faktoren sind eine gute Durchlüftung der Halle und genügend Freiraum zwischen dem Schnitzelhaufen und dem Hallendach. Zudem sollte die Lagerdauer mit max. 3 bis 6 Monaten möglichst kurz bemessen sein. Je geringer der Feingutanteil ist, desto besser kann die Trocknungsluft durch die Holzschnitzel strömen.

Die Vortrocknung des Energieholzes in ungehacktem Zustand ist eine einfache, kostengünstige und effiziente Massnahme zur Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln. Je nach Holzarten liessen sich Wassergehalte von unter 35% erzielen. Unter optimalen Bedingungen bei heisser Witterung und optimaler Durchlüftung wurden gar Werte von 25% gemessen. Der Substanzverlust bei der Vortrocknung in ungehacktem Zustand ist mit rund 6% in sechs Monaten deutlich geringer als bei der Schnitzellaagerung und -Trocknung.

Entscheidend für eine effiziente Vortrocknung in ungehacktem Zustand ist die richtige Wahl des Polterstandorts. Ideal sind windexponierte, besonnte Kuppenlagen auf gut durchlässigen Böden mit ausreichend Bodenfreiheit durch Unterlagen aus Querhölzern. Ein trockener Untergrund des Energieholzpolters ist für die Vortrocknung entscheidend.

**Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt BAFU im Rahmen des Aktionsplans Holz. Wir bedanken uns für die Unterstützung.**

## Impressum

Redaktion: Holzenergie Schweiz; September 2017

Quelle Fotos: Holzenergie Schweiz oder mit Quellenangabe

Quellenverzeichnis: Seite 26



Vortrocknung eines Energieholzpolters.

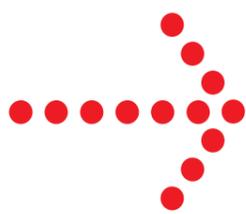
Eine weitere Möglichkeit zur Qualitätsverbesserung von Holzsnitzeln ist die technische Trocknung durch aktive Zuführung von Wärme. Dadurch verkürzt sich die Trocknungszeit gegenüber der natürlichen Schnitzeltrocknung massiv und der Substanzverlust fällt deutlich geringer aus. Im Vordergrund stehen Bandtrockner, Trommeltrockner und Containertrockner. Entscheidend für die technische Schnitzeltrocknung sind einerseits eine günstige Wärmequelle, andererseits die Möglichkeit, die Holzsnitzel nach dem Trocknen unter Dach zu lagern oder in die Heizungen zu führen.

Am Beispiel des «Holzkreislaufs Liechtenstein» wird gezeigt, wie die Qualitätsverbesserung von Holzsnitzeln bereits bei der Energieholzlogistik beginnt. Schon bei der Polterbildung im Wald wird unterschieden zwischen Energierundholz für kleinere und ältere Anlagen und Waldrestholz für grosse Vorschubrostfeuerungen. Auch hier wird das grosse Potenzial der Vortrocknung in ungehacktem Zustand optimal ausgenutzt.



## INHALT

- 02 ZUSAMMENFASSUNG**
- 04 KLASSIFIZIERUNG VON HOLZSCHNITZELN**
- 07 ANFORDERUNGEN AN HOLZSCHNITZELHEIZUNGEN**
- 10 VORTROCKNUNG VON ENERGIEHOLZ**
- 12 AUFARBEITUNG VON ENERGIEHOLZ ZU HOLZSCHNITZELN**
- 14 GRUNDSÄTZE DER SCHNITZELLAGERUNG**
- 15 SUBSTANZVERLUST BEI NATÜRLICHER TROCKNUNG**
- 17 LAGERUNG VON HOLZSCHNITZELN IM FREIEN**
- 18 LAGERUNG VON HOLZSCHNITZELN IN LAGERHALLEN**
- 19 AUSSIEBUNG VON FEINGUTANTEIL**
- 20 TECHNISCHE SCHNITZELTROCKNUNG**
- 22 REGIONALE ENERGIEHOLZLOGISTIK**
- 24 QUALITÄTSKONTROLLE**
- 26 QUELLENVERZEICHNIS**
- 28 VORSCHLAG ZUR HOLZSCHNITZELKLASSIFIZIERUNG**



# KLASSIFIZIERUNG VON HOZSCHNITZELN

Holzchnitzel werden aus verschiedenen Ausgangsmaterialien wie Waldholz, Restholz, Flurholz oder Altholz hergestellt und können deshalb sehr unterschiedliche Qualitätseigenschaften aufweisen, je nachdem ob Hartholz oder Weichholz verarbeitet, das Energieholz vorgetrocknet oder frisch aus dem Wald gehackt wird, oder ob Holzchnitzel aus Restholz hergestellt oder aus Altholz geschreddert werden.

Ausgehend vom Ausgangsmaterial können Holzchnitzel in verschiedene Kategorien eingeteilt werden.

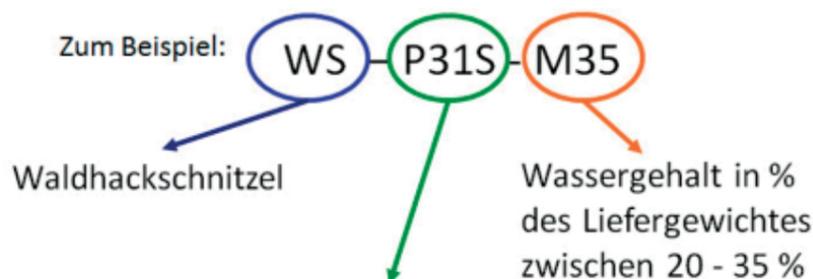
Holzchnitzel lassen sich nach folgenden Faktoren klassifizieren:

- Wassergehalt
- Feingutanteil
- Grobanteil und Überlängen
- Nadel- und Laubanteil
- Rindenanteil
- Aschegehalt
- Stickstoffgehalt
- Fremdstoffanteil

## Ausgangsmaterial und Kurzbezeichnung von Holzchnitzel-Sortimenten

Hackschnitzel aus	Kurzbezeichnung
Waldholz	WS
Energierundholz = Stammholz (kein Koppel- oder Nebenprodukt der Holzernte oder Waldpflege, entastet und entwipfelt)	aus ERH S-Klasse
Waldrestholz	aus WRH keine S-Klasse
Sägereirestholz / Industrierestholz	IS
Durchforstungsrestholz von Nadel- und Laubbäumen (Durchmesser < 8 cm) - Äste und Kronenholz	DH
Holz aus Landschaftspflege (Flurholz), oft geschreddert	LH
Rinde zerkleinert, meist geschreddert	RZ
Reste aus der Holzverarbeitung (Schreinerei- und Zimmereirestholz aus der 2. Verarbeitungsstufe. Kein naturbelassenes Holz, kein Sägereirestholz)	RHH
Altholz, geschreddert (z.B. Paletten, Abbruchholz, Baurestholz, Verpackungsholz, Möbelholz usw.. Keine druckimprägnierten und mit Holzschutzmitteln behandelten Holzabfälle, keine halogenorganischen Beschichtungen) <b>ACHTUNG:</b> Altholz gilt nicht als Holzbrennstoff und darf nur in dafür bewilligten Feuerungen verbrannt werden	AH

## Schnitzelbezeichnung



Partikelgrösse in mm		
Hauptanteil	min. 60%	3.15 – 31.5 mm
Feingutanteil	max. 10%	< 3.15 mm
Grobanteil	max. 6%	> 45 mm
Maximallänge		≤ 150 mm

## Bezeichnung

Die wichtigsten Eigenschaften der Holzchnitzel werden in der Norm EN ISO 17224-4 definiert. Diese dienen zur Qualitätsdefinition der Holzchnitzel im Schnitzelliefervertrag. Weitere Informationen zur Qualitätsdefinition der Holzchnitzel gemäss EN ISO 17225-4 sind in der Publikation Nr. 407 «Klassifizieren von Energieholz» von Holzenergie Schweiz zu finden.

## Wassergehalt

Der Wassergehalt ist das Verhältnis des Wassergewichts in den Holzschnitzeln im Vergleich zum Gewicht der feuchten Holzschnitzel. Er wird in Massenprozent (m-%) im Anlieferungszustand angegeben. Der Wassergehalt hat den grössten Einfluss auf den Energieinhalt der Holzschnitzel. Holzschnitzeln trocknen schlechter, wenn sie einen hohen Feingutanteil aufweisen. Eine Wiederbefeuchtung der Holzschnitzel nach erfolgter Trocknung ist nach Möglichkeit zu verhindern.

### Mögliche Auswirkungen eines zu hohen Wassergehaltes

System	Auswirkung
Schnitzelsilo oder Lagerhalle	Verstärkter Substanzverlust Schimmelpilz-Wachstum, Fäulnis
Austragungs- und Transportanlagen Seriengeräte: Unterschub-, Festrostfeuerungen bis 200 kW	Fördert Brückenbildung und Verstopfungen Verhinderung der Zündung Schlechte Verbrennung, zu kurze Holzrocknung Keine Nachverbrennung Leistung und Wirkungsgrad sinken Rauchentwicklung, Emissionen Störungen bis Heizungsausfall
Grössere Feuerungen im Teillastbetrieb	Höhere Feinstaub- und CO-Emissionen Schlechte Verbrennungsqualität

### Mögliche Auswirkungen eines zu tiefen Wassergehaltes

System	Auswirkung
Feuerungen, die auf Schnitzel mit hohem Wassergehalt eingestellt sind	Überhitzung des Brennraumes Verkürzung der Lebensdauer der Ausmauerung und der Roststäbe im Brennraum

### Auswirkungen eines zu hohen Feingutanteils

System	Auswirkung
Silo oder Lagerung	Schlechte Trocknung Schlechte Lagerfähigkeit
Fallschutzgitter	Rückstau bei Befüllung
Austragungs- und Transportanlagen	Blockierung der Austragung, Verdichtung Brücken- / Schachtbildung
Feuerung	Zonen mit Luftüberschuss oder Luftmangel Schlechte Verbrennungsqualität Unverbrannte Partikel Rauchentwicklung, Emissionen Leistung und Wirkungsgrad sinken Verstopfungen und Verschmutzung Höherer Asche- und Stickstoffgehalt

### Feingutanteil

Als Feingutanteil gelten alle Partikel unter 3.15 mm. Dieser wird in Massenprozent (m-%) im Anlieferungszustand angegeben. Ein hoher Feingutanteil entsteht, wenn Holz gehackt wird, dass sich bereits zersetzt. Gründe dafür können z.B. zu lange Lagerung, ein ungeeigneter Lagerplatz oder Wiederbefeuchtung der Holzschnitzel sein. Bei hohem Rinden-, Laub- und Nadelanteil, ist üblicherweise auch der Feingutanteil erhöht. Weitere Ursachen für zu hohen Feingutanteil sind unscharfe Messer, ein ungeeigneter Hackertyp oder die Grösse des Siebeinsatzes.

## Grobanteil und Überlängen

Grobanteil und Überlängen sind zu lange und zu dicke Holzschnitzel im Vergleich zur definierten Qualität. Diese Anteile vermindern die Fliessfähigkeit und können zu Brückenbildung führen. Dies gilt insbesondere für geschredderte Holzschnitzel, welche sich aufgrund der oftmals länglichen und dünnen Form vermehrt verkeilen. Hacken mit ungeschärften Messern führt zu einem ähnlichen Resultat.

### Auswirkungen von zu viel Grobanteil und Überlängen

System	Auswirkung
Rundarm-/Federkernaustragung	Schachtbildung (insb. geschredderte Schnitzel) Blockierung der Austragung
Zentrums-/Konus-/Pendelschnecke Schneckenförderer, Zellradschleuse	Brückenbildung Blockierung der Austragung Erhöhter Energieverbrauch

**Nadel- und Laubanteil**

Der Nadel- und Laubanteil beschreibt das Gewicht der Nadeln und Blätter im Vergleich zum Gewicht der feuchten Schnitzelprobe. Nadeln und Blätter weisen einen höheren Stickstoffgehalt als entrindetes Holz aus (siehe Stickstoffgehalt). Da mit höherem Nadel- und Blattanteil fast immer auch der Feingutanteil zunimmt, sind die Auswirkungen ähnlich (siehe Feingutanteil). Der deutlich höhere Nährstoffgehalt von Nadel- und Laubbiomasse im Vergleich zum Holz führt bei der Lagerung von Holzschnitzeln mit erhöhtem Nadel- oder Laubanteil zur Verstärkung der Zersetzung und deshalb zu erhöhtem Substanzverlust. Zudem steigt mit zunehmendem Nadel- und Laubanteil auch der Aschegehalt an, da in Nadeln und Laub mehr Verbrennungsrückstände enthalten sind als im Holz (siehe Aschegehalt).

**Rindenanteil**

Rinde enthält aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung im Vergleich zur Holzsubstanz mehr verbrennungskritische Inhaltsstoffe. Ein höherer Rindenanteil erhöht deshalb den Aschegehalt (siehe Aschegehalt). Zusätzlich sind in der Rinde häufiger Fremdstoffe wie Metalle, Sand, Steine, Fremdkörper usw. enthalten (siehe Fremdstoffanteil), da die Rinde den Stamm vor äusseren Einflüssen schützt.

**Mögliche Auswirkungen des Aschegehalts**

System	Auswirkung
Feuerraum	Grösserer Ascheanfall
	Unverbrannte Partikel
	Vermehrte Schlackenbildung bei Überhitzung
Rauchgaszüge	Vermehrte Ablagerungen
Allgemein	Höhere Reinigungskosten
	Höhere Entsorgungskosten für die Holzasche

**Aschegehalt**

Der Aschegehalt bezeichnet den Anteil des Aschegewichts pro verbrennte Gewichtseinheit an Holzschnitzeln. Je höher der Blatt-, Nadel- und Rindenanteil in den Holzschnitzeln ist, desto mehr Asche fällt normalerweise an. Falls die Verbrennung der Holzschnitzel im Feuerraum unvollständig stattfindet, kann ein grosser Anteil unverbrannter Partikel entstehen. Dies kann den Aschegehalt um Faktoren erhöhen im Vergleich zu einer vollständigen Verbrennung. Bei Überhitzung im Brennraum kann es zu vermehrter Schlackenbildung kommen.

**Stickstoffgehalt**

Stickstoff ist vor allem in Blättern, Nadeln, Rinde, in unverholztem Grünmaterial und aufgrund des differenzierteren Zellaufbaus vermehrt in Laubholz enthalten. Schnitzel aus Schlagabraum, Landschaftsholz und mit hohem Laubholzanteil weisen einen höheren Stickstoffgehalt auf. Dies führt zu höheren Stickoxidemissionen im Betrieb der Holzschnitzelfeuerung.

**Fremdstoffanteil**

Mit Fremdstoffen sind Störstoffe und Partikel gemeint, die nicht aus Holz bestehen und die durch Verunreinigungen in den Holzschnitzelhaufen gelangt sind. Dazu gehören z.B. Steine, Erde, Sand, Plastik, Kompost oder Metallteile. Fremdstoffe können je nach Material, Grösse und Beschaffenheit den Betrieb einer Schnitzelheizung beträchtlich stören.

**Mögliche Auswirkungen von Fremdstoffanteilen**

System	Auswirkung
Hacker	Beschädigung der Messer, Störungen
Austragungs- und Transportanlagen	Verstopfung, Störungen und Beschädigungen
	Verschlackung
	Verkürzung der Lebensdauer der Ausmauerung, und der Roststäbe im Brennraum
Entaschungseinrichtungen	Verstopfung, Störungen und Beschädigungen



## ANFORDERUNGEN AN HOLZSCHNITZEL- HEIZUNGEN

### Feuerung

Holzfeuerungs-systeme benötigen für eine gute Ausbrandqualität, d.h. für einen Abbrand ohne Lochbrand im Brennstoffbett, ein gleichmässiges Eindringen der Primär-Verbrennungsluft in das stabile Brennstoffbett mit gleichmässiger Brennstoffbetthöhe. Dadurch wird eine konstante, regelmässige Luftverteilung im Brennstoff gewährleistet. Eine ungleichmässige Korngrössenverteilung durch hohen Feingutanteil als Hauptursache und Überlängen als Nebenursache führen zu einem unregelmässigen Widerstand für die Primärluft im Brennstoffbett. Die Verbrennungsluft verteilt sich unregelmässig, sodass Zonen mit Luftüberschuss und Zonen mit Luftmangel entstehen.



Optimale Rostbelegung ohne Lochbrand (ardens GmbH, 2017).

**Luftüberschuss** im Brennstoffbett entsteht dort, wo die Verbrennungsluft den Brennstoff zu schnell durchströmt. Lokale Zonen mit hohem Luftüberschuss führen zu hohen Temperaturen mit «Hotspots», welche Lochbrand mit Aufwirbelung von Glutpartikeln und vermehrte Aerosolbildung in Form von Salzpartikeln verursachen. Damit geht eine grössere Verschmutzung in der Brennkammer einher. Erhöhter Luftüberschuss führt zu vermehrten Staubpartikel-Emissionen durch die höheren Luftgeschwindigkeiten im Brennstoffbett. Die hohen örtlichen Temperaturen können zum schnelleren Abtragen der Ausmauerung der Feuerung und zum Abbrennen der Roststäbe führen. Im Rostbereich führen die hohen Temperaturen zum Schmelzen der Asche und somit zur vermehrten Schlackenbildung.



Luftüberschuss mit Hotspot (Pfeil) und Schlackenbildung (ardens GmbH, 2017).

**Luftmangel** entsteht in Bereichen mit hohem Feingutanteil, der zu erhöhtem Luftwiderstand führt. In diesen Bereichen fehlen Zwischenräume, in welche die Primärluft eindringen kann. Es kommt zu einem Verbrennungsluftmangel, so dass die Schnitzel nicht mehr vollständig ausbrennen können. Als Folge dieses unvollständigen Abbrands bleiben unverbrannte Teile zurück. Die inhomogene Gasmischung über dem Brennstoffbett führt zu schlechter Verbrennungsqualität und hohen CO-Emissionen. Es kann zu unerwünschter Rauchentwicklung mit Geruchsbelästigung in der Nachbarschaft kommen. Zusätzlich können sich eventuell der Wirkungsgrad der Feuerung und die Verbrennungsleistung reduzieren.



Luftmangel mit Rauchentwicklung (ardens GmbH, 2017).

Ein hoher Feingutanteil kann zu Verstopfungen der Primärluft-einblasquerschnitte führen, was die Luftverteilung in das Brennstoffbett zusätzlich verschlechtert. Kleine Unterschub- und Festrostfeuerungen («Seriengeräte») bis 200 kW Leistung mit vergleichsweise wenigen kleinen Primärluft-Eindüsungen auf dem Rost und in der kleinen Retorte ertragen Feingut besonders schlecht, da sie schneller verstopfen und dadurch keine regelmässige Durchströmung mit Primärluft mehr möglich ist. Deshalb ist für diese Feuerungstypen ein sehr tiefer Feingutanteil von unter 5% Voraussetzung.

Im Bereich des Lochbrands entstehen örtlich höhere Temperaturen, was zu einem häufigeren Ersatz von Rostelementen und Teilen der Feuermauskleidung führt. Ein erhöhter Feingutanteil kann deshalb zu **deutlich höheren Unterhaltskosten** führen. Zudem erhöht sich der Reinigungsaufwand durch vermehrte Reinigung der Kesselzüge und durch Ablagerung von Glutpartikeln. Erhöhte Kosten für die Behebung von Störungen bei den Fördersystemen sind schliesslich eine weitere mögliche Folge von zu hohem Feingutanteil.

### Emissionsverhalten

Bei einer Forschungsarbeit der Hochschule Yverdon im Auftrag von Holzenergie Schweiz wurden Tests mit drei verschiedenen Wassergehalten M (15%, 30% und 45%) und drei unterschiedlichen Feingutanteilen F (0%, 10% und 20%) in der gleichen Schnitzelheizung, einer 30 kW Unterschubfeuerung, durchgeführt und jeweils die Gesamtstaub- und CO-Emissionen gemessen. Die Resultate der Untersuchung sind im Bericht von Julien Ropp «Émissions de particules fines lors de la combustion de plaquettes forestières» zu finden. Aus der Studie geht hervor, dass bei zu hohem Wassergehalt der Schnitzel (45 %) bei kleinen Unterschubfeuerungen überhöhte CO- und Staubemissionen entstehen.

Im qualiS «Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holzhack-schnitzeln» der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. sind im Kapitel 8 Resultate aus Verbrennungsversuchen mit zwei Schnitzelfeuerungen und unterschiedlichen Holzchnitzeln vor und nach der Trocknung und/oder Siebung aufgeführt. Eine deutliche Reduktion der CO- und Staubemissionen konnte durch eine optimierte Einstellung der Feuerungsanlage erreicht werden. Eine Qualitätsverbesserung der Holzchnitzel führte grundsätzlich zu einer Reduktion der CO-Emissionen, allerdings nicht in allen Fällen. Wichtig für die Einhaltung der CO-Emissionen ist es, den vom Feuerungshersteller definierten maximalen Wassergehalt nicht zu überschreiten.

### Schnitzelsilo und Schnitzellagerhalle

Ein tiefer Feingutanteil ist für die Lagerung von Vorteil, da die Schnitzel besser fließen, gleichmässiger belüftet werden und besser trocknen. Ein hoher Feingutanteil führt zu schlechten Fliesseigenschaften der Holzchnitzel und zu vermehrter Brückenbildung im Silo bzw. in der Lagerhalle. Die Holzchnitzelmischung wird zähflüssiger und verdichtet sich wesentlich schneller. Es entstehen Zonen von höherer Dichte und stärkerem Widerstand gegenüber dem Lufteintritt, bis kaum mehr Luft durch die Schnitzel strömen kann. Wasser bleibt länger in der Mischung enthalten und kann kaum ausdampfen. Fremdwasser wird schneller aufgesaugt («Schwammwirkung») und verbleibt in den Schnitzeln. Kondenswasser, welches aus anderen, lockereren Zonen im Schnitzellager ausdampft, kondensiert an der Stelle mit hohem Feingutanteil aus und wird aufgesogen. Dadurch wird die Trocknung der Holzchnitzel verunmöglicht. Fäulnis und Schimmelpilzbildung setzen ein und breiten sich aus. Die Folgen sind verstärkte Geruchsbildung und eine höhere Gesundheitsbelastung.



Schwammwirkung führt zu schlechter Trocknung mit Schimmelpilzbildung (ardens GmbH, 2017).

Das Befahren der Holzchnitzel oder hohe Füllstände des Schnitzelsilos führen zu einer zusätzlichen Verdichtung und sogar Verhärtung der Schnitzel. Durch hohe biologische Aktivität im Schnitzelhaufen kann es zu einer starken Selbsterwärmung bis hin zur Selbstentzündung mit entsprechendem Brandrisiko kommen. Durch Verdichtung kommt es zur Brücken-, Schacht- und/oder Wandbildungen, sodass die Holzchnitzel im Silo nicht mehr nachrutschen können und die Fördersysteme leerlaufen. Im Winter gefrieren die Schnitzel schneller und bilden Blöcke, was einerseits die Bildung von Brücken beschleunigt, andererseits zu Rückstau auf den Fallschutzgittern führt.

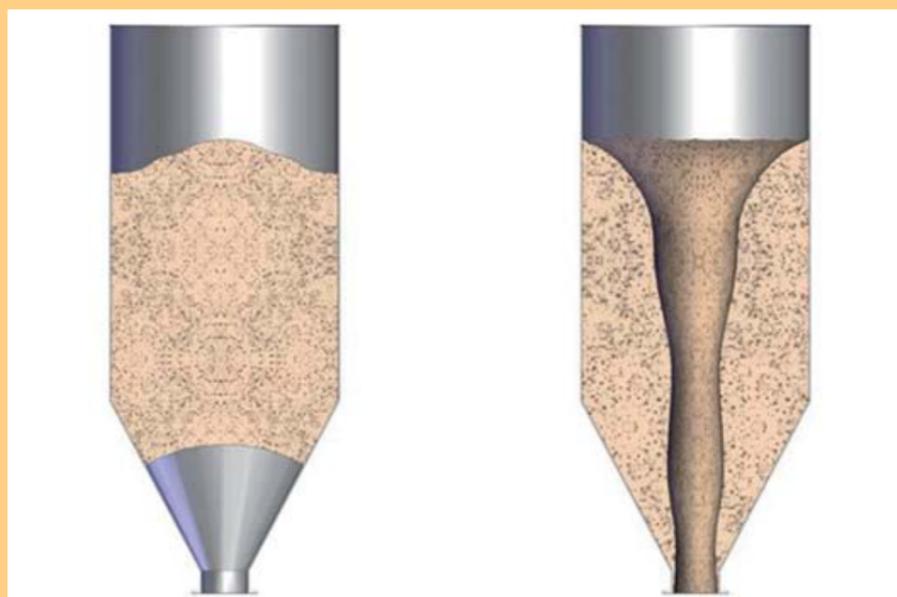
## Austragungs- und Transportsysteme

Ein hoher Feingutanteil erhöht den Reibungswiderstand zwischen dem eingelagerten Brennstoff und dem Siloboden, was die Belastung der Schubboden-Mitnehmer erhöht. Dadurch nimmt deren Förderleistung allmählich ab bzw. der Arbeitsdruck am Hydraulikaggregat steigt an, bis die Reibungskraft zu gross wird, was zur Überlastung und zum Bruch von Schubboden-Elementen oder dem Schubboden-Längsprofil führen kann. Zudem wird die Überlastung des Schubbodens begünstigt durch das Überfahren mit Radladern (zusätzliche Verdichtung des Brennstoffes) und zu hohem Brennstoffgewicht.

Bei **Knickarm- oder Federkernaustragungen** bleibt der kompakte, nicht fliessfähig eingelagerte Brennstoff als senkrechte Wand stehen und kann vom Knickarmende oder vom Federkern nicht abgetragen werden. Die Problematik, verursacht durch zu hohen Feingutanteil, verstärkt sich wenn der Brennstoff zudem noch feucht ist oder sich erst im Silo abgetrocknet hat. Die Austragung kann nicht mehr den maximalen Austragungsradius erfassen, da die Knickarme oder der Federkern sich nicht ausfahren lassen. Nur der Brennstoff einer stark reduzierten Kreisfläche in der Mitte wird ausgetragen. Es bildet sich in der Mitte ein Hohlzylinder mit beinahe senkrechten Seitenwänden. Die Holzschnitzel rieseln nicht mehr von der Aussenwand zur Mitte hinein. Bei Überlastung kann es bis zum vollständigen Stillstand des Austragungssystems kommen.

Ein hoher Feingutanteil, verbunden mit einem hohen Wassergehalt, verhindert das Nachrutschen der Holzschnitzel und kann in **Fallschächten und Übergangszonen** zu Brücken- und Schachtbildungen und im Winter zum Gefrieren führen. Daraus resultiert Leerlauf oder eine ungleichmässige Belegung der Transportsysteme mit entsprechenden Betriebsstörungen.

Brückenbildungen können ebenfalls durch zu viele Grobannteile/Überlängen in der Holzschnitzelmischung entstehen. Die Überlängen verkeilen sich, führen zu einer schlechten Fliessfähigkeit und verhindern das Nachfliessen von Schnitzelmaterial.



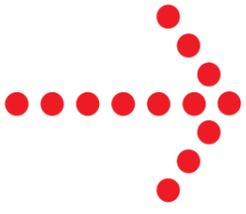
Brücken- (links) und Schachtbildung (rechts)  
(Hinterreiter, 2010).

In den **Querförderschnecken** kann ein hoher Feingutanteil in Kombination mit einer ungünstigen Geometrie der Förderschnecke zur Verdichtung und zum Zusammenpressen von feinem Schnitzel-Material führen: z.B. vor dem Durchgang durch die Silowand oder bei der Übergangsstelle zwischen Querförder- und Steilförderschnecke. Dies kann zu Störungen durch Überlastung führen.

## Günstige Geometrie der Förderschnecken

Damit keine Verstopfungen auftreten, sollte der Schnecken-trog-Durchmesser mindestens zweimal der maximalen Partikelquerschnittsdicke entsprechen. Der Abstand zwischen zwei Schneckengängen sollte mindestens ein Drittel über der grössten Partikeldimension liegen. Blockaden lassen sich oft mit kurzem Rückwärtsdrehen der Schnecke beheben.





# VORTROCKNUNG VON ENERGIEHOLZ

Die Trocknung von Holzsnitzeln durch Lagerung ist aufwändig. Umso mehr erstaunt es, dass die Vortrocknung des Holzes im ungehackten Zustand im Energieholzpolter in den meisten verfügbaren Berichten und Unterlagen noch kaum behandelt wird. Die wichtigsten Resultate der Vortrocknung des Energieholzes in ungehacktem Zustand als Energierundholz kommen aus Versuchen von Urs Elber (Elber 2007) und lassen sich folgendermassen zusammenfassen.

## Ideale Lage des Polters

- Die wichtigste der Voraussetzung für eine effiziente Vortrocknung in ungehackten Zustand ist die topographische Lage des Polters. Mit Vorteil werden die Polter auf gut windexponierten Kuppen- und Kretenlagen errichtet. Muldenlagen sind hingegen äusserst ungünstig. Die Besonnung der Polter ist grundsätzlich von Vorteil.
- Eine positive Auswirkung auf die Trocknungsleistung ergibt sich, wenn die Rundholzpolter ausserhalb des Waldes angelegt werden, da dort der Windeinfluss meist höher ist.
- Die Rundholzpolter müssen auf einer trockenen, idealerweise steinigen Unterlage ohne Staunässe und mit guter Wasserversickerung errichtet werden und über ausreichende Bodenfreiheit verfügen. Ungünstig sind schwere, zu Staunässe neigende Böden. Es wird empfohlen, Derbholzpolter auf vorgelegten Querhölzern einzurichten.



Polter mit ungünstigem Untergrund.

- Vor dem Polter sollte genügend Platz für Zufahrten sowie Manövrierflächen vorhanden sein. Energieholzpolter sollten jederzeit zugänglich sein, auch in extremen Wintern. Für die Zu- und Wegfahrstrassen muss deshalb eine Schneeräumung bestehen.

- Die Mindestgrösse des Energieholzpolters sollte für die Hackerauslastung eines ganzen Tages dimensioniert werden.

- Je nach kantonaler Gesetzgebung dürfen Rundholzpolter sich nicht im Gewässerschutzbereich oder in Grundwasserschutz-zonen befinden.

## Verarbeitung vor der Lagerung

- Die Austrocknung erfolgt hauptsächlich über die Stirnseiten der Stämme. Deshalb empfiehlt es sich, das Rundholz in möglichst kurzen Abschnitten zu lagern. Je dünner das Rundholz ist, desto schneller trocknet es. Eine vollständige oder auch teilweise Entrindung beschleunigt die Trocknung. Überjährige Polter sind zu vermeiden. Die Lagerung mit Ästen im Bestand bringt kaum Vorteile. Allzu dichtes Ast-, Laub- und Nadelmaterial verhindert eine schnelle Trocknung.

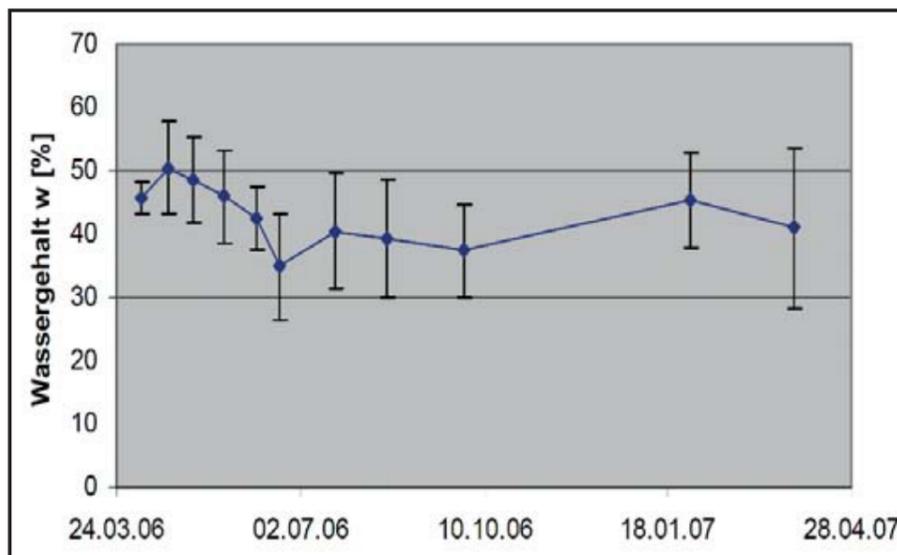
Es ist empfehlenswert, separate Polter mit Energierundholz und Waldrestholz anzulegen, wenn unterschiedliche Heizungen beliefert werden (z.B. kleinere Unterschub- und grosse Vorschubrostfeuerungen). Dadurch kann die Logistik vereinfacht und die Wertschöpfung durch Aushaltung verschiedener Holzsnitzelqualitäten maximiert werden.

- Polter können während des ganzen Jahres angelegt werden. Die Trocknung während der Sommersaison ist am effizientesten.

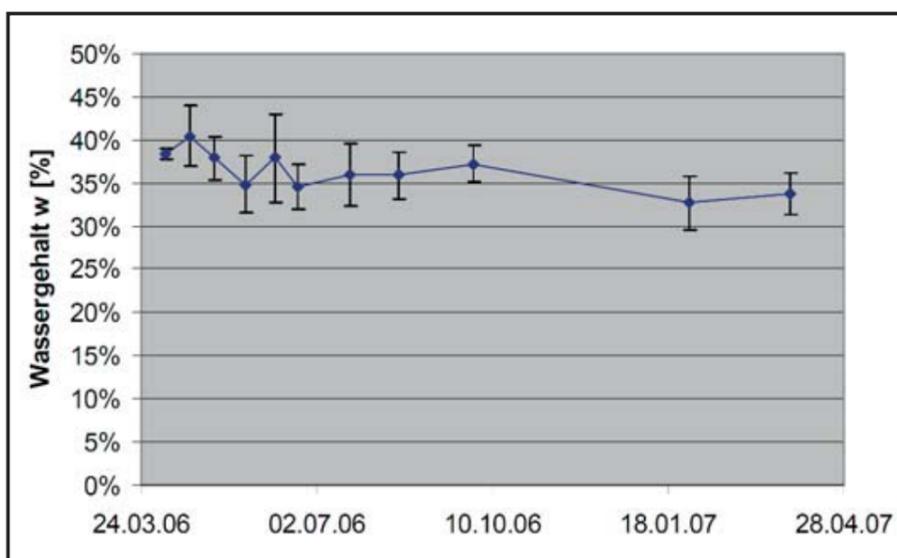
## Trocknung Nadel- und Laubholz

- Bei Nadelholz wird die Veränderung des Wassergehalts stark durch die Regen- oder Schneemenge beeinflusst («Schwammefekt»). Deshalb ist es empfehlenswert, das Nadelholz erst gegen Ende einer längeren Regenperiode aufzupoltern. Nadelholz (Fichte) erreicht den minimalen Wassergehalt bereits nach 3 bis 5 Monaten Lagerdauer. Dann sollte der Polter gehackt oder abgedeckt werden, da sonst der Wassergehalt durch Wiederbefeuchtung wieder ansteigt.

- Laubholz (Buche) zeigt einen anderen Trocknungsverlauf und erreicht den minimalen Wassergehalt erst nach 8 bis 9 Monaten, bleibt dann aber mehr oder weniger konstant. Beim Laubrundholz ist die Wiederbefeuchtung weniger problematisch als beim Nadelholz. Auf eine Abdeckung kann meist verzichtet werden, ausser der Anteil Kronen- und Astmaterial ist hoch. Die Lagerdauer von Buche hängt eng mit der Problematik des Verstickens zusammen. Die diesbezüglichen Ansichten der Praktiker divergieren allerdings stark.



Trocknungsverlauf Fichte im ungehackten Zustand (Elber, 2007).



Trocknungsverlauf Buche im ungehackten Zustand (Elber, 2007).

### Abdecken von Energieholz in ungehacktem Zustand

Das Abdecken von grösseren Energieholzpoltern mit einer wasserdichten Spezialfolie auf Papierbasis kann die Trocknung positiv beeinflussen und das Holz insbesondere vor einer Wiederbefeuchtung durch Regen und Schnee schützen. Wichtig ist es, die Folie frühzeitig, das heisst je nach Witterung bis Ende Juni oder Ende Juli, einzusetzen. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass die Holzpolter gut durchlüftet und besonnt sind und dass sie auf trockenem, durchlässigem Untergrund zu liegen kommen. Allzu dichtes Ast-, Laub- und Nadelmaterial verhindert eine schnelle Trocknung.

Die Abdeckfolie wird mit einem grossen, am Kran des Rückfahrzeugs angebrachten Bügel abgerollt. Die Folie sollte etwa der Breite des Polters entsprechen und an beiden Enden und über dem Polter mit Rundlingen oder Sandsäcken beschwert werden. Beim Hacken kann die Papierfolie problemlos mitgehakt werden, wobei auf eine gute Durchmischung zwischen Holz und Folie zu achten ist. Der Einsatz der Papierfolie lohnt sich vor allem als Schutz vor Wiederbefeuchtung im Herbst und Winter für durchmischte Energieholzqualitäten mit höherem Nadelholzanteil, mit Anteilen an Ästen, Kronenmaterial, Durchforstungsholz und bei einer längeren Lagerdauer bis zur Heizperiode.



Abgedeckter Energieholzpolter (Amstutz Holzenergie AG, Emmen).



# AUFARBEITUNG VON ENERGIEHOLZ ZU HOLZSCHNITZELN

## Nährstoffentzug

Als Schlagabraum bezeichnet man Ast- und Kronenmaterial, verbleibendes Rindenmaterial, Stümpfe und Wurzelteller. Die Nutzung von Schlagabraum als Holzbrennstoff entzieht dem Wald durch Abführen der Biomasse Nährstoffe. Schlagabraum enthält im Vergleich zu Stammholz wesentlich mehr Nährstoffelemente pro kg Trockensubstanz, vor allem in den Nadeln, Blättern und Rinde.

Das Belassen eines Anteiles an Schlagabraum im Waldbestand ist aufgrund der Nährstoffversorgung zu empfehlen, jedoch anzupassen an das Ernteverfahren (z.B. Seilkran schläge) und die Bodensituation (Stickstoffdüngung, Versauerung usw.). Wenn weniger Schlagabraum gehackt wird, verbessert sich durch den geringeren Blatt-, Nadel- und Rindenanteil die Schnitzelqualität.

## Maschinenbedingte Einflussfaktoren

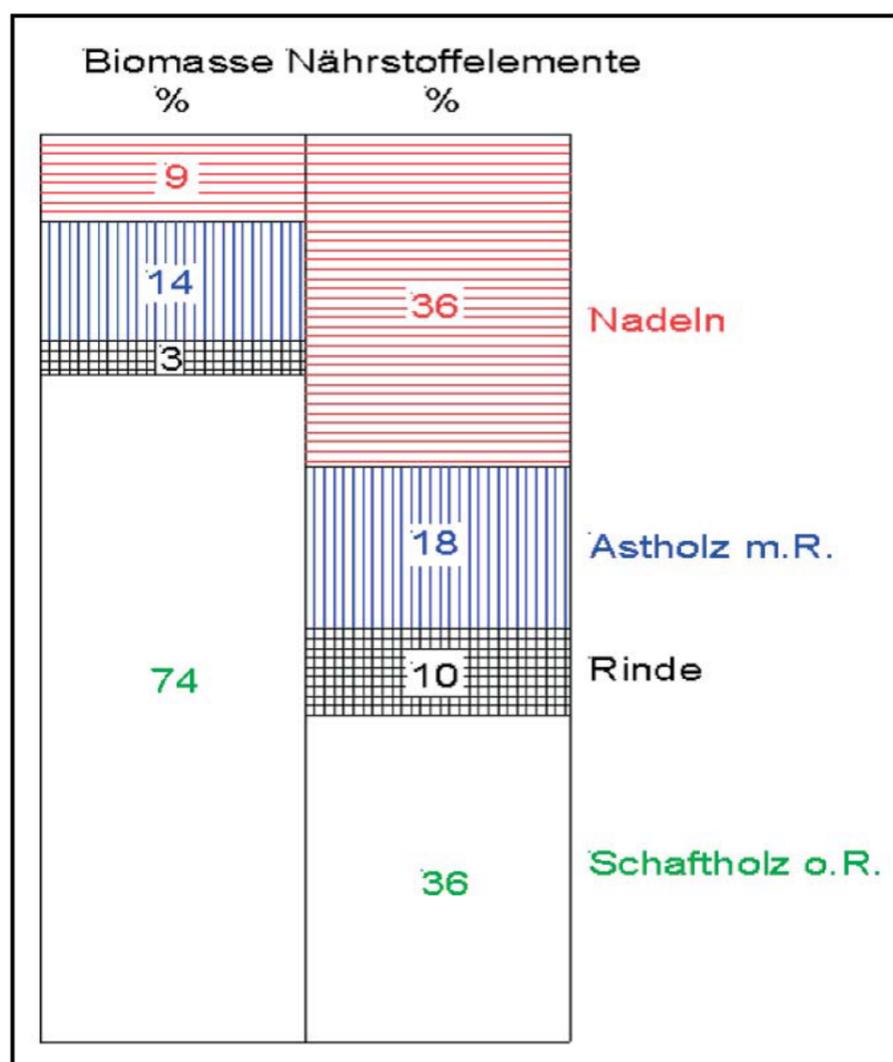
Bei der Aufbereitung von Energieholz zu Schnitzeln spielen maschinenbedingte Faktoren eine grosse Rolle. Die Tabelle unten zeigt die wichtigsten Parameter und deren Einflüsse auf.

## Weitere Einflussfaktoren

Der Erfahrungsgrad des Maschinisten ist bei der Produktion von Holzsnitzeln ein wichtiger, nicht zu unterschätzender Faktor. Ein erfahrener Maschinist kennt die Einstellung des Hackers und weiss, wie er qualitätsbildende Parameter richtig einstellen oder wählen muss.

Die effiziente Zusammenarbeit der ganzen Prozesskette der Hackschnitzelproduktion ist für eine optimale Schnitzelqualität ebenfalls entscheidend. Wenn die Aufrüstung der Energieholzpolter im Wald, das Hacken und der Abtransport der Holzsnitzeln sauber ausgeführt, gut koordiniert und aufeinander abgestimmt werden, lassen sich Probleme bei der Schnitzelqualität weitgehend vermeiden.

Zusätzliche Informationen zur Aufbereitung von Energieholz zu Holzsnitzeln finden Sie in der Publikation Nr. 409 «Rationelle Hackschnitzelbereitstellung im Forstbetrieb» von Holzenergie Schweiz.



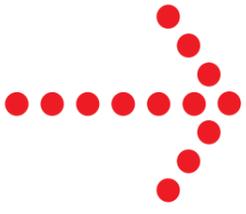
Verteilung von Biomasse (linke Säule in Gewichtsprozent atro) und Nährstoffelementen (N, P, K, Ca, Mg; rechte Säule in Gewichtsprozent atro) auf die oberirdischen Baumkomponenten (Flury, 2013).

### Maschinenbedingte Einflussfaktoren auf die Qualität der Holzschnitzel (TFZ, 2015)

Parameter	Einfluss auf die Qualität der Holzschnitzel
Maschinentyp	Hacker erzeugen scharfkantige Schnitzel, Schredder erzeugen faseriges, gebrochenes Schredderholz.
Schneidaggregat	Trommel-, Scheiben- und Schneckenhacker nutzen unterschiedliche Schneidetechniken.
Messerschärfe	Scharfe Messer erzeugen scharfkantige Schnitzel, stumpfe Messer erzeugen Schnitzel mit hohem Feinanteil und unscharfen Kanten.
Drehzahl	Erhöhung der Drehzahl des Schneidaggregats erhöht die Anzahl Schnitte je Meter eingezogenes Holz.
Einzugsgeschwindigkeit	Erhöhung der Einzugsgeschwindigkeit verringert die Anzahl Schnitte je Meter eingezogenes Holz.
Siebkorböffnung	Prallsiebe dienen zur Nachzerkleinerung der Schnitzel und beeinflussen die durchschnittliche Grösse der Schnitzel sowie den Fein- und Grobanteil.
Trommelbauweise	Schneidaggregate (Trommelkörper) können durchlässig für Holzschnitzel sein. In offenen Trommeln kommt es mitunter zu einer weiteren Zerkleinerung des Brennstoﬀs durch Prallzerkleinerung im Innenraum der Trommel.
Messeranordnung	Durchgehende Messer sorgen für gleichmässige Holzschnitzel mit weniger Ausbrüchen als versetzt angeordnete Messer.
Schnittlänge	Vergrösserung der Öffnungsweite zwischen Messer und Gegen- schneide erhöht die Partikelgrösse.
Auswurfssystem	Auswurfssysteme mit hoher Fördergeschwindigkeit (z.B. Förder- gebläse mit Wurfschaufeln) erhöhen den Feinanteil durch zusätzliche Prallzerkleinerung der Holzschnitzel.



Hackschnitzel-Produktion aus Astholz-Schlagabraum.



# GRUNDSÄTZE DER SCHNITZELLAGERUNG

## Gründe für die Lagerung von Holzschnitzeln

### • Logistische Gründe

Bei eingeschränkter Winterzugänglichkeit des Waldes bzw. der Rundholz-Lagerplätze müssen die Holzschnitzel früher gehackt werden, als sie in den Heizungen benötigt werden.

### • Phytosanitäre Gründe

Zur Vermeidung von Kalamitäten und Krankheiten am verbleibenden Bestand (Borkenkäfer, Eschenwelke, Ulmensplintkäfer etc.) ist ein rasches Hacken des Energieholzes erforderlich.

### • Markttechnische Gründe

Um Marktvorteile durch tiefere Energieholzpreise bei einem Überangebot auszunützen, erfolgt eine vorzeitige Aufbereitung der Holzschnitzel.

### • Qualitative Gründe

Die vorhandenen Holzfeuerungen benötigen Holzschnitzel mit tieferem Wassergehalt.

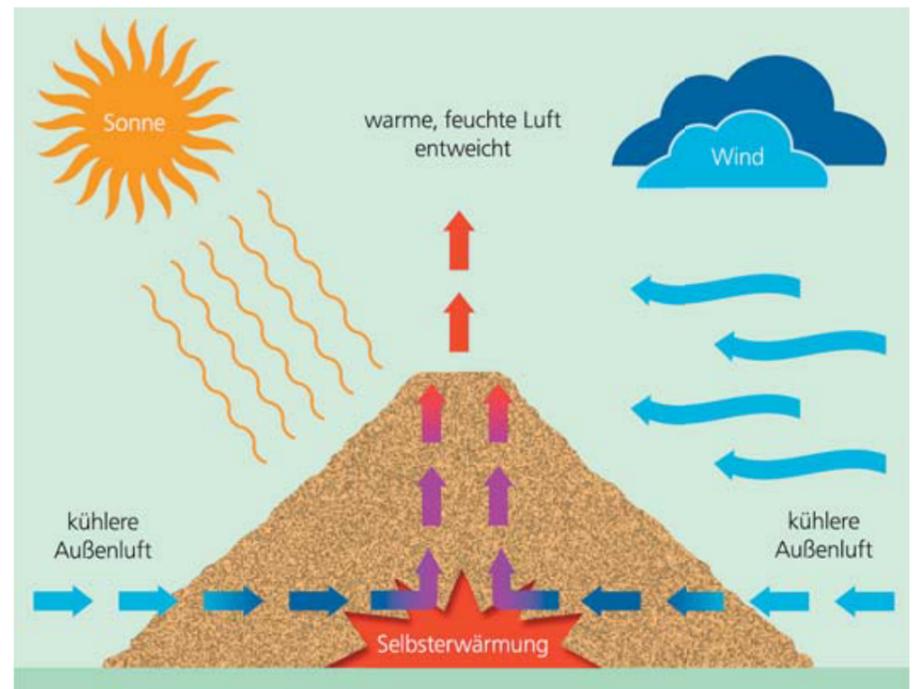
Mit der Lagerung von Holzschnitzeln wird meist auch eine Trocknung und damit eine Qualitätsverbesserung angestrebt. Bei der natürlichen Konvektionstrocknung gelangen ausschliesslich natürliche Energiequellen wie die Sonne, der Wind oder die Energie aus der Selbsterwärmung der Holzschnitzel zum Einsatz. Das Prinzip ist einfach: Die Luft im Holzschnitzelhaufen erwärmt sich, steigt auf und transportiert dabei die enthaltene Feuchtigkeit ab. Durch den entstehenden Unterdruck fliesst von unten frische Aussenluft nach. Dieser natürliche Luftstrom führt innerhalb weniger Monate zur Trocknung der Holzschnitzel. Abluftsysteme können die Trocknung beschleunigen.

Holzschnitzel lassen sich grundsätzlich entweder im Freien oder abgedeckt unter Dach oder unter Vlies lagern. Die Lagerung im Freien eignet sich besonders für grobe Holzschnitzel. Kleinere Mengen können als Spitzkegel aufgeschüttet werden, bei grösseren Mengen sind satteldachförmige Mieten sinnvoller. Auch wenn bei ungedeckten Holzschnitzellagern im Freien das Niederschlagswasser in der Regel nicht weiter als einen halben Meter in den Schnitzelhaufen einzudringen vermag, be-

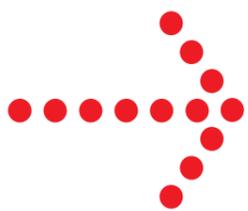
## Wichtigste Probleme, Risiken und Massnahmen bezüglich der Lagerung von Holzschnitzeln (LWF, 2014)

Risiko	Probleme	Massnahmen
Verlustrisiko	Substanzverlust 2 – 4% pro Monat bei waldfrisch eingelagerten Holzschnitzeln	vorgetrocknetes Hackholz verwenden schnelle Trocknung der Holzschnitzel auf < W30 auf geringen Feingut- und Grünanteil achten
Gesundheitsrisiko	Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilzsporen	vorgetrocknetes Hackholz verwenden auf geringen Feingutanteil achten schnelle Trocknung der Holzschnitzel auf < W30
Qualitätsrisiko	Wiederbefeuchtung der Holzschnitzel bzw. Umverteilung des Wassergehalts durch Niederschlag (Regen) und/oder Kondenswasser in der Schüttungskrone	auf geringen Feingutanteil achten Holzschnitzel allgemein luftig und trocken lagern bevorzugt unter Dach lagern bei Lagerung im Freien mit Vlies abdecken
Technisches Risiko	Holzschnitzel gefrieren bei Frost zu Klumpen, Fremdkörper (z.B. Steine) Ursachen: gefrierendes Kondenswasser und verunreinigtes Hackholz	auf geringe Verunreinigung des Hackholzes achten
Brandrisiko	Selbstentzündung durch Erwärmung der Schüttung durch Aktivität von Mikroorganismen und durch chemisch-physikalische Prozesse	auf geringen Feingut- und Grünanteil achten möglichst trockene Holzschnitzel einlagern Holzschnitzelhaufen nicht befahren (Verdichtung fördert die Erwärmung) maximale Schütthöhe 4 m
Umweltrisiko	Geruchsbelästigung und austretendes Sickerwasser	trockene und luftige Lagerung bei der Wahl des Standortes Hauptwindrichtung beachten Holzschnitzel nicht unmittelbar an Gewässern lagern

günstigen regelmässige Niederschläge die Bildung einer feuchten Aussenschicht sowie eine Verpilzung und damit höhere Substanzverluste in der Schüttungskrone. Deshalb empfiehlt sich die Abdeckung von Holzschnitzelhaufen im Freien mit diffusionsoffenen Vliesen. Wichtig ist dabei die Einhaltung eines ausreichenden Neigungswinkels. In niederschlagsreichen Gebieten ist von der Lagerung von Holzschnitzeln im Freien gänzlich abzuraten.



Prinzip der natürlichen Konvektionstrocknung (LWF, 2014).

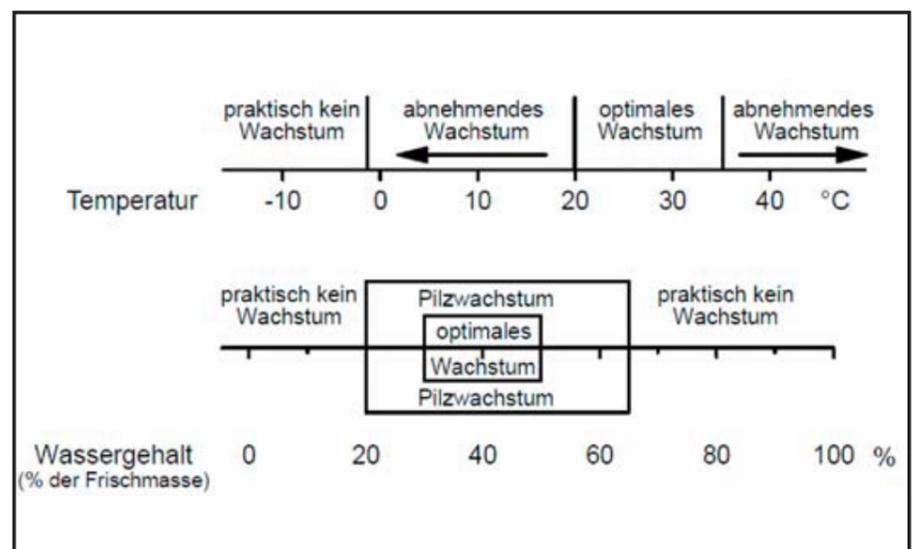


## SUBSTANZVERLUST BEI NATÜRLICHER TROCKNUNG

Bei der natürlichen Schnitzeltrocknung sinkt nicht nur – wie gewünscht – der Wassergehalt des Holzes, sondern es geht auch Holzsubstanz verloren. Ursache für diesen Substanz- und damit auch Energieverlust sind physikalische, chemische und vor allem (mikro)biologische Abbauprozesse, welche innerhalb eines bestimmten Wassergehaltsfensters stattfinden. Feuchte Holzschuttel werden von holzersetzenden Pilzen und Bakterien besiedelt. Hohe Fein-, Rinden- und Grünanteile begünstigen zusätzlich deren Aktivität. Verschiedene Untersuchungen beziffern den Substanzverlust für waldfrisch eingelagerte Holzschuttel auf 2 bis 4% pro Monat. Als Gegenmassnahme wird eine möglichst schnelle Trocknung auf einen Wassergehalt von weniger als 30% sowie eine Verminderung des den Substanzabbau fördernden Fein- und Grünanteils vorgeschlagen. Aus wirtschaftlichen Gründen soll von einer Langzeitlagerung von mehr als 3 Monate von problematischen Holzschuttelqualitäten abgesehen werden. Die Aktivität holzabbauender Pilze und Bakterien ist bei einem Wassergehalt von 30 bis 50% und einer Temperatur von 20 bis 35° C am stärksten. Die mikrobiellen Abbauprozesse erliegen bei einem Wassergehalt unter 25%. Erst dann sind die Holzschuttel ohne Verluste längerfristig lagerfähig.

Die Lagerung von gehacktem Holz ist mit einem grösseren Substanzabbau verbunden als die Lagerung von Holz in ungehacktem Zustand. Grund dafür ist die höhere Querschnittsfläche, an welcher holzersetzende Pilze und Mikroorganismen ansetzen

können. Bei feinen, frischen Holzschutteln mit hoher Dichte und wenig Zwischenräumen ist der Substanzabbau beträchtlich höher als bei vorgetrockneten Schnitzeln. Die Lagerung von Holzschutteln unter Dach trägt zu einer deutlichen Reduktion des Substanzabbaus bei. Anstatt 20 bis 30% pro Jahr (ungedeckte Holzschuttel) verlieren abgedeckte Holzschuttel nur noch 3 bis 5% an Substanz. Aus diesen Zahlen lässt sich leicht die Empfehlung ableiten, Holzschuttel vor dem Einlagern vorzutrocknen und vom Feinanteil zu befreien.



Optimale Temperatur- und Wassergehaltsfenster für Holz abbauende Pilzaktivitäten (Ahrens, 2012).

Wird von einem linearen Substanzabbau (Trockenbiomasseverlust) ausgegangen und werden verschiedenen Schnitzelqualitäten mit unterschiedlich hohen monatlichen Abbauwerten verglichen, kommen folgende Schlussfolgerungen zustande:

- Der Heizwert nimmt durch die Trocknung zwar deutlich zu, gleichzeitig reduziert sich aber aufgrund des Substanzabbaus das Gesamtgewicht der getrockneten Holzschnitzel dermassen, dass der Energieinhalt der gesamten ursprünglichen Menge nach dem Trocknen kaum bis gar nicht höher liegt als vor dem Trocknen.
- Wird von einem geringen Substanzverlust von 1.5% pro Monat und einer Lagerdauer von drei Monaten ausgegangen, resultiert bei der Lagerung von Holzschnitzeln guter Qualität und bezogen auf die gesamte Lagermenge praktisch keine Erhöhung des Energieinhalts.
- Bei Holzschnitzeln schlechter Qualität, wie sie in der Praxis oft zu finden sind, führt eine Lagerung mit dem einhergehenden Substanzverlust unter dem Strich sogar zu einer deutlichen Abnahme des Energieinhalts.

- Die Lagerung von Holzschnitzeln und die damit verbundene Trocknung erhöhen in erster Linie die Versorgungssicherheit und die Qualität des Brennstoffs. Zudem lässt sich das Transportgewicht deutlich reduzieren.

**Substanzverluste bei verschiedenen Lagerarten für Weichholz-Holzschnitzel und Ganzbäume (Bärwolff & Hering, 2011)**

Material, Lagerart	Verlust [% Trockenmasse pro Jahr]
Feine Waldholzschnitzel, frisch, offenes Lager im Freien	20 – 30
Feine Waldholzschnitzel, getrocknet, abgedeckt	2 – 4
Grobe Waldholzschnitzel, frisch, abgedeckt	3 – 5
Ganzbäume, frisch, offenes Lager im Freien	6 – 15
Holzschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen (KUP), unter Dach	13.3
Holzschnitzel aus KUP, unter Vlies	6.4
Holzschnitzel aus KUP, im Dom-Verfahren	15.4
Ganzbäume aus KUP, im Freien	5.8

**Veränderung des Energieinhalts durch Lagerung und natürliche Trocknung – Berechnungsbeispiele (G. Lutz & A. Keel, 2015).**

Beschreibung	Einheit	Gute Schnitzelqualität	Mittlere Schnitzelqualität	Schlechte Schnitzelqualität
Frischgewicht	[kg]	10'000	10'000	10'000
Gewicht nach Trocknung	[kg]	7'640	7'150	5'714
Spezifischer Substanzverlust	[% pro Monat]	1.5	3	4
Lagerdauer	[Anzahl Monate]	3	3	5
Substanzverlust total	[%]	4.5	9	20
Anteil Hartholz	[%]	80	70	30
Anteil Weichholz	[%]	20	30	70
Wassergehalt vor Trocknung	[%]	40	45	50
Wassergehalt nach Trocknung	[%]	25	30	30
Energieinhalt vor Trocknung	[kWh]	27'880	25'183	22'975
Energieinhalt nach Trocknung	[kWh]	27'924	24'242	19'934
Veränderung Energieinhalt	[%]	+ 0.16	- 3.74	- 13.24

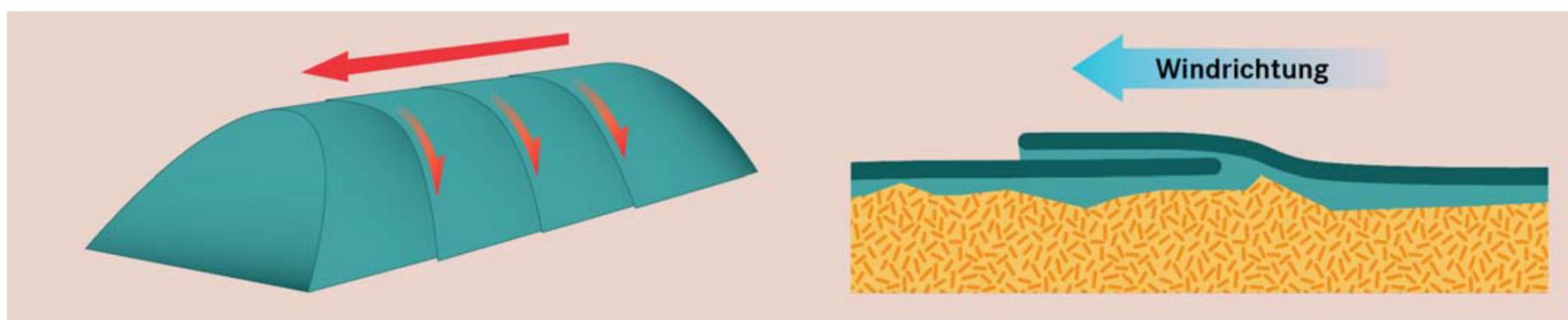


# LAGERUNG VON HOLZSCHNITZELN IM FREIEN

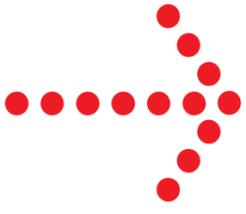
- Ein optimaler Lagerplatz für die Lagerung von Holzschnitzeln ist eben, sonnig, windexponiert und trocken. Bei der Lagerung von Holzschnitzeln im Freien sind Muldenbildung unbedingt zu vermeiden, da sich dort Wasser ansammelt und nicht oberflächlich abfließen kann. Holzschnitzellagerplätze sind wegen der möglichen Schimmelpilzbelastung von Arbeits- und Wohnräumen zu trennen.
- Der Untergrund muss wegen der späteren Verladearbeiten befestigt sein. Die Deckschicht sollte gewalzt sein, es dürfen keine groben Schottersteine aufliegen. Besonders geeignet sind ehemalige gewerbliche oder militärische Nutzungen. Beim Abtransport der Holzschnitzel ist eine dünne Schicht von Schnitzeln am Boden zu belassen. Das verhindert die Mitnahme von Kies und Verunreinigungen.
- Die Holzschnitzel sollten dachprofilartig aufgeschüttet werden. Optimal sind möglichst steile und langgezogene Mieten. Die Schütthöhe sollte fünf Meter nicht überschreiten, um die Gefahr einer Selbstzündung zu minimieren und um sich die Option einer späteren Abdeckung mit Spezialvlies offen zu halten.
- Freiluft-Längsmieten sollten optimalerweise vollständig abgedeckt werden. Dabei kommen hauptsächlich wiederverwendbare Spezialvliese mit Membranprinzip zum Einsatz, die wasserabweisend, nicht wasserdicht, aber dennoch dampfdurchlässig sind. Die Vliese sind zu spannen, damit keine Mulden entstehen, in denen sich das Wasser stauen kann und mit Rundhölzern oder Sandsäcken zu beschweren. Sandsäcke haben sich am besten bewährt, da sie die Vliese am wenigsten verletzen. In Windrichtung sind die Vliese zu überlappen (siehe Abbildung). Die Haltbarkeit der Vliese liegt bei ungefähr fünf Jahren.
- Freiluftlager sollten nach Möglichkeit im Frühjahr mit frischen Holzschnitzeln mit wenig Feinanteil angelegt und in grösseren Teilmengen abgebaut werden können.



Ideales Freilager von Holzschnitzeln (LWF, 2014).



Vliese und Windrichtung (Quelle: Bayerische Staatsforsten).



# LAGERUNG VON HOLZSCHNITZELN IN LAGERHALLEN

## Standort

- Der Bau einer Schnitzellagerhalle macht vor allem dann Sinn, wenn vorwiegend viele kleinere Schnitzelheizungen mit hohen Anforderungen an die Schnitzelqualität zu versorgen sind.
- Lagerhallen sollten eine gute passive Durchlüftung aufweisen und in Gebieten mit wenig Nebel liegen. Kreten- und Kuppenlagen mit stetigem Wind sind am besten geeignet. In Frage kommen auch bestehende Lagermöglichkeiten (z.B. alte Scheunen, Lagerhallen, unter Autobahnbrücken usw.).
- Zu einem geeigneten Schnitzellager gehört eine ebene Wendemöglichkeit für die LKWs (nach Möglichkeit mit Sattelaufliegern) oder die Lage an einer Ringstrasse.
- Wegen des Schneeräumungsaufwands im Winter sollte die Entfernung zum öffentlichen Strassennetz so kurz wie möglich sein. Lagerhallen müssen auch in extremen Wintern jederzeit zugänglich sein. Für die Zu- und Wegfahrstrassen muss eine Schneeräumung bestehen.
- Lärmbelastung: Bei der Lagerhalle sollte das Hacken möglich sein. Der Mindestabstand zu Siedlungen oder sonstigen heiklen Punkten sollte ca. 500 m, je nach Windrichtung auch mehr betragen.
- Je nach kantonaler Gesetzgebung dürfen sich Schnitzellagerhallen nicht im Gewässerschutzbereich oder in Grundwasserschutzzonen befinden.

## Bauweise

- Optimal für Schnitzellagerhallen ist eine Grundkonstruktion mit Metall-Ständerbauweise und einem Schrägdach. Dieses verhindert, dass sich Luftmassen stauen können.
- Lagerhallen sind idealerweise auf der windabgewandten Längsseite offen und sollten luftig und hoch gebaut werden, am besten mit durchlässigen Wänden.
- Wichtig ist ein vertikaler Abstand zwischen Schnitzelhaufen und Dach von mindestens zwei Metern. Nur so vermag die Feuchtigkeit zu entweichen, und es entstehen keine Kondensationszonen.

- Sinnvollerweise werden Lagerhallen in einzelne Boxen unterteilt, um die Schnitzel nach Qualität bzw. Einlagerungszeitpunkt zu trennen. Vor der Lagerhalle ist genügend Platz für den Umschlag vorzusehen.

## Lagerung

- Bei Lagerhallen ist die Reihenfolge der Einlagerung auch bei der Auslagerung / Nutzung zu beachten, indem ältere Lagerbestände zuerst verbraucht werden sollten. Die Lagerdauer ist so kurz wie möglich zu bemessen (max. 3 bis 6 Monate). Holzschnitzellager sollten so angelegt werden, dass die Schnitzelhaufen nicht umgeschichtet werden müssen. Richtig angelegte Lager mit tiefem Feingutanteil regeln ihr Innenklima selbstständig.
- Der ideale Zeitpunkt für das Einlagern von Holzsnitzeln in Lagerhallen ist der Frühsommer in den Monaten Mai und Juni. In dieser Jahreszeit erfolgt eine rasche Erwärmung des Schnitzelhaufens, welche aber nur kurze Zeit (ca. 3 Wochen) andauert. Bedingung ist, dass das gehackte Holz frisch ist, d.h. im Vorwinter geschlagen wurde, und dass die Feuchtigkeit durch einen möglichst grossen Luftstrom abgeführt werden kann.
- Bei später im Jahr eingelagerten Schnitzeln ist darauf zu achten, dass eine Vortrocknung in ungehacktem Zustand erfolgen konnte. Später im Jahr eingelagerte Schnitzel aus feucht gepoltertem Holz weisen keine ideale Trocknung mehr auf. Einerseits sind die Stämme bereits stärker mit Mikroben und Pilzen kontaminiert, andererseits kommt es zu keiner mikrobefreien Erwärmung mehr. Wassergehalte von weniger als 30% sind in diesem Fall nur noch schwierig und mit grösserem baulichen Aufwand zu erreichen. Später im Jahr angesetzte Lager aus Frischholz haben den Nachteil des hohen Laub- und Nadelanteils, welcher unweigerlich zu einer starken Pilz- und Mikroben-Konzentration führt. Deshalb sollte auch Landschaftsholz vor dem Hacken ein paar Wochen liegen können.



# AUSSIEBUNG VON FEINGUTANTEIL

Zum Aussieben von Feingutanteil und Überlängen kommen verschiedene Siebssysteme zum Einsatz. Folgend werden die wichtigsten vorgestellt.

## Sternsieb

Das Sternsieb ist für das Aussieben von Holzschnitzeln eine besonders gut geeignete Technologie und gewährleistet ein Aussieben verschiedener Durchmesser und Längen. Die Maschine besteht aus Gummi- oder Kunststoffsternen, die auf sich schnell drehenden Wellen montiert sind. Durch die besondere Form der Sterne kann feines Material durch das Sieb auf ein Förderband oder eine Halde fallen. Größere Materialstücke verbleiben oberhalb der Sterne und fallen am Ende des Siebs herunter. Eine hohe Leistungsfähigkeit mit einem grossen Umsatz pro Zeiteinheit kennzeichnet diese Technologie.

## Trommelsieb

Trommelsiebe werden sehr häufig bei Kompostieranlagen zum Aussieben des Erdmaterials eingesetzt. Das zu siebende Material bewegt sich durch einen rotierenden Siebzylinder. Material, das feiner als die Maschenweite des Siebes ist, wird ausgesiebt. Das gröbere Material passiert den Zylinder und fällt nach vollständiger Passage des Zylinders am anderen Ende wieder heraus.

## Rüttelsieb

Beim Rüttelsieb kommen Gitter zum Einsatz, die unterschiedliche Maschenweiten aufweisen. Entsprechend der Weite kann gröberes oder feineres Material ausgesiebt werden. Je nach Wahl der Anzahl der Siebe, durch die das Material nacheinander vom gröberen zum feineren Sieb gelassen wird, können mit Rüttelsieben beliebig viele Fraktionen ausgesiebt werden.

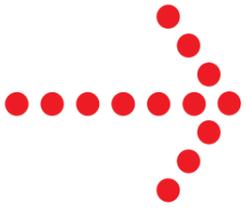


Rüttelsieb der Verora GmbH/NEAG im Wies, Neuheim ZG.

## Zeitpunkt des Siebens

Das Aussieben des Feingutanteils kann entweder vor oder nach dem Trocknen erfolgen. Ideal ist es, die Holzschnitzel sowohl vor als auch nach dem Trocknen auszusieben.

Zeitpunkt Aussiebung	Vorteile	Nachteile
Vor dem Trocknen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere Menge für Trocknung</li> <li>• Schnellere Trocknung</li> <li>• Erhöhter Durchsatz an Qualitätsschnitzeln</li> <li>• Verminderte Staubentwicklung</li> <li>• Bessere Steuerung des Trocknungsprozesses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anteil Feingut bleibt an den Holzschnitzeln kleben</li> </ul>
Nach dem Trocknen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feingutanteil bleibt weniger an den Holzschnitzeln kleben</li> <li>• Grössere Menge Feingut kann ausgesiebt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grössere Staubentwicklung durch trockenen Feingutanteil</li> <li>• Grössere Menge für Trocknung</li> <li>• Längere Trocknungszeit</li> <li>• Schlechtere Trocknungsergebnisse wegen Feingutanteil</li> </ul>
Vor und nach dem Trocknen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Holzschnitzelqualität</li> <li>• Maximale Aussiebung Feingutanteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Kosten</li> </ul>



# TECHNISCHE SCHNITZELTROCKNUNG

Um einen Wassergehalt von 30 % zu erreichen, ist unter Dach eine Trocknungsdauer von bis zu sechs Monaten erforderlich. Angesichts der langen Dauer und des grossen Platzbedarfs ist es naheliegend, dass auch die technische Schnitzeltrocknung unter Verwendung von Fremdenergie zur Anwendung gelangt.

Grundsätzlich geht es bei der Holz Trocknung darum, Wärme in das Holz und Wasser aus dem Holz zu bringen. Die Erwärmung beschleunigt die Verdampfung, da warme Luft mehr Wasser transportieren kann. Das verdampfte Wasser wird von der Umgebungsluft aufgenommen. Der Trocknungseffekt ist umso besser, je höher die Geschwindigkeit und die Temperatur des durchströmenden Luftstromes und je kleiner die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft ist.

Für eine optimale technische – aber auch natürliche – Trocknung der Holzsnitzel ist besonders bei grösseren Schütthöhen ein geringer Feingutanteil von entscheidender Bedeutung. Ansonsten können „Feuchtigkeitsnester“ mit hohem Feingutanteil im Hackschnitzelhaufen die Trocknungswirkung stark einschränken oder sogar gänzlich verhindern.

Aus der grossen Auswahl verfügbarer Trocknungssystemen und –technologien für Holzsnitzel werden die folgenden wichtigsten Systeme näher beschrieben:

## Containertrockner

Das Prinzip des Containertrockners besteht darin, dass das Trocknungsgut in einem Container ruht und von unten mit heisser Luft durchströmt wird. Containertrockner eignen sich für eine chargenweise Trocknung unterschiedlichster Güter bei langen Trocknungszeiten. Die Temperatur in den Containertrocknern lässt sich über die Trocknungsdauer durch veränderbare Temperatur- oder Zeitkurven optimal anpassen. Die Beschickung der Trockner erfolgt manuell oder vollautomatisch. Containertrockner sind universell einsetzbar und finden in den verschiedensten Branchen Anwendung. Bei der Containertrocknung ist aufgrund der grossen Schütthöhe besonders auf einen geringen Feingutanteil zu achten. Für die Trocknung von Holzsnitzeln hat sich der sogenannte Kastentrockner bewährt. Diesen gibt es in zwei Ausführungsvarianten.

Im **stationären** Kastentrockner wird das zu trocknende Hackgut in einen von unten belüfteten Holzkasten geschüttet und getrocknet. Ist der Trocknungsvorgang abgeschlossen, wird ein weiterer Kasten befüllt, der dann ebenso belüftet wird. Aus dem

Kasten mit dem bereits getrockneten Material kann in der Zwischenzeit bereits das Material entnommen werden.

Im **mobilen** Kastentrockner wird das Hackgut in Metall-Containern gelagert, die einen doppelten Boden aufweisen, über den die Luft einströmen kann. Je nach Ausführung lassen sich mehrere Container gleichzeitig an das System mit Warmluft anschliessen und trocknen.



Mobile Containertrocknung mit Abwärme aus einer Biogasanlage. (Moser, 2015).

## Bandrockner

Der Niedertemperatur-Bandrockner ist ein effizientes Verfahren zur Trocknung von Sägespänen, Holzsnitzeln, Rinde, Hobelspänen und anderer Biomasse mit Wärme von üblicherweise 60 bis 90°C. Aufgrund der geringen Schütthöhe der Holzsnitzel auf dem Trocknungsband trocknen auch Holzsnitzel mit höherem Feingutanteil effizient.

Die zu trocknende feuchte Substanz wird dem Trockner kontinuierlich zugeführt. Über Förderschnecken erfolgt eine gleichmässige Verteilung und Einebnung des Feuchtgutes über die Bandbreite. Die geeignete Schütthöhe ist variabel einstellbar. Nach der Verteilung wird das Produkt durch den Bandvorschub in den Trocknungsbereich eingefahren. Innerhalb des Trocknertunnels durchströmt die erzeugte Warmluft die Produktschüttung.

Die Warmluftabgabe erfolgt mittels Wärmetauscher aus dem zur Verfügung stehenden Wärmemedium. Während die Warmluft die Gutschicht durchströmt, wird die Feuchtigkeit konvektiv abgetrocknet und auf den Luftstrom übertragen. Dieser kühlt durch die Feuchtigkeitsaufnahme ab.

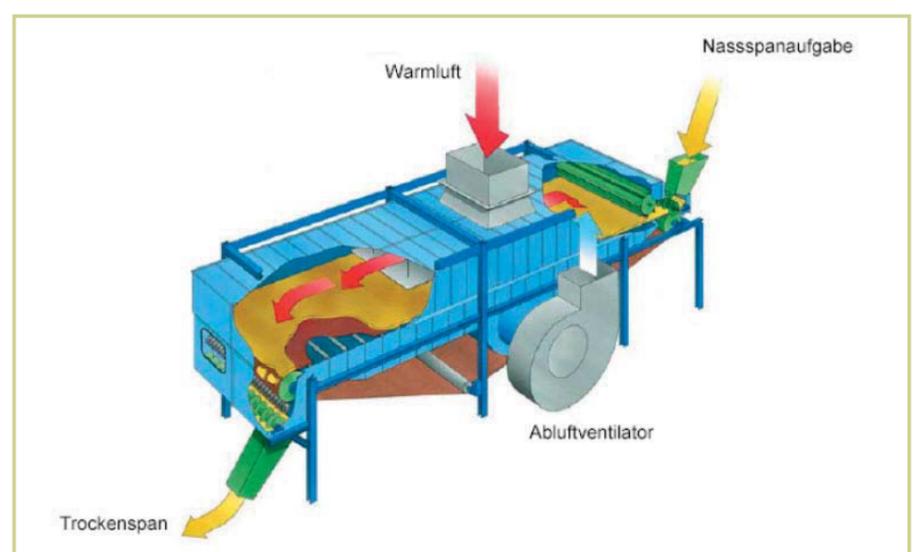
Die Abreinigung des Trocknungsbandes erfolgt zuerst durch eine kontinuierliche Trockenreinigung und danach durch eine diskontinuierliche Nassreinigung. Die Trockenreinigung erfolgt durch eine Bandabbläsung, welche abgabeseitig das perforierte Trocknungsband von feinen Staubpartikeln befreit. Die Reinigungsreste werden dem Abgabegut zugeführt. Für die weitergehende Reinigung des Bandes gelangt eine Hochdruck-Nassreinigung zum Einsatz.

### Trommeltrockner

Trommeltrockner eignen sich zum Trocknen von Gütern, die aufgrund ihrer Feuchte und Struktur eine längere Verweildauer in der Trocknungsanlage benötigen. Beispielsweise werden Rübenschnitzel und Sägespäne üblicherweise in Trommeltrocknern getrocknet. Trommeltrockner bestehen aus einer rotierenden Trommel, die von heißer Luft durchströmt wird. Das Trocknungsgut wird im Gleichstrom mit dem Heissgas durch die Trommel geleitet. Der Materialtransport durch die Trommel erfolgt durch eine kombinierte mechanisch-pneumatische Förderung. Über Ausfallgehäuse oder Zyklone wird das Trockengut nach der Trocknung abgeschieden. Trommeltrockner lassen sich direkt mit Heissgas beheizen und weisen einen breiten Regelbereich der Trocknungsgastemperatur von 150 bis 1'000°C auf. Ein Nachteil ist die hohe Staubentwicklung während des Trocknungsprozesses. Bei der Umwälzung des Trocknungsgutes kommt es durch mechanischen Abrieb zu zusätzlicher Entstehung von Feinmaterial und dadurch Materialverlust. Das sehr feine Material (Staub oder hoher Feingutanteil) wird dann vom Luftstrom nach aussen transportiert, was zu erheblichen Feinstaubemissionen führen kann, sofern keine entsprechenden Filter installiert sind. Bei der Filterung entstehen zudem oftmals Probleme durch „Anbackungen“ von Filterstäuben aufgrund des hohen Feuchtigkeit- und Staubgehaltes.

Trommeltrockner eignen sich deshalb vorwiegend für die Trocknung von bereits vor dem Trocknungsvorgang ausgesiebt Holzschnitzeln.

Nach der Trocknung ist eine entsprechende Lagerung der getrockneten Holzschnitzel unter Dach wichtig. Diese Lagerung kann auch dazu dienen, zusätzliche warme Luft zu gewinnen. Unter dem Dach wird eine Holzverschalung eingezogen, sodass ein Hohlraum entsteht. Die Sonne erwärmt durch das Dach hindurch die Luft in diesem Hohlraum, die dann abgesaugt und zum weiteren Trocknen eingesetzt werden kann. Mit dieser Methode kann prinzipiell jeder beliebige Wassergehalt erreicht werden. Die Faktoren Zeit, Lufttemperatur, Schütthöhe und Strömungsgeschwindigkeit spielen dabei eine entscheidende Rolle.



Prinzip eines Bandtrockners (W. Kunz dryTec AG. 2005).



# REGIONALE ENERGIEHOLZLOGISTIK

Die Zusammenarbeit von kleineren Schnitzelproduzenten in Betreibergemeinschaften kann die Holzsnitzellogistik professionalisieren und ihre Effizienz steigern. Die Kosten für kapitalintensive Maschinen werden geteilt, die Maschinen besser ausgelastet und lange Stand- und Wartezeiten vermieden. Die Bündelung von kleineren Energieholzmengen zu grösseren Einheiten und die sorgfältige Planung der Holzsnitzellogistik vermögen auch die Qualität der Holzsnitzel positiv zu beeinflussen. Damit leisten die Schnitzelproduzenten einen wertvollen Beitrag an einen emissions- und wartungsarmen Betrieb der Anlagen.

## Gute Erfahrungen aus Liechtenstein

Im Fürstentum Liechtenstein lässt sich mit dem «Holzkreislauf Liechtenstein» beispielhaft zeigen, wie sich eine durchdachte Energieholzlogistik auf die Qualität der Holzsnitzel und damit auch der Anlagen auswirkt. Der «Holzkreislauf Liechtenstein» wurde vor rund 10 Jahren zur Belieferung von 16 kleineren automatischen Holzfeuerungen und des 2014 eingeweihten Holzheizwerks (HHW) Balzers mit dem Ziel gegründet, eine überbetriebliche Lösung für die Versorgung dieser Anlagen mit dem richtigen Brennstoff zu finden. Die gesamte jährliche Brennstoffmenge beträgt etwa 35'000 Srm und verteilt sich je hälftig auf das HHW Balzers und die anderen 16 Anlagen. «Holzkreislauf Liechtenstein» organisiert die Energieholzlogistik, das Hacken, den Transport und die Administration und Organisation. Die Revierförster stellen die Energieholzpolter im Winter / Frühling bereit.

## Abzopfen und getrennt poltern

Energierundholz und Kronenmaterial werden getrennt gepolt und im ungehackten Zustand getrocknet. Beim Kronenmaterial wird Astholz mit Rinde, Nadeln und Blättern unter 10 cm Durchmesser abgezopft und im Wald belassen, um das Nährstoffgleichgewicht des Waldbodens zu fördern. Gleichzeitig lassen sich dadurch die Aufrüstungskosten tiefer halten als wenn viel Astmaterial bereitgestellt würde. Das gepoltete Kronenmaterial weist somit eine relativ gute Qualität auf. Es wird darauf geachtet, dass genügend grosse Energieholzpolter auf Lagerplätzen gebildet werden, wo die Zufahrt für den Transporteur gut möglich ist.

## Im Herbst und Frühling in der Höhe hacken, im Winter im Tal

Die Energieholzpolter werden einen Sommer lang getrocknet und während der Heizperiode allmählich gehackt. Der Holzkreislauf organisiert den Hacker zu Beginn der Heizperiode zuerst in den höheren Lagen. Nach und nach wird an den tiefer gelegenen Lagerplätzen gehackt, bis im Hochwinter nur noch die Energieholzlagerplätze im Tal verbleiben. Durch diese überbetriebliche Organisation ist es möglich, die Nutzung von höher gelegenen Lagerplätzen zu optimieren und die entsprechenden Forstbetriebe optimal miteinzubeziehen. Bei jedem Hackeinsatz werden einige Container mit Holzsnitzeln gefüllt und als Puffer eingesetzt für den Fall eines unerwartet hohen Bedarfs.

## Organisation des Hackunternehmens

Durch das überbetriebliche Zusammenlegen des Hackens lassen sich bessere Preise für das Hacken erzielen und der Hackunternehmer ist besser ausgelastet. Gearbeitet wird mit nur einem einzigen Unternehmen aus dem Fürstentum. Da das Hackunternehmen jede Woche oder jede zweite Woche einen Grossauftrag für das Hacken von grösseren Energieholzpoltern erhält und nicht viele kleine Aufträge verarbeiten muss, ist eine einfache Koordination der Hackereinsätze möglich.



## Die Qualität bestimmt den Verwendungszweck

Die besseren Energieholzqualitäten, welche aus den Energierundholzpoltern stammen, gehen in die kleineren Holzfeuerungen. Nach einem Sommer Trocknung weisen diese Energieholzpolter Wassergehalte von ungefähr 30 bis 35% auf und

können für die Belieferung von Trockenschnitzelheizungen eingesetzt werden. Beim Hacken mit dem grossen Trommelhacker, setzt der Unternehmer verschiedene Siebgrössen ein, sodass kaum Probleme mit Überlängen auftreten. Beim Einsatz von Kronenmaterial sind hingegen immer wieder Überlängen durch die Siebe gegangen, sodass sich mit diesem Material kein befriedigender Betrieb der kleinen Heizungen erreichen lassen.

Das separat gepolterte Kronenmaterial kommt bei grösseren Heizungen und vor allem beim HHW Balzers zum Einsatz. Durch die Aufteilung in Energierundholz und Kronenmaterial, welche sich organisatorisch ziemlich einfach vollziehen lässt und nach anfänglich erhöhtem Koordinationsbedarf mittlerweile sehr gut funktioniert, kann die Wertschöpfung aus dem Energieholz maximiert werden. Die Förster erhalten für Energierundholzschnitzel bessere Preise und sind somit motiviert, die entsprechende Sortierung durchzuführen.

Dieses System der Aufteilung in die zwei Sortimenten Energierundholz einerseits, Kronenmaterial und Schlagabraum andererseits funktioniert nur deshalb so gut, weil die Nachfrage nach schlechteren Schnitzelqualitäten mit dem HHW Balzers genügend gross geworden ist. Es ist für die Sortierung in zwei unterschiedliche Energieholzqualitäten entscheidend, dass genügend Absatzmöglichkeiten für schlechtere Qualitäten vorhanden sind.

### Einschätzen der Polter motiviert Förster

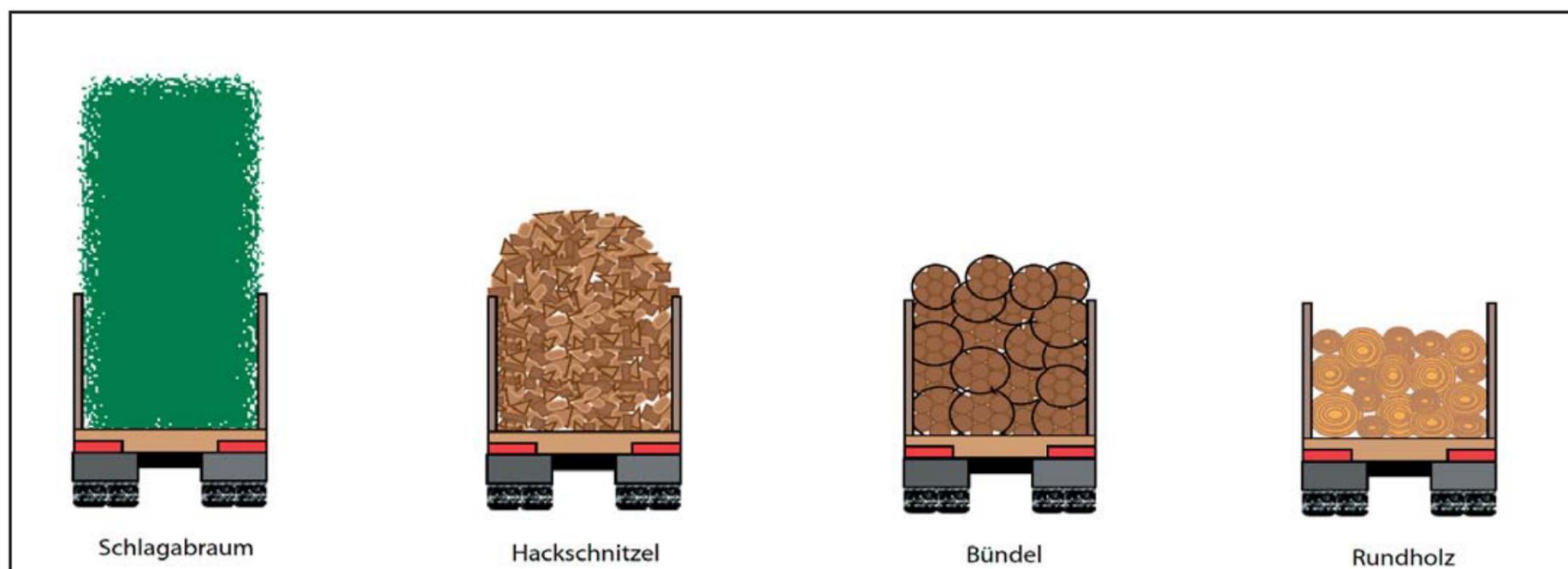
In den Monaten Juni bis August besichtigt der Geschäftsführer des «Holzkreislaufs Liechtenstein» zusammen mit den Revierförstern alle Energieholzpolter, schätzt sie ein und nimmt sie in die Polterverwaltungssoftware Polver auf. Dadurch ist gewährleistet, dass die Unterteilung in Energierundholz und Kronenmaterial auch gut funktioniert.

Jedes Polter wird eingeteilt in:

- Energierundholz oder Kronenmaterial
- Anteil Laubholz und Nadelholz (in 10 %-Schritten)
- Volumen des Polters

Im Einzelfall mussten zu Beginn des Verfahrens einzelne Polter mit zu viel Kronenmaterial im Energierundholz deklassiert werden. Durch den Wertverlust ist der Förster motiviert, das Verfahren zu optimieren. Mit dieser Logistikkette und -organisation kann man sich – bis auf den Containereinsatz – die Holzschneitzellagerung und entsprechende Lagerhallen sparen. Die besten Energieholzqualitäten wie z.B. Buchenstammholz werden weiterhin für die Stückholzproduktion eingesetzt und als Energieholz lang oder aufbereitet verkauft.

Die Koordination des Holzkreislaufes verursacht, nach anfänglicher Einarbeitungszeit, relativ wenig Aufwand. Zudem werden die Forstbetriebe und der Hackunternehmer von ihrem Organisations- und Administrationsaufwand zu einem grossen Teil entlastet.



Vergleich des für den jeweils gleichen Energieinhalt erforderlichen Transportvolumens für verschiedene Formen von Energieholz.



# QUALITÄTSKONTROLLE

Die Qualität der Holzschnitzel ohne Laborinstrumente einzuschätzen oder festzustellen, erfordert Erfahrung. Es gibt jedoch Hilfsmittel und Hinweise, die eine grobe Einschätzung der Holzschnitzelqualität mit wenig Aufwand ermöglichen.

Eine etwas detailliertere Methode zur Selbstüberwachung der Hackschnitzelqualität ist im qualiS «Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holz hackschnitzeln» (FNR und BBE, 2017) beschrieben.

## Bestimmung Wassergehalt

Für eine Schnellbestimmung des Wassergehalts sind zahlreiche unterschiedliche Messgeräte auf dem Markt erhältlich.

Für eine genaue Messung des Wassergehaltes ist die Darrtrocknungsmethode nach SN EN14774-2 zu empfehlen.

## Darrtrocknung bei 105°C im Backofen

1. Nassgewicht der Holzschnitzelprobe messen, möglichst auf Gramm genau bestimmen
2. Ofen aufheizen auf  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  und Holzprobe gut verteilt in Ofen legen.
3. Nach ca. 3 Stunden Probe herausnehmen und Gewicht der Holzschnitzelprobe messen
4. Erneute Messung ca. jede Stunde, bis sich das Gewicht stabilisiert hat
5. Stabilisiertes Gewicht (absolut trocken = atro) messen
6. Bestimmen des Wassergehalts M der Holzschnitzelprobe:  
 $M [\%] = (\text{Nassgewicht} - \text{Gewicht atro}) / \text{Nassgewicht} \times 100$

## Anzündtest

Eine Methode um z.B. den Wassergehalt abzuschätzen ist der Anzündtest: Ein Holzschnitzel von ca. 45 mm Länge in eine Flamme halten (Feuerzeug oder Kerze). Wird das Holzschnitzel nur schwarz, brennt aber nicht, liegt der Wassergehalt bei über 40%. Falls das Holzschnitzel hingegen angezündet werden kann und selbstständig kurz weiterbrennt, so liegt der Wassergehalt bei unter 35%.

## Bestimmung Partikelgrösse

Zur Bestimmung des Feingutanteils kann ein Analysesieb mit

Lochgrösse kleiner 3.15 mm (Feingutanteil gemäss EN SN ISO 17225-4) verwendet werden. Die Holzschnitzelprobe wird wenige Minuten mit dem Sieb geschüttelt, bis sich der Feingutanteil abgesetzt hat und der Hauptanteil im Sieb verbleibt.

## Grobverfahren um Feingutanteil abzuschätzen

In durchsichtigem Behältnis (z.B. Plastiksack oder Messbecher) Holzschnitzelprobe schütteln, bis sich der Feingutanteil unten absetzt. Abschätzen des Feingutanteils im Verhältnis zur gesamten Probe.

Überlängen können mit dem Massstab aussortiert und gemessen werden. Dabei sollte das längste Holzschnitzelstück gemessen werden (max. Länge). Die Anteile Feingut, Hauptanteil und Überlängen können gewogen und der prozentuale Anteil an der Gesamtprobe bestimmt werden.



Darrtrocknung im Trocknungsöfen.

**Wassergehalt**Wassergehalt hoch ( $M > 40\%$ )

- Anzündtest negativ
- Feingutanteil bleibt deutlich an der Hand kleben
- Geruch moderig, feucht oder verpilzt
- Kondensationsbildung im Plastikbeutel

Wassergehalt tief ( $M < 30\%$ )

- Anzündtest positiv
- Feingutanteil rieselt, staubt
- Geruch neutral
- Feingutanteil klebt durch elektrostatische Anziehung am Plastiksack

**Fremdanteil**

Sichtung von Fremdanteilen in der Holzsnitzelprobe

**Anzeichen für Pilzwachstum**

- Weisse Schichten von Schimmelpilzwachstum
- Modriger, fauler Geruch im Holzsnitzelhaufen
- Bildung von dichten, abnehmbaren Schichten mit Pilzmyzel
- Schwarze Übergangslinien auf den Schnitzeln
- Dunkelbraune Bereiche mit Humusbildung und Zersetzung
- Schleimpilzbildung: Schleimige Masse, dunkel oder durchsichtig

**Partikelform**

Scharfkantige Schnitzel mit klaren, geraden Kanten

Guter Hackprozess mit scharfen Messern

Zerrissene, zerfranste Schnitzel oder gebrochene Holzteile mit unklaren Kanten/ ohne feststellbare Kanten

Schlechter Hackprozess mit unscharfen Messern oder Schredder



Verschiedene Anteile einer Schnitzelprobe.



# QUELLENVERZEICHNIS

## Zusammenfassung

Elber U. (Vision Engineering GmbH): Feuchtegehalt-Änderungen des Waldfrischholzes bei Lagerung im Wald. Schlussbericht. BFE, Bern. 2007.

Lutz G. & Keel A. (Energie & Holz GmbH): Vorprojekt «Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln». Schlussbericht. BFE, Bern. 2015.

## Klassifizierung von Holzschnitzeln

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und Bundesverband Bioenergie e. V. (BBE): Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holzhackschnitzeln. Gülzow-Prüzen und Bonn. 2017.

Holzenergie Schweiz: Klassifizieren von Energieholz. Publikation Nr. 407. Stand: April 2015.

Lutz G. (Holzenergie Schweiz): Schnitzelqualität als Erfolgsfaktor. Präsentation Fachtagung IPE 2014, Egnach. 2014.

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Straubing und Freising-Weihenstephan. 2015.

## Anforderungen an Holzschnitzelheizungen

Hinterreiter S.: Bestimmung und Einflussgrößen der Brückenbildung bei der Lagerentnahme von biogenen Festbrennstoffen. Dissertation, Technische Universität München, 2010.

Jost L. (Holzenergie Schweiz): Qualitätsverbesserung Holzschnitzel. Erster Teil: Zwischenbericht „Erarbeitung der noch fehlenden Grundlagen“. Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bern. 2017.

Lutz G. & Keel A. (Energie & Holz GmbH): Vorprojekt «Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln». Schlussbericht. BFE, Bern. 2015.

Ropp J. Émissions de particules fines lors de la combustion de plaquettes forestières. Étude de l'influence des taux d'humidité et de fines pour Énergie Bois Suisse. Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud, Yverdon-les-Bains. 2017

## Vortrocknung in ungehacktem Zustand

Elber U. (Vision Engineering GmbH): Feuchtegehalt-Änderungen des Waldfrischholzes bei Lagerung im Wald. Schlussbericht. BFE, Bern. 2007.

Holzenergie Schweiz: Bulletin Nr. 55 – Oktober 2014. Qualität von Holzbrennstoffen. Zürich, 2014.

## Aufbereitung von Energieholz zu Holzschnitzeln

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF: Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. LWF Merkblatt 10, Freising. 2012.

Flury S.: Anfall und Verwendung von Schlagabraum in der Schweiz. Bericht. BAFU, Ittigen. 2013.

Holzenergie Schweiz: Rationelle Hackschnitzelbereitstellung im Forstbetrieb. Publikation Nr. 409 – 2013/11 – 2000. 2013.

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel. Straubing und Freising-Weihenstephan. 2015.

## Grundsätze der Schnitzellagerung

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF: Hackschnitzel richtig lagern! LWF Merkblatt 11, Freising. 2014.

Biomasseverband Oberösterreich: Infoblatt: Hackgut-trocknung. Undatiert.

## Lagerung von Holzschnitzeln im Freien

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF: Hackschnitzel richtig lagern! LWF Merkblatt 11, Freising. 2014.

Bayerische Staatsforsten AöR: Grundsätze zur Lagerung von Waldhackschnitzeln. Regensburg. Undatiert.

Burger F.: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft/Firma Polyfelt AG. Hackschnitzel-Trocknungsversuch Wadlhausen. 2004.

C.A.R.M.E.N: Richtiges Lagern von Holzhackschnitzeln für Heizwerke: Vermeidung von Bränden durch Selbstentzündung. Merkblatt 01/07. C.A.R.M.E.N e.V., Straubing, 2007.

### **Lagerung von Holzschnitzeln in Lagerhallen**

Lutz G. & Keel A. (Energie & Holz GmbH): Vorprojekt «Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln». Schlussbericht. BFE, Bern. 2015.

Lutz G. (Holzenergie Schweiz): Abklärungen für einen möglichen Holzumschlagplatz in der Gemeinde Bauma. Schlussbericht. Pro Zürcher Berggebiet (PZB), Bauma. 2017.

Ritter A.: Verbesserung des Heizwertes durch Optimierung der Bereitstellung von Holzschnitzeln. Semesterarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil. 2009.

### **Technische Schnitzeltrocknung**

C.A.R.M.E.N: Trocknung von Energieholz und Getreide mit Biogas-Wärme. C.A.R.M.E.N e.V., Straubing, 2014.

Moser B. (ZM-Technik für Holz AG): Schnitzelaufbereitung und Trocknung: Beispiele aus Sägereien und Biogasanlagen. In: Tagungsband der 8. Tagung Holzenergie Biel. 2015.

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Optimale Bereitstellungsverfahren für Holz hackschnitzeln. Straubing und Freising-Weihenstephan. 2015.

### **Aussiebung von Feingutanteil**

Lutz G. & Keel A. (Energie & Holz GmbH): Vorprojekt «Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln». Schlussbericht. BFE, Bern. 2015.

### **Substanzverlust bei natürlicher Trocknung**

Ahrens F.: Qualitätssicherung bei der Hackschnitzeltrocknung. Präsentation 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2012.

Bärwolff M. & Hering T.: Fremdenergiefreie Trocknungsvarianten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 2011.

Lutz G. & Keel A. (Energie & Holz GmbH): Vorprojekt «Qualitätsverbesserung von Holzschnitzeln». Schlussbericht. BFE, Bern. 2015.

### **Regionale Energieholzlogistik**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF: Bereitstellung von Wald hackschnitzeln. LWF Merkblatt 10, Freising. 2012.

Holzenergie Schweiz: Rationelle Hackschnitzelbereitstellung im Forstbetrieb. Publikation Nr. 409 – 2013/11 – 2000. 2013.

Höner G., Hackschnitzel: Harte Hölzer heizen besser. In: top agrar 7/2006, Münster. 2006.

Kofler S., Förster Forstgemeinschaft Gamprin-Ruggell-Schellenberg und Koordinator Energieholz Holzkreislauf Liechtenstein: mündliche Mitteilung anlässlich Besuch Gamprin-Bendern. 2015.

### **Qualitätskontrolle**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und Bundesverband Bioenergie e. V. (BBE): Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holz hackschnitzeln. Gülzow-Prüzen und Bonn. 2017.

Krämer G. (Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer): IBT-Richtlinie „Definierte Hackschnitzel“. Spezifizierung, Prüfung und Deklaration von Hackschnitzeln für stoffliche und energetische Zwecke. 2015.

SN EN 14774-2:2000. Feste Biobrennstoffe - Bestimmung des Wassergehalts - Ofentrocknung - Teil 2: Gersamtgehalt an Wasser - Vereinfachtes Verfahren. CEN, Schweizerische Normenvereinigung. 2009.

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Optimale Bereitstellungsverfahren für Holz hackschnitzeln. Straubing und Freising-Weihenstephan. 2015.

## Vorschlag zur Verwendung von Holzschnitzeln

Auf Basis von QM Holzheizwerke wird folgende Verwendung der Holzschnitzel für einen emissions- und wartungsarmen Betrieb vorgeschlagen:

	Qualitätsholz-schnitzel	Trockenschnitzel	Waldschnitzel vorgetrocknet 100 % ERH	Waldschnitzel Mischung frisch 50 % ERH 50 % Waldrestholz	Waldschnitzel 100 % Waldrestholz	Holzchnitzel aus Landschaftspflege	Rindenschnitzel
<b>Beschreibung</b>	aus Energierundholz, getrocknet und ausgesiebt	aus Energierundholz und wenig Waldrestholz	aus Energierundholz, vorgetrocknet in ungehacktem Zustand	aus Energierundholz und Waldrestholz, nicht oder kaum vorgetrocknet	aus Waldrestholz, nicht vorgetrocknet	Schnittmaterial von Sträuchern und Astmaterial, hoher Nadel- und Blattanteil	Rinde geschreddert oder gehackt
<b>Wassergehalt</b>	<b>M20, 15 – 20 %</b>	M30, 15 – 30 %	M50, 30 – 50 %	M50, 30 – 50 %	M55+, 30 – 60 %	M55+, 30 – 60 %	M65+, 30 – 65+ %
<b>Bezeichnung</b>	getrocknet	trocken	feucht	feucht	nass	nass	nass
<b>Lagerfähigkeit</b>	sehr gut	sehr gut	begrenzt	begrenzt	schlecht	schlecht	schlecht
<b>Stückigkeit</b>	P16S: Qualitäts-schnitzel fein P31S: Qualitäts-schnitzel grob	P31S	P31S	P31, P45	P31, P45, P63	P45, P63	P45, P63
<b>Feingutanteil &lt; 3.15 mm *inkl. Nadel und Laub-anteile</b>	ausgesiebt F05; < 5 %	ausgesiebt F05; < 5 % oder F10; < 10 %	F10; < 10 %	F25*; < 25 %	F25*; < 25 %	F25*; < 25 %	F5; < 5 %
<b>Aschegehalt mit Fremd-anteil</b>	< 1 %	< 3 %	< 3 %	< 5 %	< 10 %	< 10 %	< 10 %
<b>Energieinhalt [kWh/Srm]</b>	HH: 950 – 1'100 WH: 650 – 750	HH: 900 – 1'050 WH: 600 – 700	HH: 800 – 1'000 WH: 500 – 700	HH: 700 – 900 WH: 450 – 600	HH: 600 – 800 WH: 400 – 550	HH: 600 – 800 WH: 400 – 550	350 – 600
<b>Feuerungssystem</b>	Kleinfeuerungen, Standardgeräte, Unterschub- und Festrostfeuerungen	Unterschub- und Vorschubrostfeuerungen	Unterschub- und Vorschubrostfeuerungen	Vorschubrostfeuerungen	Vorschubrostfeuerungen	Vorschubrostfeuerungen	Vorschubrostfeuerungen
<b>Leistungsbereich</b>	20 – 200 kW	> 200 kW	> 200 kW	> 200 kW für P31 > 1000 kW für P45	> 200 kW für P31 > 1000 kW für P45 > 3000 kW für P63	> 1000 kW für P45 > 3000 kW für P63	> 1000 kW für P45 > 3000 kW für P63

## Begriffe

**ERH = Energierundholz** gezielt aus Stammholz hergestelltes Sortiment und kein Koppel- oder Nebenprodukt der Holzernte oder der Waldpflege, entastet und entwipfelt

**Waldrestholz** Kronen, Ganzbäume ab 7 cm Brusthöhendurchmesser, Schlagabraum, Äste

**HH = Harthölzer**

**WH = Weichhölzer**