

## Bericht

Charakterisierung der Auswirkungen der Trocknung von mit Papierplanen abgedeckten Holzstapeln



Richard Golay

22. Januar 2019

## Danksagung:

An das Amt für Energie (AfE) des Staates Freiburg für die Finanzierung des Projekts.

An Jean-Maurice Chappalley, Förster des Forstreviers Jogne-Javroz, der intensiv an der Probenahme beteiligt war und den Autor an seiner umfassenden Erfahrung bei der Herstellung von Waldhackschnitzeln hat teilhaben lassen.

An Gregor Lutz, Projektleiter bei Holzenergie Schweiz (Zürich), für die Messungen des Wassergehalts und die Qualität seiner Arbeit.

An Herrn Bertrand Zamofing (Dir.) und Herrn Jean-Paul Borne, Förster bei der Corporation forestière Forêts-Sarine, Herrn David Vuillemez, Förster in La Sagne und Verantwortlicher für den Betrieb des kommunalen Fernwärmeheizwerks, und Herrn Pascal Morel, technischer Verantwortlicher bei Romande Energie SA, für die Gespräche bezüglich dieser Studie.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung .....	3
1.1.	Waldhackschnitzel.....	3
1.2.	Vortrocknung der in Stapeln gelagerten Holzenergie .....	3
1.3.	Erfahrung mit der Abdeckung von Holzstapeln in der Romandie und im Ausland .....	5
2.	Beschrieb.....	7
2.1.	Verfahren zur Probenahme .....	8
2.2.	Verfahren zur Messung des Wassergehalts .....	10
3.	Ergebnisse und Erörterung.....	11
3.1.	Quantifizierung der Trocknung.....	11
3.2.	Schätzung des finanziellen Ergebnisses der Planenabdeckung .....	13
4.	Fazit .....	14
5.	Anhang 1: Datentabelle .....	15
6.	Anhang 2: Referenzdaten zum unteren Heizwert. ....	16

## 1. Einführung

### 1.1. Waldhackschnitzel

Die Produktion von Waldhackschnitzeln ermöglicht seit mehr als zwanzig Jahren einen bedeutenden Ausbau der Holznutzung im Energiesektor. Die erneuerbare und CO<sub>2</sub>-neutrale Holzenergie ist nach der Wasserkraft der zweitgrösste erneuerbare Energieträger in der Schweiz. Im Bereich der Wärmeenergie liegt sie mit einem ständig steigenden Anteil von zurzeit über 10 % auf dem ersten Platz der erneuerbaren Energieträger. Waldhackschnitzel machen mehr als ein Drittel des Holzenergieverbrauchs aus.

Sie werden sehr oft in Fernwärmanlagen eingesetzt und haben den Vorteil, dass sie eine erhebliche Automatisierung bei der Herstellung und Nutzung ermöglichen, wodurch sie einen verglichen mit den anderen Wärmequellen sehr wettbewerbsfähigen Preis bieten.

Die Hauptschwierigkeit bei diesem natürlichen Brennstoff liegt in seinem relativ hohen und über das Jahr gesehen variablen Wassergehalt. Je nach Herstellungsverfahren sind die Hackschnitzel mehr oder weniger feucht, was sich direkt auf den Heizwert und den Preis auswirkt. Die Abbildung 1 zeigt den Wassergehalt der verschiedenen Kategorien von Waldhackschnitzeln je nach Herstellungsart. Die feuchtesten Waldhackschnitzel werden in grossen Kesseln verwendet, die imstande sind, den Brennstoff kurz vor der Verbrennung gut zu trocknen. Für Kessel unter 200 kW empfiehlt die Qualitätssicherung QM Holzheizwerk® ([www.qmbois.ch](http://www.qmbois.ch)) künstlich getrocknete und gesiebte Hackschnitzel, sogenannte «Qualitätshackschnitzel».

Type de plaquettes	Description	Teneur en eau %
Plaquettes de qualité	Séchées à l'air chaud	15-20 (M20)
Sèches (ou fermentées)	Stockées sous couvert	25-35 (M35)
Ressuyées (ou vertes)	Grumes stockées en pile	30-50 (M50)
Fraîches (ou vertes)	Filière directe	40-55+ (M55+)

Abbildung 1: Die verschiedenen Kategorien von Hackschnitzeln richten sich hauptsächlich nach ihrem Wassergehalt, was sich direkt auf ihren Heizwert und ihre Produktionskosten auswirkt.

### 1.2. Vortrocknung der in Stapeln gelagerten Holzenergie

In einer Ende 2017 veröffentlichten Broschüre mit dem Titel «Hackschnitzel von optimaler Qualität» (Abbildung 2) befasst sich Holzenergie Schweiz mit der Frage der Vortrocknung von ungeschlagener, in Stapeln gelagerter Holzenergie. An dieser Stelle wird betont, dass es zu diesem Thema nur wenige Studien gibt. Eine Reihe von Empfehlungen wird vorgestellt:

- Das wichtigste genannte Kriterium: Der Standort der Stapel liegt vorzugsweise auf Graten und Bergkuppen ausserhalb des Waldes, um die Windexposition zu begünstigen.
- Der Boden muss trocken sein und es ist ausreichend Abstand des Stapels vom Boden vorzusehen (Massivholzstütze).

- Die Zugänglichkeit des Stapels muss jederzeit gewährleistet sein (Schneeräumung der Zufahrtswege).

- Die Dauer der Lagerung sollte ein Jahr nicht überschreiten.

Bei Nadelholz (Fichte) wird, da das Holz nach drei bis fünf Monaten Lagerung seinen minimalen Wassergehalt erreicht, empfohlen, den Stapel nach dieser Zeit zu zerkleinern oder abzudecken, da der Feuchtigkeitsgehalt sonst wieder ansteigen würde.

Laubholz (Buche) weist einen anderen Trocknungsprozess auf und erreicht seinen minimalen Wassergehalt nach acht bis neun Monaten, bleibt dann aber mehr oder weniger konstant. Eine Abdeckung wird als nicht notwendig erachtet.



Abbildung 2: Holzenergie Schweiz hat Ende 2017 eine Broschüre mit Empfehlungen zur Sicherstellung der optimalen Qualität der Waldhackschnitzel herausgegeben. Auf die Frage der Abdeckung von Stammholzstapeln wurde eingegangen. Die Broschüre kann von der Website [www.holzenenergie.ch](http://www.holzenenergie.ch) (Rubrik «Shop» und «Holzenenergie») heruntergeladen werden.

Die Abdeckung der Holzenergie in unzerkleinertem Zustand mit Rollen aus verstärktem Papier wird erörtert. Im Dokument wird betont, wie wichtig es ist, den Schutz rechtzeitig in der Saison, das heisst je nach Wetterlage vor Ende Juni oder Ende Juli, abzunehmen.

Diese Technik hat sich in den letzten zehn Jahren von Nordeuropa her ausgebreitet. Unseres Wissens nach gibt es nur einen Anbieter für diese Art von Produkt: das finnische Unternehmen Walki und sein Produkt Walki®Biomass Cover (Abbildung 3). Eine genaue Beschreibung kann auf der Website [www.bionenergie-promotion.fr](http://www.bionenergie-promotion.fr), Titel: «Couvrir les tas de biomasse en forêt pour améliorer leur qualité énergétique». Der Lieferant betont, wie wichtig der Schutz des künftigen Brennstoffs «vor Regen, Schnee und Eisblockbildung» ist. Neben einem verbesserten Energiegehalt durch die Trocknung (angegeben mit 5 % bis 15 %) wird als Vorteil die Senkung der Abfuhrkosten dank Reduzierung des Stammholzgewichts genannt.



Abbildung 3: Das finnische Unternehmen Walki verkauft Rollen aus verstärktem Papier zur Abdeckung von Holzenergiestapeln. (Quelle: Walki)

### 1.3. Erfahrung mit der Abdeckung von Holzstapeln in der Romandie und im Ausland

Jean-Maurice Chappalley, Förster im Forstrevier Jogne-Javroz in Charmey, verfügt durch die Belieferung des Fernheizwerks Charmey über langjährige Erfahrung bei der Erstellung von Holzenergie-Stapeln. Dieses Heizwerk liefert seine ökologische und erneuerbare Wärme unter anderem an das Thermalzentrum Les Bains de la Gruyère. Historisch gesehen wurde 1995 bei der Erneuerung des Heizölkessels des Schwimmbads das Projekt zur Wärmeerzeugung auch für die umliegenden Gebäude ins Auge gefasst. Vier Jahre später wurde die Hackschnitzelheizung in Betrieb genommen und heute werden jährlich etwa 13'500 m<sup>3</sup> Hackschnitzel (m3v) verbraucht. In den nächsten Jahren ist ein Ausbau der Fernwärme geplant, um den Verbrauch von Hackschnitzeln in etwa zu verdoppeln.

In Charmey werden die Holzstapel, die viele Monate oder sogar mehr als ein Jahr im Wald bleiben, systematisch abgedeckt. Die erzielte, aber noch nie systematisch gemessene Trocknung erleichterte die Einstellung der Hackschnitzelkessel und die bessere Einhaltung der empfohlenen Leistung. Die Trocknung durch Abdeckung hat insbesondere eine wichtige Quelle von Pannen beseitigt: so führte die hohe Feuchtigkeit des Holzes früher dazu, dass sich nasser Staub absetzte und die Fotozellen zur Messung des Brennstofffüllstands sehr regelmässig verstopfte. Dies führte nach einer bestimmten Zeit zur Abschaltung der Kessel. Es ist zu beachten, dass die Papierabdeckung neben der Trocknung auch das Eindringen von Wasser aus der den Stapel bedeckenden Schneeschicht verhindert. Ohne die Abdeckung besteht ein hohes Risiko, dass Frost zum Zusammenkleben von Stämmen führt, was die Verwendung des Greifers des Zerkleinerungs-Lkw erschwert. Generell ermöglicht die Abdeckung eine längere Lagerung der Stapel im Wald und minimiert Substanzverluste bei der Lagerung. Es besteht daher nicht nur ein energetischer Gewinn der Massnahme, vielmehr bietet sie auch eine deutliche Verbesserung sowohl der Nutzung im Wald als auch der Bewirtschaftung der Heizungsanlage.

Anderswo im Kanton Freiburg hat die Corporation forestière Forêts-Sarine, die sich in der Ebene befindet, mehrere Tests durchgeführt, die Vorteile der Abdeckung aber als nicht schlüssig beurteilt. Das Unternehmen speist 13 Fernwärmeanlagen für insgesamt rund 20'000 m<sup>3</sup>v pro Jahr. Der Höhenunterschied, der höhere Laubholzanteil und die geringeren Schneefälle als in Charmey mögen die Gründe für diese Feststellung sein. Auch das

reichhaltige Vorhandensein der Energieressource und der erforderliche Personalaufwand für die Durchführung der Massnahme haben die Entscheidung beeinflusst.

David Vuillemez, Förster in La Sagne (NE), ist auch für das Hackschnitzelheizwerk verantwortlich, das einen grossen Teil des Dorfes mit Wärme versorgt. Diese Gemeinde weist die Besonderheit auf, dass sie über grosse Flächen mit bewaldeten Weiden verfügt. Ihre Wartung generiert ein grosses Volumen von Baumwipfeln und Ästen. David Vuillemez hat festgestellt, dass durch die Verwendung von verstärkten Papierplanen die Umwandlung von Ästen durch Trocknung in Kompost vermieden wird, die ihre Verbrennung unmöglich machen würde. Der Energiegehalt des erhaltenen getrockneten Brennstoffs stellt einen erheblichen Gewinn für die Wärmeerzeugung dar, ohne die Betriebs- und Wartungskosten stark zu erhöhen.

In Quebec führte das Unternehmen Partenariat Innovation Forêt eine der seltenen Studien zur Bewertung der Auswirkungen der Abdeckung von Stapeln durch Planen durch (siehe unter [www.partenariat.gc.ca](http://www.partenariat.gc.ca)). Sie fand von Januar 2012 bis März 2013 statt und betraf nur Nadelhölzer. Aus dieser Studie geht hervor, dass während der Trockenphase von Mai bis September kein Gewinn mit der Plane erzielt wird, von September bis März aber ein Gewinn von 10 % gemessen wurde. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die Abdeckung wirtschaftlich gerechtfertigt sein kann, wenn der Feuchtigkeitsgehalt um mindestens 5 % sinkt (Abbildung 4).

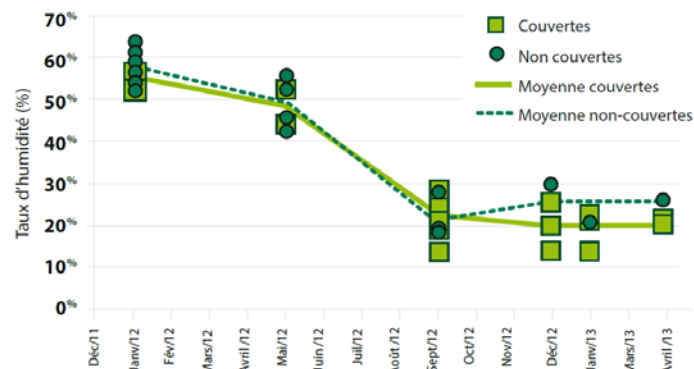


Abbildung 4: Grafik aus der Studie von Partenariat Innovation Forêt, welche die natürliche Trocknungskurve für abgedeckte und nicht abgedeckte Stapel zeigt.

In Frankreich sind im Rahmen des MOQAPRO-Projekts vom Konsortium UCFF/ONF/FCBA/Walki Tests mit Planenabdeckung durchgeführt worden (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-12-BIME-0007>). In den Jahren 2014/2015 wurden acht Standorte mit unterschiedlichen Produkten (Hartholz/Weichholz, Laubholz/Nadelholz, mit/ohne Laub) überwacht. Dabei wurden zwei Breiten von Planenrollen verwendet (4 m und 6 m). Die Abdeckungszeiten variierten zwischen 3 und 15 Monaten, an bestimmten Standorten mit wiederholten Messungen nach 3, 6 und 10 Monaten. Bei allen Messungen ist die Abdeckung durch die Planen bei einer Reduzierung des Wassergehalts um durchschnittlich etwa 5 Prozentpunkte rentabel. Allerdings bestehen zwischen den einzelnen Standorten erhebliche Unterschiede.





## 2. Beschrieb

Die Studie konzentrierte sich auf die Entnahme von Hackschnitzelproben aus 16 Stammholzstapeln, die das Fernheizwerk Charmey versorgen (Abbildung 5). Die Höhe, in der sich die Stapel befanden, lag zwischen 850 m und 1400 m. Die Stapel wurden bei 14 Kampagnen vom 10. Oktober 2017 bis 15. Mai 2018 (Abbildung 6) mit einem Gesamtvolumen von circa 13'500 m<sup>3</sup> zerkleinert. Das Volumen der Stapel in vollen m<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>p) variierte zwischen etwa 600 und 3'000 (1 m<sup>3</sup>p ≈ 2.5 m<sup>3</sup>v). Die Zusammensetzung der Stapel beträgt ca. 60 % Nadelholz (Fichte 60 % und Tanne 40 %) und 40 % Laubholz (Buche 90 % und Esche 10 %).

40 Proben von Waldhackschnitzeln wurden im Wald genommen, identifiziert (Code), hermetisch verpackt, am selben Tag mit der Post versandt und in den folgenden Tagen auf ihren Wassergehalt analysiert. An einigen Proben wurde eine granulometrische Analyse durchgeführt, um die Variabilität zu testen.

16 Proben stammen aus Stapeln, die mehr als ein Jahr zuvor abgedeckt wurden und 24 Proben aus Stapeln, die nicht abgedeckt waren oder ein Jahr zuvor freigelegt worden sind. Die Stapel wurden zwischen April 2015 und April 2018 angelegt. Die nicht abgedeckten Stapel bestehen aus sehr jungen Schnitten oder Stapeln, die in den Monaten oder im Jahr vor der Zerkleinerung freigelegt wurden.

### codes échantillons

-  14-CHA-0.3
-  14-CHA-0.1 14-CHA-0.2
-  13-RIX-0.1 13-RIX-0.2 13-RIX-0.3
-  13-PLA-0
-  12-DE-0.1
-  10-CH-0.1 10-CH-0.2 10-CH-0.3
-  09-RA-0.1 09-RA-0.2 09-RA-0.3 11-RA-0....
-  08-LH3-1.1 08-LH3-1.2 11-LH3-1.1 11-L....
-  08-DE-0
-  07-LH1-1
-  05-OB-0.1 05-OB-0.2 05-OB-1.1 05-OB-1....
-  03-IN-1 03-IN-1.2 03-IN-0.3 04-IN-1.1 04-...
-  02-MO-0
-  01-FB-1 01-PC-0
-  01-SV-1
-  01-FR-0
-  Guin (source météo)
-  Blonay (source météo)

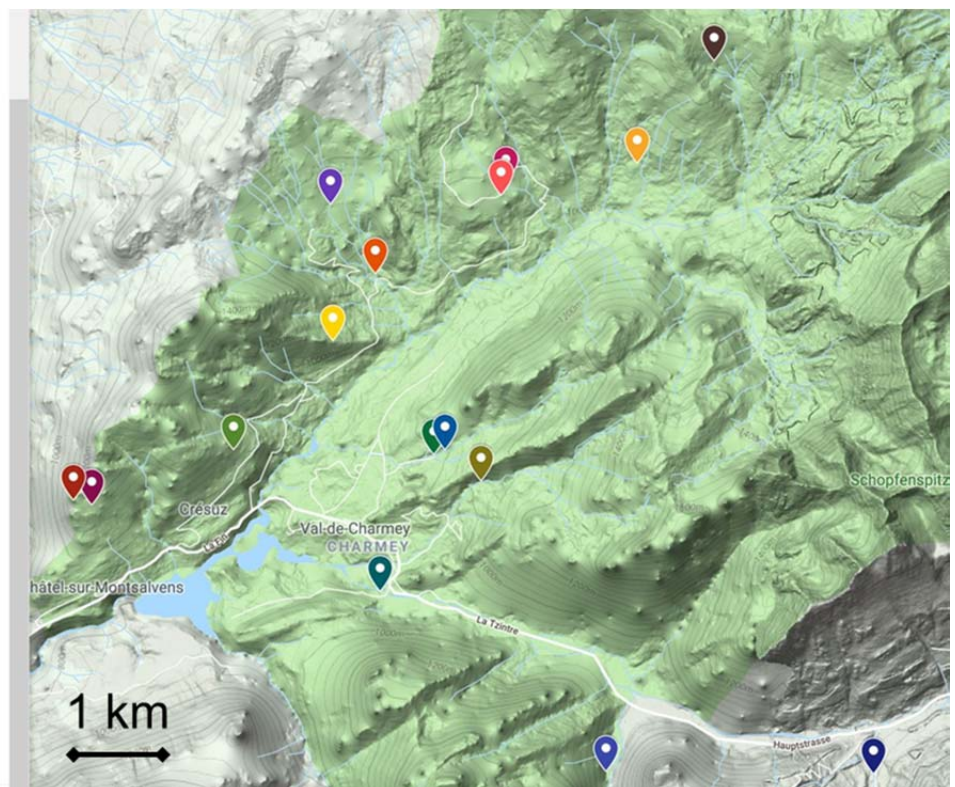


Abbildung 5: Standort der Holzstapel um das Dorf Charmey (Bild mit Google Maps erstellt).



Abbildung 6: Herstellung von Waldhackschnitzeln in der Region Charmey aus einem Stapel von mit Papier bedecktem Stammholz.

## 2.1. Verfahren zur Probenahme

Eine Probe wird aus sechs einzelnen Proben erstellt, um eine gute Repräsentativität zu gewährleisten. Die sechs Proben stammen aus einem oder zwei Containern und werden nach dem Befüllen des Containers an der Oberfläche genommen.

Die Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung des gefüllten Containers in mehreren Zerkleinerungsschritten. Die Oberflächenprobenahme gewährleistet bis zu einem gewissen Grad die Repräsentativität aller Hackschnitzel des Containers.

Um diese Entscheidung über die Anzahl der Proben zu treffen, orientierte sich die Studie am OPTI-SCREEN-Projekt (Optimierung der Probenahme bei der Lieferung) der französischen Agentur für Umwelt- und Energiemanagement (ADEME). Es sei darauf hingewiesen, dass der Hauptunterschied in dieser Studie darin besteht, dass die Probenahmen nach dem Befüllen des Containers erfolgen, um die genaue Herkunft der Proben zu gewährleisten, und nicht zum Zeitpunkt des Abladens ins Silo des Heizwerks. Der Grund hierfür ist, dass mehrere abgedeckte oder nicht abgedeckte Holzstapel am selben Tag zerkleinert werden konnten.

Bei künftigen Studien wäre es wünschenswert, die Probenahme bei der Anlieferung im Silo durchzuführen, um die beim Entladen des Containers eintretende natürliche Vermischung zu nutzen und so die Repräsentativität der Probenahme zu erhöhen. Nach der Analyse gilt dieser Hinweis insbesondere für nicht abgedeckte Stapel mit höheren Schwankungen beim Wassergehalt.

Die Proben werden dann gemischt und nur ein kleiner Teil, der weniger als 1 kg darstellt, wird in einen Beutel mit einem Fassungsvermögen von drei Litern gegeben, dessen Verschluss eine perfekte Abdichtung gewährleistet (Abbildung 8).

Für jede Probe wird ein Identifizierungscode erstellt, der die Zerkleinerungskampagne, den Ort des Holzstapels, die Abdeckung des Stapels ja oder nein und die Probennummer



vom gleichen Stapel angibt, wenn es mehrere gab. Dieser Code steht auf dem Plastikbeutel mit der Probe und wird im Messbericht angegeben. Für jede Messkampagne wird ein Messbericht erstellt.

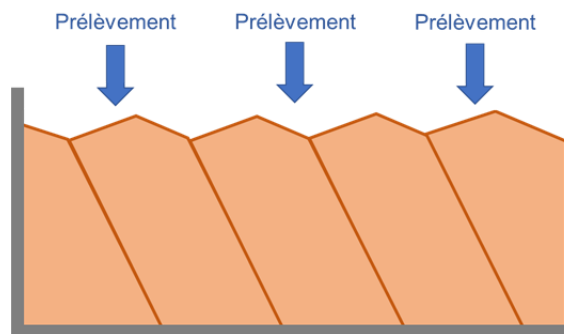


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Entnahme von Waldhackschnitzeln aus dem Container. Die einzelnen Schichten stellen jeden Schritt der Aufnahme der Stämme durch den Greifer des Zerkleinerungs-Lkw und ihre Zerkleinerung dar. Die Probenahme an der Oberfläche ermöglicht es, Proben aus unterschiedlich im Holzstapel lokalisierten Stämmen zu nehmen, um die bestmögliche Repräsentativität zu gewährleisten.



Abbildung 8: Beispiel für die Entnahme und Abfüllung einer Hackschnitzelprobe. Sechs Proben werden gemischt und ein Teil davon im Beutel verpackt. Die Probe wird noch am selben Tag versandt, damit die Analyse des Wassergehalts in den darauffolgenden Tagen durchgeführt werden kann. Das Fassungsvermögen des Beutels beträgt drei Liter und das Gewicht der Hackschnitzel weniger als 1 kg.

Für jeden Holzstapel werden registriert:

- die genaue Position des Stapels
- das Datum der Erstellung des Holzstapels (Abtransportplatz)
- das Datum der Papierabdeckung des Stapels (sofern zutreffend)
- die Mitteilung mit oder ohne Papierabdeckung zum Zeitpunkt der Zerkleinerung

Die Tabelle in Anhang 1 enthält alle Informationen über die 40 analysierten Proben.

## 2.2. Verfahren zur Messung des Wassergehalts

Die Hackschnitzel werden gemäss den vom QM Holzheizwerke und der Norm EN ISO 17225-4 entwickelten Kriterien analysiert. Der Wassergehalt wird vor und nach der Trocknung mit einer Präzisionswaage gemessen. Von den 40 Proben wurden drei analysiert, um die Korngrösse zu kontrollieren.

Der Wassergehalt darf nicht mit der Feuchtigkeit verwechselt werden. Der Wassergehalt des Holzes wird definiert als das Gewicht des in der Probe enthaltenen Wassers dividiert durch das Gewicht der feuchten Probe. Die Holzfeuchtigkeit wird definiert als das Gewicht des in der Probe enthaltenen Wassers dividiert durch das Gewicht der vollständig getrockneten Probe. Die Abbildung 9 zeigt die allgemeine Beziehung zwischen Wassergehalt und Feuchtigkeit an.

Wassergehalt [%]	Feuchtigkeit [%]
0	0
20	25
25	33
33	50
40	67
50	100
60	150

Abbildung 9: Umwandlung des Wassergehalts des Holzes (roh) in Feuchtigkeit (trocken). Alle Ergebnisse dieser Studie werden in Bezug auf den Wassergehalt angegeben.

Die Hackschnitzel wurden in einem Ofen bei einer Temperatur von 102 ( $\pm 2$ ) °C getrocknet. Durch die periodische Gewichtsmessung ist bekannt, wann die Hackschnitzelprobe vollständig trocken ist: das anschliessend gemessene Gewicht ändert sich nicht mehr. Das Gewicht wird direkt nach dem Verlassen des Ofens gemessen, um eine erneute Aufnahme von Feuchtigkeit zu verhindern.

Der Bericht enthält eine visuelle Beurteilung der Probe und einen Hinweis zu ihrem Geruch (Abbildung 10).



Abbildung 10: Vorbereitung der Probe für die Ofentrocknung.

### 3. Ergebnisse und Erörterung

#### 3.1. Quantifizierung der Trocknung

Die Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Wassergehaltsmessungen der Proben nach Entnahmedatum. Die drei Messungen zur Kontrolle der Korngrösse ergaben, dass diese regelmässig war und der Klasse P45S entspricht.

Die Proben aus den abgedeckten Stapeln sind deutlich trockener. Festzustellen ist auch eine geringere Streuung der Messungen. Sie ergibt sich logischerweise daraus, dass das in der Mitte des Stapels liegende Stammholz bei nicht abgedeckten Stapeln von den an der Oberfläche liegenden Stämmen geschützt wird. Die Differenz zwischen dem Mittelwert der Proben aus nicht abgedeckten Stapeln und dem Mittelwert der Proben aus abgedeckten Stapeln (ohne die Reihe vom 5.12.17; (siehe nachstehende Erläuterung) beträgt 5.7 Prozentpunkte.

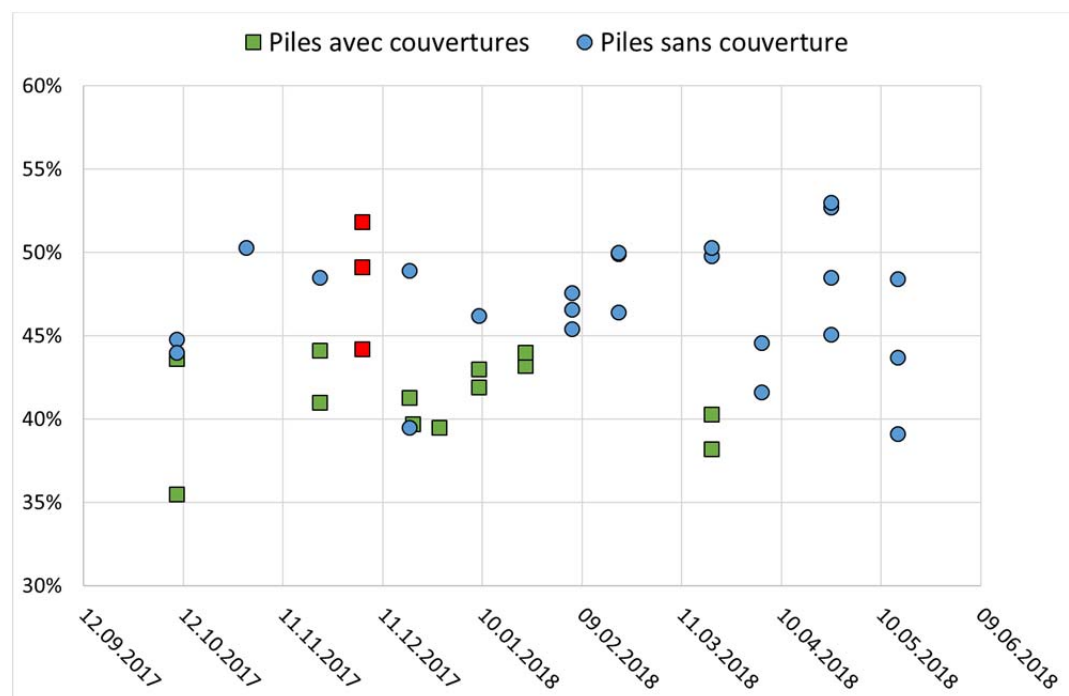


Abbildung 11: Grafik, die den Wassergehalt der Hackschnitzelproben zeigt, die zwischen Herbst 2017 und Frühjahr 2018 aus Stapeln mit oder ohne Papierabdeckung entnommen wurden. Die Probenreihe vom 5.12.17 (rote Quadrate) wird im Text erörtert.

Eine genauere Analyse der Ergebnisse zur genauestmöglichen Bewertung des Einflusses der Planenabdeckung erfordert einen Vergleich von Stapeln mit ähnlichen Hauptparametern. Dies sind im Wesentlichen das LKW-Abtransportdatum (entspricht in etwa dem Fälldatum), der Standort, das Datum der Probenahme (Zerkleinerung) und das Datum der Abdeckung bei den abgedeckten Stapeln.

Für die Kampagnen ab Februar 2018 (rechter Teil der Abbildung 11) bestanden die meisten nicht abgedeckten Holzstapel aus frisch geschnittenem Holz. Es gibt eine hohe Streuung der Messungen, was die Schwierigkeit aufzeigt, mit einer einzigen Probe für abgedeckte Holzstapel eine repräsentative Messung zu erhalten. Die hohe Streuung lässt sich einerseits durch die Lage des Holzes innerhalb des Stapels erklären, anderer-

seits aber auch durch die zerkleinerten Arten, denn die Porosität der Nadelhölzer ist deutlich grösser als die von harten Laubhölzern.

Die für die Berechnung herangezogenen Kampagnen sind die mit den Nummern 1, 3, 5 und 7. Die Kampagne 4 vom 5.12.17 mit den roten Quadraten weist folgende Besonderheit auf: die Proben stammen von dem Stapel, der bei der vorangegangenen Kampagne vom 22.11.17 freigelegt und teilweise zerkleinert worden war. In der Zwischenzeit gab es starke Schneefälle. So ist festzustellen, dass die Witterungsbedingungen über einen Zeitraum von zwei Wochen ausgereicht haben, um den dank der Abdeckung erzielten Trocknungsgewinn zunichte zu machen. Die Berechnung ergibt eine Differenz zwischen den beiden entnommenen Proben von 5.8 Prozentpunkten. Für die Kampagne Nr. 1 wurde die Probe mit einem Wassergehalt von 35.5 % nicht berücksichtigt, da die Bereitstellung für den LKW-Abtransport und die Abdeckung ein Jahr vor den anderen drei Proben durchgeführt wurden.

Bei den Kampagnen 1, 3, 5 und 7 beträgt die Differenz zwischen den Durchschnittswerten der abgedeckten und nicht abgedeckten Stapel jeweils 0.8, 7.5, 3.7 und 4.3. Dies ergibt einen Durchschnittswert von 3.7 Prozentpunkten. Auch wenn die Messunsicherheiten bei den abgedeckten Stapeln hoch sind, erscheint ein Gewinn von etwa 4 Prozentpunkten durch die Abdeckung angesichts der Beobachtungen in der Praxis als realistischer Wert.

Um den Einfluss der Witterungsbedingungen an den vorangehenden Tagen auf den Wassergehalt der entnommenen Proben zu bestimmen, wurden für jede Zerkleinerungskampagne Daten erfasst. Diese stammen von der Website des Bundes [www.agrometeo.ch](http://www.agrometeo.ch). Die Daten wurden für die zwei Wochen vor der Zerkleinerungskampagne erhoben. Die aufgezeichneten Daten betrafen die Strahlung ( $\text{Wh/m}^2$ ), die Niederschläge (mm), die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur. Da es in der Nähe von Charmey keine Messstation gibt, wurden Daten der Stationen Blonay und Guin ausgewählt. Es war nicht möglich, auf Daten zur Windgeschwindigkeit zuzugreifen.

Die Abbildung 12 zeigt fünf Proben von abgedeckten Stapeln am gleichen Standort, die bei drei verschiedenen Kampagnen (Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 11) zerkleinert wurden. Die kumulierten Niederschläge in zwei Wochen sind bei den Kampagnen 7 und 8 dreimal höher als bei der Kampagne 11, wenn man die von der Station Blonay (VD) erhobenen Daten vergleicht. Die beiden Proben rechts (Kampagne Nr. 11) weisen einen geringeren Wassergehalt auf, was angesichts der grossen Unterschiede beim Niederschlag kohärent erscheint. Es war nicht möglich, den Einfluss weiterer Parameter wie etwa des Standorts der Stapel zu untersuchen.



Abbildung 12: Proben vom gleichen abgedeckten Stapel, die in drei verschiedenen Kampagnen zerkleinert wurden. Die Niederschläge waren für die drei Werte auf der linken Seite deutlich höher.

### 3.2. Schätzung des finanziellen Ergebnisses der Planenabdeckung

Die vom Förster zur Verfügung gestellten Daten geben Aufschluss über die durchschnittlichen Kosten der Planenabdeckung seit 2015. Insgesamt betragen die Kosten für die Abdeckung von 15'810 m<sup>3</sup> 34'375 CHF respektive 2.26 CHF/m<sup>3</sup>p.

Auf der Grundlage des Ergebnisses eines Trocknungsgewinns von circa 4 Prozentpunkten und dem Einkaufspreis der Wärme in Rp/kWh Kesselausgang kann der Gewinn in CHF/m<sup>3</sup>p am LKW-Abtransportplatz geschätzt und mit den Abdeckungskosten verglichen werden, um das finanzielle Ergebnis der Massnahme zu ermitteln.

Basierend auf den Ergebnissen der Kampagnen 1, 3, 5 und 7 wird der durchschnittliche Wassergehalt der nicht abgedeckten Stapel auf 45 % und der durchschnittliche Wassergehalt der abgedeckten Stapel auf 41 % geschätzt. Der Heizwert wird ausgehend von Tabelle 12.3 des Planungshandbuchs QM Holzheizwerk® (Anhang 2) mit einer Mischung aus 60 % Nadelholz (Daten für Fichte) und 40 % hartem Laubholz (Daten für Buche) ermittelt.

In Kenntnis des Kaufpreises Kesselausgang (5.5 Rp/kWh), der Kosten für die Zerkleinerung (9.6 CHF/m<sup>3</sup>v) und der Abfuhr (3.8 CHF/m<sup>3</sup>v) ist es möglich, den Heizwertgewinn in einen Gewinn in CHF/m<sup>3</sup>p für am Lkw-Abtransportplatz bereitgestelltes Stammholz umzurechnen.

Die Berechnung ergibt einen Gewinn von ca. 1.7 CHF/m<sup>3</sup>p.

Was den Kesselbetrieb betrifft, so wurde die Beobachtung erwähnt, dass die Anzahl der Pannen deutlich zurückgegangen und die Kesselregelung einfacher geworden ist, seitdem ein grosser Teil der Stapel abgedeckt wurde.

Daraus lässt sich ein jährlicher Anstieg des Kesselwirkungsgrades um rund 2 Prozentpunkte ableiten (87 % mit und 85 % ohne Abdeckung). Die gleiche Berechnung ergibt dann einen Gewinn von 4.1 CHF/m<sup>3</sup>p für die Stammhölzer ab Abtransportplatz.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Kosten für die Abdeckung wahrscheinlich durch den Heizwertgewinn ausgeglichen werden oder dank einer Verbesserung des jährlichen Wirkungsgrades sogar ein leichter Gewinn erzielt wird. Der Gewinn hinsichtlich der reduzier-

ten Wartungskosten für den Netzbetreiber kann nur positiv sein, ist aber schwer abzuschätzen.

## 4. Fazit

Die erhaltenen Ergebnisse ergeben für die beschriebene Situation einen Trocknungsgewinn von rund 4 Prozentpunkten bei einer Abdeckung der Holzstapel mit verstärktem Papier.

Ein Vergleich zwischen dem Energiegewinn durch Trocknung und den Kosten der Abdeckung der Stapel ergibt angesichts der deutlich reduzierten Anzahl von Pannen, die zu einem besseren jährlichen Wirkungsgrad der Anlage führt, eine wahrscheinlich leicht profitable Massnahme.

Aufgrund ihrer Lage in den Voralpen weist die Region Charmey zwei Besonderheiten auf, die eine Abdeckung der Stapel rechtfertigen: eine relativ hohe Schneedecke im Winter, wie auf dem Foto auf der Titelseite dieses Berichts zu sehen, und ein bedeutender Anteil an Nadelhölzern, die nach dem Trocknen im Sommer rasch Feuchtigkeit aufnehmen.

Diese Studie allein kann nicht die Frage beantworten, ob die Holzstapel in einer Region abzudecken sind, die weniger schlechtem Wetter ausgesetzt ist als Charmey und über Wälder mit einem höheren Anteil an Laubbäumen verfügt (Ebene). Nur eine Studie dieser Art könnte unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Betrieb des Heizwerks die Antwort hierauf geben.

## 5. Anhang 1: Datentabelle

Datum	Betreiber	Erstellung Lkw-Abtrans	Planenabdeckung	Standort	Abdeckung	Probencode	Wassergehalt	Anmerkung
10.10.2017	rg	Sommer 2016		Frassy	0 (nein)	01-FR-0	44.8%	
10.10.2017	rg	Dez 16	26.04.2017	Sainte-Vierge	1 (ja)	01-SV-1	43.6%	
10.10.2017	rg	Nov 16		Petits Chômiaux	0	01-PC-0	44.0%	
10.10.2017	rg	Nov 15	29.12.2015	Fréd. Bussard	1	01-FB-1	35.5%	
31.10.2017	rg	Okt 14		Mollard	0	02-MO-0	50.3%	
22.11.2017	rg	Apr 15	28.09.2015	Invuettes	1	03-IN-1	41.0%	
22.11.2017	rg	Mai 15	28.09.2015	Invuettes	1	03-IN-1.2	44.1%	
22.11.2017	rg	Mai 15	(13.05.2015)	Invuettes	0	03-IN-0.3	48.5%	
05.12.2017	jmc	Jun 15	28.09.2015	Invuettes	(1)	04-IN-1.1	44.2%	Ein Jahr zuvor freigelegter Teil
05.12.2017	jmc	Jun 16	06.07.2016	Invuettes	(1)	04-IN-1.2	49.1%	Bis zum 22.11.2017 abgedeckter Teil + frischer Schnee
05.12.2017	jmc	Jun 16	06.07.2016	Invuettes	(1)	04-IN-1.3	51.8%	Bis zum 22.11.2017 abgedeckter Teil + frischer Schnee
19.12.2017	jmc	Apr 15-Dez 15	(29.12.2015)	Oberugg	0	05-OB-0.1	48.9%	Bis zum 22.11.2017 abgedeckter Teil + frischer Schnee
19.12.2017	jmc	Apr 15-Dez 15	(30.12.2015)	Oberugg	0	05-OB-0.2	39.5%	Ein Jahr zuvor freigelegter Teil
19.12.2017	jmc	Apr 15-Dez 15	31.12.2015	Oberugg	1	05-OB-1.1	41.3%	Ein Jahr zuvor freigelegter Teil
20.12.2017	jmc	Apr 15-Dez 15	29.12.2015	Oberugg	1	05-OB-1.2	39.7%	Siehe Fotos in Reitern 19.12.2017
28.12.2017	jmc	Apr 15-Dez 15	29.12.2015	Oberugg	1	06-OB2-1	39.5%	Siehe Fotos in Reitern 19.12.2017
09.01.2018	jmc	Apr 15-Dez 15	(29.12.2015)	Oberugg	0	07-OB3-0	46.2%	Ein Jahr zuvor freigelegter Teil
09.01.2018	jmc	Apr 15-Dez 15	29.12.2015	Oberugg	1	07-OB3-1	41.9%	
09.01.2018	jmc	Sep 15	07.10.2015	Liderrey hélíco.	1	07-LH1-1	43.0%	
23.01.2018	jmc	Apr 16	06.07.2016	Liderrey hélíco.	1	08-LH3-1.1	43.2%	
23.01.2018	jmc	Apr 16	06.07.2016	Liderrey hélíco.	1	08-LH3-1.2	44.0%	
06.02.2018	rg	Dez 17-Jan 18		Les Râpes	0	09-RA-0.1	46.6%	Jungschnitt
06.02.2018	rg	Dez 17-Jan 18		Les Râpes	0	09-RA-0.2	45.4%	
06.02.2018	rg	Dez 17-Jan 18		Les Râpes	0	09-RA-0.3	47.6%	
20.02.2018	jmc	Okt 17		Chaudalla	0	10-CH-0.1	49.9%	
20.02.2018	jmc	Okt 17		Chaudalla	0	10-CH-0.2	50.0%	
20.02.2018	jmc	Okt 17		Chaudalla	0	10-CH-0.3	46.4%	
20.03.2018	jmc	Apr 16	06.07.2016	Liderrey hélíco.	1	11-LH3-1.1	38.2%	
20.03.2018	jmc	Apr 16	06.07.2016	Liderrey hélíco.	1	11-LH3-1.2	40.3%	
20.03.2018	jmc	Feb 18		Les Râpes	0	11-RA-0.1	49.8%	Frischholz - Februar 2018
20.03.2018	jmc	Feb 18		Les Râpes	0	11-RA-0.2	50.3%	Frischholz - Februar 2018
04.04.2018	jmc	Feb 18		Les Râpes	0	12-RA-0.1	44.6%	Frischholz - Februar 2018
04.04.2018	jmc	Jun 17		Devin	0	12-DE-0.1	41.6%	Süden, Übergang Bise und Westwind
25.04.2018	jmc	Jan 18		Plan Féche	0	13-PLA-0	52.7%	Frischholz - Januar 2018
25.04.2018	jmc	Mrz 18		Les Riaux	0	13-RIX-0.1	48.5%	Frischholz - März 2018
25.04.2018	jmc	Mrz 18		Les Riaux	0	13-RIX-0.2	53.0%	Frischholz - März 2018
25.04.2018	jmc	Mrz 18		Les Riaux	0	13-RIX-0.3	45.1%	Frischholz - März 2018
15.05.2018	jmc	Feb 17		Châtel	0	14-CHA-0.1	39.1%	Hochpunkt, am Rand der Felswand
15.05.2018	jmc	Apr 18		Châtel	0	14-CHA-0.2	43.7%	Hochpunkt, am Rand der Felswand
15.05.2018	jmc	Feb 16		Châtel	0	14-CHA-0.3	48.4%	Achtung, Standort 500 m von den Proben 1 und 2 entfernt

## 6. Anhang 2: Referenzdaten zum unteren Heizwert.

Tabelle 12.3: Heizwert und Energieinhalt in Abhängigkeit vom Wassergehalt für verschiedene Baumarten und Masseneinheiten [75] (Heizwerte in kWh je kg Trockenmasse: 5,2 für Weichholz und 5,0 für Hartholz).  
<sup>1)</sup> Werte für kg Trockenmasse je fm ohne Trockenschwund (Raumdichte) nach Kollmann 1982 [76].

Wassergehalt in % Baumart/Dichte <sup>1)</sup>	Mass- einheit	Heizwert in kWh/kg und Energieinhalt in in kWh/fm, in kWh/rm und in kWh/Srm												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Fichte 379 kg <sub>trocken</sub> /fm <sup>1)</sup>	kWh/kg	5,20	4,91	4,61	4,32	4,02	3,73	3,44	3,14	2,85	2,55	2,26	1,97	1,67
	kWh/fm	1971	1957	1942	1925	1906	1885	1860	1832	1799	1760	1713	1656	1584
	kWh/rm	1380	1370	1360	1348	1334	1319	1302	1282	1259	1232	1199	1159	1109
	kWh/Srm	788	783	777	770	763	754	744	733	720	704	685	662	634
Kiefer 431 kg <sub>trocken</sub> /fm <sup>1)</sup>	kWh/kg	5,20	4,91	4,61	4,32	4,02	3,73	3,44	3,14	2,85	2,55	2,26	1,97	1,67
	kWh/fm	2241	2226	2209	2189	2168	2144	2116	2083	2046	2001	1948	1883	1802
	kWh/rm	1569	1558	1546	1533	1518	1500	1481	1458	1432	1401	1364	1318	1261
	kWh/Srm	896	890	883	876	867	857	846	833	818	801	779	753	721
Buche 558 kg <sub>trocken</sub> /fm <sup>1)</sup>	kWh/kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	kWh/fm	2790	2770	2748	2723	2695	2664	2627	2586	2537	2480	2411	2326	2221
	kWh/rm	1953	1939	1923	1906	1887	1864	1839	1810	1776	1736	1687	1628	1555
	kWh/Srm	1116	1108	1099	1089	1078	1065	1051	1034	1015	992	964	930	888
Eiche 571 kg <sub>trocken</sub> /fm <sup>1)</sup>	kWh/kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	kWh/fm	2855	2835	2812	2786	2758	2726	2689	2646	2596	2537	2467	2380	2273
	kWh/rm	1999	1984	1968	1951	1931	1908	1882	1852	1817	1776	1727	1666	1591
	kWh/Srm	1142	1134	1125	1115	1103	1090	1075	1058	1038	1015	987	952	909
Pappel 353 kg <sub>trocken</sub> /fm <sup>1)</sup>	kWh/kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	kWh/fm	1765	1752	1738	1723	1705	1685	1662	1636	1605	1569	1525	1472	1405
	kWh/rm	1236	1227	1217	1206	1193	1179	1163	1145	1123	1098	1067	1030	983
	kWh/Srm	706	701	695	689	682	674	665	654	642	627	610	589	562