

## Verkohlung von Restbiomasse aus forstlicher Nutzung zur stofflichen oder energetischen Verwendung



### Zusammenfassung

Die Studie sollte klären, ob die vor-Ort-Verkohlung eine geeignete Verwertungsmöglichkeit von schlecht verwertbarer Dendromasse forstlicher Quellen ist. Es wurden Standortsbedingungen bzw. Schnittgutvarianten ausgewählt, die aus Gründen der schlechten Verwertbarkeit bisher oft verbrannt oder liegen gelassen werden mussten.

#### Einsatzorte und Gründe der bisher fehlenden Verwertungslösung:

- A) Randstreifenpflege an Waldwegen:** zu schlechte Hackschnitzelqualitäten bzw. zu geringe Mengen für Hackschnitzel-Lohnunternehmen (**Abb. 1 – 6**)
- B) Christbaumkultur:** Verarbeitung herausgewachsener Christbäume: zu geringe Mengen für Hackschnitzel-Lohnunternehmen (**Abb. 10 – 15**)
- C) Restholz aus der Holzernte,** jedoch ohne Hackschnitzelqualitäten (Material, das noch nach der Hackschnitzelaufbereitung liegen bleibt) (**Abb. 16 – 22**)

Im Zuge der Verkohlungsversuche wurde die technisch-zeitliche Machbarkeit des Verfahrens betrachtet und auf Eigenschaften der Standorte, Biomasse sowie der resultierenden Kohlequalität bezogen. Daneben wurden Kriterien betrachtet, die für die Einschätzung der Rentabilität der Anlagentechnik herangezogen werden können.

Die Ergebnisse sind nach folgenden Kriterien aufgelistet (a – g).

**a) Zugänglichkeit/Durchführbarkeit der Verkohlung, Standorts- und**

**Wetterabhängigkeit.** Aufgrund eines gewissen Standplatzbedarfs der mobilen Verkohlung wären kleine Waldwege (**Abb. 1**) zu eng für den Einsatz eines Carbo-Mob-Vehikels; nötig sind Standplätze mit mindestens 4 m Breite; aufgrund von Funkenflug aus dem Kamin sollte zudem ein Sicherheitsabstand zu den Baumkronen möglich sein. Ideal sind freie Plätze. Besonders vorteilhaft sind Standplätze mit festem Untergrund (**Abb. 14, 20**).

Grundsätzlich kann „mobile Köhlerei“ nur an regenfreien Tagen eingesetzt werden. Die Wetterabhängigkeit wird zusätzlich durch Wind bestimmt. Ein Betrieb bei über 6 m/sec Windstärken ist nicht mehr möglich. Auch auf die Windrichtung ist zu achten. Schon ein leichter Luftzug, der gegen die grundsätzliche Abgasrichtung drückt, stört den Betrieb, sodass die Anlage nach Ankunft zunächst ausgerichtet werden muss.

Der Einsatz des Carbo-Mob-Systems wäre aus organisatorischen und ökonomischen Gründen auszuschließen, wenn nicht sämtliche Hilfsgeräte auf einer einzigen Fahrt zum Einsatzort transportiert werden könnten. Hierfür nötig ist ein Transport- bzw. Zugfahrzeug mit einer mindestens 4 m langen Ladefläche um Gerätschaften wie Häcksler, Hackschnitzel- bzw. Kohlebehälter und diverse Hilfsgestänge unterzubringen. Zudem muss der Transporter stark genug sein, um den 1,7 t schweren Carbo-Mob-Anhänger auch auf unbefestigtem Gelände (Wiesenweg) ziehen zu können.

**b) Vorbedingungen für geeignetes Schnittgut bezüglich Mindesttrockengrad und zeitlicher Planung**

Für den geforderten Mindesttrockengrad muss das Schnittgut im Freiland luftig gelagert werden können. Für die Lufttrocknung erwies sich das einzelne Belassen von Ästen oder Stammabschnitten als vorteilhafter als das dichte Aufhäufen von frischem Reis (besonders bei Nadelholz, vgl. **Abb. 10**). Einen optimalen Trockensubstanzgehalt hatte luftig gelagertes Christbaumreis (**Abb. 13**) sowie in Asthaufen gelagerte Laubholzstangen (**Abb. 2 und 3**) und oberliegende Äste im Restholzhaufen der „Waldholzernte“ (**Abb. 21**). Die Trockensubstanzgehalte lagen zwischen 72 und 82 Prozent. Hackschnitzelvielse, die über den Asthaufen aus der Randstreifenpflege gelegen hatten (**Abb. 3, 5**), verbesserten den Trockengrad um 4 Prozent.

Dendromasse, die dicht mit Nadelmasse liegt, trocknet nur schwer bzw. saugt sich im Gegenteil mit Wasser voll (**Abb. 17 – 19**), sodass Hackschnitzelvliese vermutlich nur direkt nach der Aufschichtung frischer, dicht belaubter Nadelholz-Äste eingesetzt werden können (wurde nicht getestet). Bei Laubholz (s. Standort Randstreifenpflege) ist das Problem des Luftabschlusses durch Blätter im aufgeschichteten Asthaufen um einiges geringer, da sowohl das Blattmaterial schneller trocknet als auch der Blattfall schneller abläuft. Frisches Reis, das in einem Zug geschnitzelt und angehäuft wird, trocknet jedoch auch unter Vliesen sehr schlecht ab (**Abb. 12**).

Allgemein gilt, dass das Material unter Sonneneinstrahlung (d.h. am Sammelplatz, **Abb. 17**) besser abtrocknet als unter Baumkronen.

Von der zeitlichen Planung her ist auch am offenen Sammelplatz mit 6 – 8 Monaten Trocknungszeit zu rechnen. In höheren Lagen wie im Schwarzwald können Schneedecken die Abtrocknung stark verlangsamen (**Abb. 19**), ein Nachteil, den auch kein Vlies abwehren könnte.

### c) Vorbedingungen für geeignetes Schnittgut bezüglich der Zerkleinerung

Mehrere Argumente sprechen für die Zerkleinerung der Äste mit einem selbst mitgeführten Häcksler. Wie an den Standorten mit den Ansprechpartnern diskutiert, kommt die Beauftragung eines Lohnunternehmens vom Sortiment her und angesichts der geringen Schnittgutmengen nicht in Frage.

Für die Studie konnte an zwei Standorten ein Häcksler getestet werden, der trotz geringem Invest mit einer Verarbeitung von 3 – 5 cbm Ästen pro Stunde eine gute Kapazität aufweist (**Abb. 21**). Dies bedeutet jedoch eine Einschränkung auf Aststärken von 5 cm im Durchmesser (generell ist der Häcksler auf 5 cm Astdurchmesser bei Trockenästen und 7 cm bei Frischmaterial ausgelegt), sodass ein Teil des Restholzes höherer Dimension für diese Verwendung ausscheidet. Der „Ästebrecher“ der Fa. Bystron arbeitet am vorteilhaftesten bei Aststärken zwischen 3 und 5 cm. Im Fall dünner Äste ist das Häckselergebnis bei Nadelholz sehr viel besser als bei Laubhölzern wie Pappel oder Weide. Letztere liegen nach der Häckselung offenbar aufgrund ihrer Biegsamkeit oft noch in längeren Triebabschnitten vor (bis 30 cm), was für die Einförderung in den Verkohlungssofen hinderlich ist.

Das vorherige Aufschichten passgenauer Äste bestimmt stark den Durchsatz und damit die Effizienz solcher Kleingeräte.

### d) Analytik Pflanzenkohlen

Die Kohlen erwiesen sich nach den Kriterien der deutschen Düngemittelverordnung und nach den von der Europäischen Biochar Certification vorgeschlagenen Standards für Pflanzenkohlen als unbelastet von Schadstoffen wie Schwermetalle, PAK, PCB und AOX, sodass nach dieser Einschätzung sämtliche im Carbo-Mob produzierten Kohlen für Böden verwendet werden können.

**e) Frage der Beimengung von Kohle in Holzbriketts zur Heizwerterhöhung**

Für den Test „energetische Verwendung von Biokohle als Holzbrikettzusatz“ musste die Kohle zunächst stark vorgetrocknet werden, da sie durch das Ablöschen mit Wasser direkt nach der Herstellung einen sehr hohen Feuchtegehalt aufwies (mehr als 60 %). Der Versuch, die Kohle ähnlich wie Hackschnitzel über die Carbo-Mob-eigene Abwärmetrocknung zu trocknen, schlug fehl. Offenbar verhindert die dichte Lagerung der Kohlepartikel den ungehinderten Luftabzug. Erfolgreich war jedoch die Trocknung mit Abwärme aus einer nahe gelegenen Biogasanlage. Da der erforderliche Trockengrad jedoch mindestens 95 % sein musste und die Abwärmetemperatur 30 Grad Celsius nicht überschritt, dauerte der Trocknungsprozess entsprechend lange. Erst als der Trockengrad erreicht war, konnte die Kohle im Pelletwerk Kehl verwendet werden. Zur Veredelung von Holzbriketts führte dort die Fa. Bioenergie Helix GmbH Pressversuche mittels einer Extruderbrikettpresse durch und zwar unter Beimischung von 30 Gew.% Pyrolysekohle.

Wie schon im gesonderten Schreiben berichtet, kam es bei der Pressung leider nicht zum gewünschten Ergebnis. Es erfolgte ein ausgiebiger Bericht durch Bioenergie Helix. Kernpunkt ist, dass sich das Loch in der Brikettmitte durch den beim Pressvorgang frei werdenden Kohlestaub verstopft. Dies hat zur Folge, dass der beim heiß durchgeführten Pressvorgang entstehende Wasserdampf nicht entweichen kann. Unter Temperatur und Druck staut sich somit der Wasserdampf bis zur explosionsartig Entspannung an (Kohlestaubwolke, die am Brikettende aus dem Zylinder geschleudert wird). Möglicherweise ist hier ein hydraulisches Pressverfahren zielführender.

Die Verwendung der Kohle für energetische Zwecke in Form der Mitverwendung in Holzbriketts hat sich mit der vorliegenden Brikettierungstechnik daher als technisch nicht machbar herausgestellt.

Zudem wären auf diesem Markt viel zu geringe Erlöse möglich, da sich der Kohlepreis am Energiegehalt des Brennguts festmacht. Zwar ist der Heizwert von Carbo-Mob-Kohlen hoch (29 – 31 MJ/t), jedoch liegt der Einkaufspreis unter 23 ct/kg Kohle.

**f) Kriterien/Prognosen für die Rentabilität**

Die Zerkleinerung in Eigenregie ist ökonomisch von Vorteil, insbesondere wenn der gesamte Anlagebetrieb von einer Person durchgeführt wird. Dies ist nach kleineren Änderungen in der Förderautomatik durchaus denkbar, erfordert aber Erfahrung mit den Reaktionszeiten zwischen Schnittgutnachlieferung und Kohleauslieferung. Deren Einschätzung ist aufgrund des allermeist heterogenen Schnittguts nicht einfach und bedarf einer gelegentlichen Anpassung der Fördergeschwindigkeit.



Auch wenn bei der Entwicklung des Carbo-Mob-Anhängers ein besonderes Augenmerk auf einen schnellen Vor-Ort-Auf- und Abbau gelegen hatte, führen die vielfältigen Funktionsteile - angefangen mit der Vortrocknung und Förderung der Hackschnitzel bis hin zur Kohlelöschung – zu einem erheblichen Zeitaufwand für die Inbetriebnahme der Anlage nach der Ankunft am Einsatzort. Für die Rentabilität spielt dies eine große Rolle, sodass davon auszugehen ist, dass sich nur Asthaufenvolumina lohnen, mit denen die Anlage mehr als einen Tag lang beschäftigt ist. Das von einer etwas größeren, noch fahrbaren und handhabbaren Anlage in zwei Tagen zu verarbeitende Astvolumen liegt schätzungsweise bei 10 – 15 cbm.

Insgesamt ist die Rentabilität aufgrund des hohen Aufwands sicher schwer zu erreichen. Anlagen, die in die Nähe wirtschaftlicher Tragfähigkeit kämen, wären mit Sicherheit nur mit einer **etwas größeren Anlage** möglich (statt BiGchar1000 wie in der Studie mindestens BiGchar1200 oder BiGchar1500, d.h. 1,50 Meter Ofendurchmesser – noch größere Durchmesser wären im Mobilbetrieb von der Handhabung und Sicherheit her nicht mehr möglich).

Die zweite Maxime ist, dass das Kohleprodukt **hochpreisig** verkauft werden kann. Dies wäre ausschließlich in alternativen Verwendungsrichtungen, d.h. außerhalb der energetischen möglich. Wie sich in fortlaufenden Probeverkäufen mit Ausrichtung der Bodenverbesserung zeigte, ist für Gebinde unter 100 Liter ein hoher Kilopreis zwischen 3 und 3,50 Euro erzielbar. Immer populärer wird derzeit auch die Verwendung von Holzkohle für die Tiergesundheit. Ob sich jedoch der lokale Verkauf von Pflanzenkohle aus der Vor-Ort-Verkohlung langfristig durchhalten ließe, hängt stark davon ab, was Anwender in der weiteren Zukunft für das regional hergestellte und ökologisch vorteilhafte Produkt zu zahlen bereit sind. Für größere Abverkäufe zur Anwendung in der Landwirtschaft wäre die Carbo-Mob-produzierte Kohle sicher zu teuer.

Mit zunehmender Popularität der Kohleverwendung für Böden und andere Zwecke drängen auch andere, billigere Anbieter auf den Markt und machen sich mit Online-Angeboten die immer noch niedrigen Transportkosten zunutze. Dagegen steht klar der ökologische Mehrwert von regional aus restlichen Dendromassen hergestellter Kohle. Der Mehrwert hat verstärkte Gültigkeit, weil das Material überhaupt einer Verwertung zugeführt wurde und weil im Fall offener Verbrennung Luftemissionen verhindert wurden.

Im Fall der **Christbaumkultur** schlug der Ansprechpartner ein Entgelt für die gleichzeitige Flächensäuberung vor, was zu diskutieren ist. In der Tat könnte dies die unentgeltliche und ganz auf den Kohleverkauf angewiesene Verkohlung rentabler machen. Allerdings wären hierfür größere Häcksler notwendig, die wiederum Nachteile aufgrund ihres höheren Invests (ca. 15.000 €) und höherer Fahrtkosten bedeuteten.

Am Standort „**Randstreifenpflege**“ liegt ebenfalls das Problem des Einsammelns vor. Für die Entbuschung werden regulär Lohnunternehmen beauftragt. Der Schnitt selbst wird bezahlt, während die Frage des Entfernens offen bleibt. Dies muss aber geschehen, um die Wegefahrbarkeit zu gewährleisten.

Im Projektbeispiel wurden die Äste vom Forstamt selbst zu einem zentralen Sammelplatz gebracht. In der Diskussion über die Kosten wurde jedoch klar, dass das Verkohlungsunternehmen hierfür nichts bezahlen könnte. Der Eigenbetrieb einer Verkohlungsanlage wäre für den Forstbetrieb wegen der Anschaffungskosten selbst jedoch nicht lohnenswert.

Die Frage stellt sich, ob der Schnitt erst so spät gemacht werden könnte, dass ein Holzvolumen zusammen käme, bei dem im ersten Durchgang das Reisig (< 5 cm Astdurchmesser) vom Verkohlungsunternehmen selbst eingesammelt und am nahgelegenen Wegekrenz oder geeigneten Platz verkohlt werden könnte, während die dickeren Abschnitte für die Verwertung durch Selbstwerber (kleine Hackunternehmen) übrig bleiben. Durch die Vorselektion wäre das Angebot für letztere Unternehmen attraktiver. Für die Verwertungsabfolge „Dünnes für Verkohlung, Dickes für Hackschnitzel“ hätten das FA oder der Waldbesitzer keine Ausgaben für das Entfernen von der Fläche. Voraussetzung wäre allerdings, die Aststärkentrennung schon beim Schnitt vorzunehmen.

Das Szenario würde von der Leichtigkeit und Flexibilität der Schnittgut-Zulieferung im Verkohlungsdurchgang profitieren, denn im Gegensatz zum Verwertungsgang dickerer Astabschnitte durch Hackunternehmen, wo Kran- und Hebemechanik notwendig werden, kommt die Verkohlungsseite mit kleineren und flexiblen Geräten aus (Handwagen, Kleinhäcksler auf Rollen, Hubwagen für Hackschnitzelbehälter mit halbkontinuierlicher Zulieferung an der Verkohlungsanlage usw.).

- g) Die Frage, ob das neue Verwertungsangebot unter Umständen zu einem vermehrten Nährstoffentzug an Waldstandorten führen könnte, muss für die beprobten Standorte verneint werden. Es handelte sich jeweils um Dendromassen, die aus ihren Ernte- oder Pflegeorten entfernt werden, „um aus dem Weg zu sein“ (s. **Abb. 1 und 10**) oder weil sie als „Ausschuss“ auf Sammelplätzen lagern und weder als Heiz-Hackschnitzel verwendbar noch an ihren Ursprungsstandort zurückgekommen wären (**Abb. 19 und Titelbild**). Da mobile Anlagen hinsichtlich Größe und Gewicht beschränkt bleiben müssen und die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit per se hoch ist, könnten sie schon aus Kapazitätsgründen keine Gefahr für einen zusätzlichen Nährstoffentzug in einer Region darstellen.**



## Literatur

*Beschreibungen der Anlagentechnik und Verkohlungseigenschaften der Kohlen sowie Einsparungen von Luftemissionen gegenüber der offenen Verbrennung siehe folgende frühere Studien:*

**Holweg C. (2014)** Verwertung von Biotoppflegetgut durch mobile Biomasse-Verkohlung, Abschlussbericht April 2014; Studie unterstützt durch den LNV (Landesnaturaenschutzverband Baden-Württemberg): <http://lnv-bw.de/biotop-pflege-durch-biomasse-verkohlung/>

**Holweg C. (2014)** Carbo-Mob: mobile Verkohlung für Restschnittgut aus Landschaftspflege, Wein- und Obstbau (6 MB), Abschlussbericht Mai 2014, Projektförderung durch badenova Innovationsfonds für Wasser- und Klimaschutz:  
[www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche\\_1/stab\\_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2011\\_10/2011-12\\_AB\\_mobile\\_Verkohlung.pdf](http://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2011_10/2011-12_AB_mobile_Verkohlung.pdf)

**Holweg C. (2013)** Studie zur Produktion und Anwendung von Pflanzenkohle im Stoffkreislauf eines Obstbaubetriebs: Pflanzenkohle als Zusatz bei der Kompostierung (2013) Abschlussbericht Dezember 2013, Studie unterstützt durch Innovationsgutscheine BW; [http://carola-holweg.de/tl\\_files/carola\\_holweg/downloads/Pflanzenkohle%20als%20Zusatz%20bei%20der%20Kompostierung%20Obsthof.pdf](http://carola-holweg.de/tl_files/carola_holweg/downloads/Pflanzenkohle%20als%20Zusatz%20bei%20der%20Kompostierung%20Obsthof.pdf)

Die vorliegende Studie wurde von März 2014 bis Juni 2015 im Rahmen des Programms „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ (RWB) Teil EFRE in Baden-Württemberg (Förderrichtlinie Cluster Forst und Holz) durchgeführt u. zu 60 % der Gesamtkosten unterstützt.

Besonderer Dank gilt den ersten Ansprechpartnern der Studienstandorte und Arbeitspakete: Forstamt Nagold mit Klaus Kälber (Standort A); Thomas Schuler: Christbaumkultur, Buchenbach/Malterdingen (Standort B); Josef Ketterer, Jostal, Titisee-Neustadt (Standort C).

Für die Kooperation zur Brikettierung: Michael Leenen von Bioenergie Helix GmbH. Für den Austausch zur Restholzthematik: Benjamin Engler (Forstbenutzung, Universität Freiburg).

Dank ebenfalls für die gute Betreuung der finanziellen Abwicklung seitens der L-Bank sowie den Ansprechpartnern des Programms CFuH.

Die Veröffentlichung dieser Zusammenfassung erfolgt auf [www.carola-holweg.de](http://www.carola-holweg.de).

gez.: Carola Holweg, Merzhausen, Juni 2015