



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Wald

Referenz/Aktenzeichen: J204-3021

Holzasche und Wald

Auslegeordnung und Bericht zum BAFU-Workshop vom 24. März 2010

Im Haus des Sports in Ittigen

Autoren:

Bericht: Sabine Augustin, Andreas Bernasconi, Claire-Lise Suter (25. Juni 2010)

Auslegeordnung: Sabine Augustin, Claire-Lise Suter und Abt. Recht (19. März 2010)

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	3
2. Ausgangslage	3
3. Einschätzung der Ausgangslage der BAFU-Abteilungen Wald, Boden, Luft	4
4. Ergebnisse der Gruppendiskussionen	7
5. Fazit	10
6. Anhang	14
(a) Erste Schätzung der Waldflächen mit Kompensationsbedarf	13
(b) Liste der Teilnehmenden am Workshop vom 24.03.2010	14
(c) Zum Stand des Wissens: Auslegeordnung Holzasche – Wald	16

1. Einleitung

Das Thema „Holzasche und deren mögliche Verwertung“ wird derzeit in verschiedenen Projekten behandelt oder Projekte sind in der Beantragungsphase beim BAFU. Im Internationalen Kontext ist die Thematik „Holzascheverwertung und -Rückführung“ von hoher Aktualität und viele Länder suchen Lösungsansätze (D, A, I, B) oder verfügen über langjährige Erfahrungen (S, F). Das Thema betrifft verschiedene Bereiche und Akteure (Praxis, Vollzug, Forschung). Die Abteilung Wald des BAFU regte daher einen Workshop zu allen Aspekten des Themas an, da langfristig eine Strategie zum Umgang mit der Holzasche erarbeitet werden soll. Der Anlass am 24. März unter dem Titel „Holzasche und Wald“ stiess mit insgesamt 29 Teilnehmenden aus Verwaltung, Forschung und Praxis (Betriebe, Verbände) auf reges Interesse (vgl. Teilnehmerliste im Anhang).

Mit dem Workshop wurden folgende drei Ziele verfolgt:

- einen Überblick über den Stand der Aktivitäten und die am BAFU laufenden Vorhaben zum Themenkomplex „Holzasche und Wald“ gewinnen.
- Erfahrungen betreffend der Möglichkeiten und Grenzen der Rostascheverwertung aus unbehandeltem Energieholz zusammentragen.
- Schaffung von Grundlagen für eine BAFU-Strategie „Holzasche und Wald“ (Handlungsbedarf, Ziele, Mitteleinsatz) .

Der halbtägige Workshop war in vier Teile gegliedert:

- Darstellung der Ausgangslage mit Referaten von Claire-Lise Suter (BAFU / Wald), Sabine Augustin (BAFU / Wald), Werner Landolt (WSL) und Walter Flückiger (IAP).
- Klärung der Ziele aus Sicht des Bundes mit Referaten von Martin Schiess (BAFU / Luft), Christoph Wenger (BAFU / Boden) und Rolf Manser (BAFU / Wald).
- Diskussion ausgewählter Fragen in drei Arbeitsgruppen .
- Präsentation der Ergebnisse und Schlussdiskussion im Plenum.

Geleitet wurde der Anlass von Claire-Lise Suter und Sabine Augustin der Abt. Wald, die Moderation oblag Andreas Bernasconi vom Büro Pan.

Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse aus den Diskussionen und Gruppenarbeiten zusammengetragen. Es handelt sich somit nicht um einen Synthesericht, sondern um eine erste Auslegeordnung der geführten Diskussionen.

Ist nachfolgend von Asche die Rede, sind immer Rostaschen aus unbehandeltem Holz gemeint, welche aus Feuerungen stammen, mit einer Leistung grösser als 70 kW.

2. Ausgangslage

Der aktuelle Stand des Wissens und die Rechtslage in der Schweiz wurden vor dem Workshop zusammengefasst und den Teilnehmenden zugestellt. Diese Auslegeordnung (siehe Anhang) war die Grundlage für die thematische Einführung von Claire-Lise Suter und Sabine Augustin.

Die Referate von Werner Landolt (WSL) und Walter Flückiger (IAP) befinden sich im Anhang.

Die im Auftrag des BAFU erarbeitete Literaturstudie von Werner Landolt ist auf der Website des BAFU aufgeschaltet: <http://www.bafu.admin.ch/wald/01234/01240/index.html?lang=de>

3. Einschätzung der Ausgangslage der BAFU-Abteilungen Wald, Boden, Luft

Rolf Manser, Leiter der Abteilung Wald:

Der Bund (BFE) fördert die Holzenergie aus klimapolitischen Gründen. Für die zunehmenden Mengen an Holzasche (insg. knapp 40'000 t/a) gibt es derzeit kein Konzept der Verwertung. Rostasche aus unbehandeltem Holz (insg. ca. 15'000 t/a) ist ein Rohstoff mit Nährstoffen und gewissen Schadstoffen, dessen Entsorgung auf Deponien dem Kreislaufgedanken widerspricht. Eine Verwendung als Dünger bzw. zur Kompensation von Nährstoffverlusten im Wald bietet sich an, da Holzasche in seiner Zusammensetzung Düngerqualitäten aufweist, sofern das Schadstoffproblem gelöst werden kann.

In den letzten 50 Jahren hat sich der Stickstoffeintrag verdreifacht. Der UNECE Grenzwert für Stickstoff von 10-20 kg je Hektar und Jahr wird im Wald überschritten mit Folgen für den Stoffhaushalt der Wälder und die Ernährung der Bäume. Eine Rückführung von Asche in den Wald wäre keine Entsorgung sondern eine Kompensationsmassnahme zum Ausgleich von Nährstoffdefiziten im Wald; in diesem Sinne wäre sie eine sinnvolle Verwertung der Holzasche. Es käme nur qualitätskontrollierte karbonatisierte Asche aus naturbelassenem Holz in Frage. Die Asche könnte z.B. auf sauren Standorten ausgebracht werden. Empfehlungen zur Auswahl entsprechender Standorte wurden im Ausland erarbeitet. Eine Aschegabe könnte z.B. 3-5 Jahre nach dem letzten Eingriff erfolgen, maximal alle 25 Jahre auf demselben Standort.

Sollte in der Schweiz Holzasche zur Kompensation von Nährstoffverlusten im Wald eingesetzt werden, müssten zunächst die Entscheidungsgrundlagen für die Bedarfsermittlung verbessert werden. Nährstoffbilanzen für repräsentative Standortseinheiten wären ein wichtiges Hilfsmittel dafür. Die Anpassung der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung wäre einzuleiten und / oder die Technische VO über Abfälle. Die Akzeptanz einer Nährstoffrückführung in den Wald müsste in der Bevölkerung verankert werden insbesondere bei einer Ausbringung aus der Luft.

Martin Schiess (Leiter der Abteilung Luftreinhaltung und NIS):

Brennstoffe nach Luftreinhaltverordnung (LRV) sind (i) naturbelassenes Holz (inkl. Sägerei-Holz), das in Standard-Feuerungen verbrannt wird, sowie (ii) Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie, das in Restholzfeuerungen mit mind. 40 kW verbrannt wird. Nicht LRV-Brennstoffe sind Altholz (→ Altholzfeuerung, mind. 350kW) und sog. problematische Holzabfälle, die in der KVA entsorgt werden. Theoretisch ist die Qualität der Holzasche in der Standardfeuerung besser als in der Restholzfeuerung/Altholzfeuerung. Allerdings werden jährlich ca. 30'000 t Abfall illegal verbrannt (Summe von Bauabfallverbrennung, Abfallverbrennung im Garten und Abfallverbrennung im Haus).

Das Interesse der Luftreinhaltung liegt nicht per se an der Asche, sondern an der Möglichkeit, aus der Asche auf Brennstoffmissbrauch zu schliessen.

Bei der Umsetzung der LRV liegt der Fokus bezüglich Holzasche eher auf Anlagen <70kW, in denen nur naturbelassenes Holz verbrannt werden darf und entsprechend dem Brennstoffmissbrauch begegnet werden soll (z.B. Innerschweizer Vollzugsmodell).

Die bisherigen Aktivitäten der Abteilung Luft sind:

EMPA Ascheschnelltest, 2001

- Vorort-Analyse durch Vollzugspersonen (Dauer ca. 30min.)
- nass-chemische Analyse: Blei, Zink, Chlor
- umfassende chemische Laboranalyse bei negativen Schnelltestergebnissen
- Beteiligung: BAFU-Wald, div. Lufthygienefachstellen u.a.

Labor der Urkantone / EMPA, seit 2007: Methode mobile Röntgenfluoreszenz

- Probenahme durch Vollzugsperson und Analyse im Labor (automatisiert)
- Analyse am Feststoff: Fingerprint div. Elemente (u.a. Blei, Zink, Kupfer, Aluminium, Titan)
- Beteiligung: BAFU-LUNIS

Validierung der RFA-Methode: geplantes Projekt der Zentralschweizer Umweltdirektionen:

- vorgeschlagene Beteiligung Bund: mögliche Aufteilung auf BAFU (LUNIS, Wald, Abfall) und BFE

Als Fazit wurde festgehalten: Bei kleineren Anlagen ist die Brennstoffkontrolle bzw. Aschequalität schwierig zu Handhaben (Risiko der illegalen Abfallverbrennung). Bei eher grösseren und professionell betriebenen Anlagen könnte eher eine Qualitätskontrolle eingeführt und wenn nötig eine räumlich-zeitliche Trennung von naturbelassenem und nicht-naturbelassenem Holz erreicht werden.

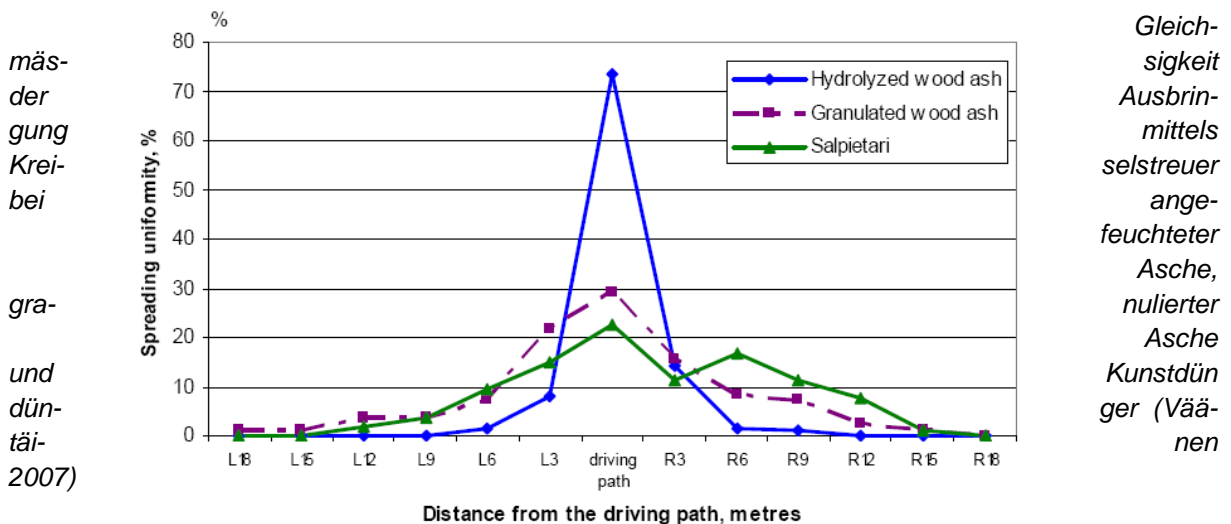
Christoph Wenger (Leiter der Abteilung Boden):

Herr Wenger berichtete über die Voraussetzungen für das Ausbringen von Asche aus unbelastetem Holz im Wald. Aschen von unbelastetem Holz sind Abfall, daher müssen sie nach (Art. 7 Abs. 6 USG), umweltverträglich nach dem Stand der Technik (Behandlung, Verwertung, Ablagerung) entsorgt werden. Es gilt die Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Bis 31.12.2009 konnte die Ablagerung nur auf Reaktordeponien erfolgen, seit 1.1.2010 können Aschen auch auf Inertstoff-Deponien entsorgt werden. TVA, Anhang 1, Ziffer 11: „Als Inertstoffe gelten, soweit keine Hinweise auf deren Verschmutzung durch andere Abfälle vorliegen, folgende Abfälle“ Buchstabe c. „von naturbelassenem Holz aus Sägereien stammende Bettaschen; sie dürfen höchstens einen Anteil von 5 Gewichtsprozent an der jährlich abgelagerten Menge Abfälle auf der Inertstoff-Deponie ausmachen“. Aschen von unbelastetem Holz erfüllen nach einer chemischen Analyse die Anforderungen der TVA an Inertstoffe nicht, da sie meist zu hohe Schwermetallgehalte (insb. Cr^{VI}) und zu hohe Anteile an löslichen Salzen haben. Daher gab es zunächst Widerstand gegen diese Regelung, der nach Rücksprache mit den Kantonen aber beseitigt werden konnte. Aschen werden nun in der Positivliste für Inertstoff-Deponien geführt. Sie sind für Verwertungen jedoch vorgängig zu behandeln.

Für die Verwertung von Aschen als Recyclingdünger sind folgende Qualitätsanforderungen zu beachten:

- Dünger dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) zugelassen sind (Dünger-Verordnung, DüV)
- Sie dürfen bei vorschriftsgemäsem Gebrauch keine unannehmbaren Nebenwirkungen zur Folge haben und weder die Umwelt noch mittelbar den Menschen gefährden.
- Die Dosierung ist in der Gebrauchsanweisung festzulegen.

Bei der Ausbringung ist auf eine möglichst gleichmässige Ausbringung zu achten. Die Ausbringung mit einem Kreiselstreuer zeigt beispielhaft die Abbildung 1:



Das Ausbringen von Düngern aus der Luft muss vom Bundesamt für Zivilluftfahrt im Einvernehmen mit dem BAG, dem BLW und dem BAFU bewilligt werden (Art. 4 ChemRRV). Das Bewilligungsverfahren ist in der Wegleitung von 1998 festgelegt. Die Bewilligung ist zeitlich befristet und geografisch begrenzt.

Die Voraussetzungen für einen Einsatz von Holzasche als Dünger sind:

- Recyclingdünger aus Asche brauchen eine Zulassung des BLW
- Anforderungen der DüV und der ChemRRV müssen erfüllt sein
- Keine unannehmbaren Nebenwirkungen oder Gefährdung von Menschen und Umwelt
- Eine gleichmässige Verteilung und Dosierung muss gewährleistet sein
- Sicherheitsabstand zu Gewässern ist einzuhalten
- Anwendungen aus der Luft brauchen eine Bewilligung des BAZL

Aus Sicht der Abfallwirtschaft sollte Asche nur verwertet werden, wenn der Bedarf zum Ersatz eines Primärrohstoffes nachgewiesen ist und nicht der Wille zur (meist billigeren) Entledigung im Vordergrund steht. Asche ist hier allenfalls als Bodenverbesserer geeignet (pH-Erhöhung), aber nicht als Dünger (kaum N, fast kein P, wenig K, dafür aber Schwermetalle). Die Asche muss vorgängig behandelt werden (Cr^{VI} mit Fe-2-Sulfat gefällt, Salzentfrachtung durch Wäsche – analog zu Bohrschlämmen, Jettingschlämmen etc. = gleich lange Spiesse!). Weiter erforderlich ist, dass jede Charge vor der Verwertung beprobt und analysiert wird.

4. Ergebnisse der Gruppendiskussionen

Im dritten Teil des Workshops wurde in drei Gruppen diskutiert: (A) Aschezusammensetzung, (B) Verwertungspfade und Technik und (C) Ausbringung im Wald. Zu jedem Thema wurden der Handlungs- und Regelungsbedarf, die Forschungslücken und der Informationsbedarf erörtert. Im Folgenden werden die wichtigsten Argumente wiedergegeben, wobei Informationsbedarf und die Forschungslücken zusammengefasst sind.

In jeder Arbeitsgruppe wurden die Teilnehmenden zunächst nach den aus ihrer Sicht dringlichsten Themen gefragt, wie sie sich ihnen nach den Eingangsreferaten darstellten:

- Immer wieder wurde auf die Aschequalität in Bezug auf Schadstoffe hingewiesen. Bedenklich erscheinen die oft hohen Chrom(VI)gehalte.
Chrom(VI) lässt sich durch technische Massnahmen reduzieren. Es wird in Waldböden unter reduzierenden Bedingungen schnell in ungiftige Formen überführt.
- Phosphor liegt in der Asche als Apatit vor, das in sehr basischen Milieus unlöslich ist. Es wurden Bedenken geäußert, dass das P damit nicht pflanzenverfügbar sei.
In sauren Waldböden wird Apatit jedoch gelöst und steht den Pflanzen als langsame P-Quelle zur Verfügung.
- Soll Asche als Rohstoff oder Dünger verwendet werden, so muss der vollständige Produktionsprozess qualitätskontrolliert werden.
Die Asche-Qualitätsstreuung ist sehr gross, die Hauptursachen sind Brennstoffmissbrauch sowie unvollständige Verbrennung.
- Die vielfältigen Möglichkeiten der Asche-Verwendung¹ (Dünger, Düngergrundstoff, Deponierung) hängen von den Nährstoff- und Schadstoffgehalten in der Asche ab. Die am Workshop betrachtete Holzasche entspricht nicht den Düngergrenzwerten, da die Schadstoffgehalte oft zu hoch waren. Ein weiterer Einflussfaktor sind die kleinen zerstreut anfallenden Mengen Asche.
- Für die Verwendung als Dünger / zur Kompensation von Nährstoffverlusten sollte die Art der Ausbringung und der Bedarf geklärt werden. Das betrifft die potenziell in Frage kommende Fläche sowie die auszubringende Menge und die Verteilung. Ziel sollte immer der Ausgleich von Nährstoffverlusten (Bodenversauerung) sein, nicht die Steigerung der Produktivität.
- Ascheausbringung zu Versuchszwecken ist aus Sicht der Waldabteilung mit einfacher Bewilligung durchführbar. Für andere Zwecke (Kompensation etc.) müsste das Düngeverbot im Wald geändert werden. Dies wäre ohne TVA-Änderung und damit einer Änderung der bisherigen Abfallpolitik nicht möglich. Weiterhin sollte die Herstellung weiterer Düngevarianten auf Aschebasis erforscht werden, sowie alternative Wege der Standortsanierung und -erhaltung (z.B. Nutzungsbeschränkungen, Baumartenwahl und -mischungen).
- Die heutige Praxis der Ascheentsorgung läuft zum Teil unkorrekt ab. Es gibt sogar illegale Entsorgungen direkt im Wald. Viele Energieanbieter haben ein Entsorgungsproblem und wissen nicht wohin mit den Aschen.
- Holzasche ist kein Naturprodukt, das Holz wurde durch die Verbrennung zu einem neuen Produkt umgewandelt.

¹ Aus Sicht der Abfallwirtschaft eher Entsorgung, aus Sicht der Waldwirtschaft eher ein Rohstoff mit gleicher Elementzusammensetzung wie in Waldbäumen (ausgenommen N)

Nachfolgend sind die Fragen des Handlungs- und Regelungsbedarfs diskutiert worden. Insgesamt ist eine Tendenz in Richtung „Ja, aber“ festzustellen. Die von Rolf Manser zu Beginn vorgestellte Stossrichtung wird im Grundsatz von der Mehrheit eher befürwortet, wobei verschiedene Begleitmassnahmen nötig wären. Nachfolgend sind sowohl Regelungs- als auch Forschungs- und Informationsbedarf in einer Tabelle aufgeführt:

Thema	Erläuterungen und Hinweise, Argumente
Analyse der Waldstandorte und ihres Zustands	Zur Zeit ist noch unklar, wie hoch der Handlungsbedarf wirklich ist. Es braucht eine Übersicht, auf welchen Standorten Nährstoffmängel bestehen. Welche Böden sind in welchem Ausmass gefährdet, welche Indikatoren zeigen Handlungsbedarf an und welches sind die Schwellenwerte?
Langzeitbeobachtung der Mikrobiologie Boden	Wirkungsorientierte Forschung zu verschiedenen Fragen der Mikrobiologie und deren Reaktionsvermögen. Es braucht Langzeitbeobachtungen resp. ein schweizweites Beobachtungsnetz von unterschiedlichen Standorten (WSL, IAP), um die Entwicklung der unterschiedlichen Böden und Bestände unter Berücksichtigung verschiedener externer Einflüsse systematisch vergleichen zu können.
Verbesserung der Waldstandorte	Wie können Versauerung und Nährstoffentzug auf Waldstandorten vermieden werden? Welche Massnahmen sind besonders geeignet um eine optimale Wirkung zu erzielen (Waldbau, Dünger, andere). Auszubringende Nährstoffmengen oder auch Aschemengen sollten sich am Bedarf ausrichten. Die Wirkung einer Nährstoffkompensation oder Aschegabe sollte unter Praxisbedingungen erforscht werden. Alternativ sind auch andere Optionen zu prüfen, wie Nutzungsbeschränkungen bei der Holznutzung sowie Baumartenwahl. Zudem ist zu prüfen, ob es bestimmte Waldstadien gibt, welche besonders geeignet sind für eine Ascheeinbringung ² .
Anpassung Recht	Das jetzige „dogmatische“ Verbot der Ausbringung von Nährstoffen im Wald entspricht nicht mehr den gegenwärtigen Praxisbedürfnissen resp. der gegenwärtigen Situation in der Praxis. Wo Handlungsbedarf besteht aufgrund von Bodenversauerung sollte die Möglichkeit einer „Kalkung“ ³ geprüft werden. Allenfalls sind Grenzwerte zu überdenken und den effektiven Gegebenheiten der Waldstandorte anzupassen.
Organisation und Zuständigkeiten	Welche Rollen haben Bund und Kantone (Abgrenzung der Zuständigkeiten)? Wer entscheidet über eine Düngung oder Ascherückbringung: Behörden, Waldeigentümer oder gar die Ascheproduzenten? Bei den Grenzwerten „wann ist etwas verwertbar oder nicht“ entscheidet der Bundesrat, denn er hat die Grenzwerte festgelegt. Gemäss der Abfallgesetzgebung muss Asche den U-Wert zur Verwertung einhalten (TVA Anhang 3).
Qualitätssicherung der Holzasche	Als sehr wichtig und zugleich sehr anspruchsvoll wird die Frage der Qualitätssicherung erachtet. Untersuchte Holzaschen sind von sehr unterschiedlichen Qualitäten. Moderne Verbrennungstechniken ermöglichen prinzipiell die Gewinnung von relativ unbelasteter Rostasche, doch es sind Kontrollen erforderlich. Die Qualitätskontrolle muss sowohl bei der Verbrennung (Holzrohstoff, Aschegewinnung) wie auch bei der Ascherückführung erfolgen (zwei verschiedene Kontrollen). Was sind „normale“ Werte bei der Holzasche? Entsprechen diese den Düngervorschriften? Was ist zu tun, um Düngerqualitäten zu erhalten?

² Im Nachgang zum Workshop hat Sabine Augustin eine erste Schätzung gemacht, welche im Bericht unter „Weiteres Vorgehen beim BAFU“ steht.

³ Kalkung und Düngung wird nachfolgend synonym verwendet, wobei durch Düngung nicht eine Produktionssteigerung erreicht werden soll, sondern eher eine die Bodenfunktionen erhaltende Massnahme.

	Gibt es Unterschiede je nach Brennstoffherkunft der Holzasche? Welche Anlagen eignen sich besser für eine Holzascherecyclingung?
Synergien nutzen	Synergien zu angrenzenden Bereichen müssen geprüft und genutzt werden. Erfahrungen und Methoden, z.B. die Analytik der Luftreinhalteung, sind zu berücksichtigen und nach Möglichkeit zu nutzen.
Wirtschaftliche Konsequenzen Düngung - Nichtdüngung	Welche finanziellen Konsequenzen ergeben sich aus einer Düngung oder einer allfälligen Rückführung der Holzasche? Wie werden diese Kosten finanziert? Wie wird die Kontrolle organisiert und finanziert? Welche finanziellen Konsequenzen ergeben sich bei einer Nichtbehandlung von (belasteten) Standorten im Sinne von Ertragsausfällen, Verlust von Ökosystemleistungen etc.?
Wirtschaftliche Konsequenzen Holzascheverwertung	Die Absatzwege und -märkte sowohl im Wald wie auch im Nichtwald (Rohstoff für Kunstdünger etc.) sind zu analysieren und die effizientesten auszuwählen. Die Holzasche muss aufbereitet und dann deren Qualität kontrolliert werden (Verwertungspflicht TVA Vsg30d). Die Machbarkeit kostengünstiger Verfahren bis hin zu einer möglichen Ausbringung (wäre teurer als die Verbringung auf eine Inertstoff-Deponie) incl. flankierender Massnahmen (Kommunikation) sollte geklärt werden.
Logistik der Düngung, resp. Holzascheausbringung	Eine wichtige Voraussetzung für eine möglichst angepasste Düngung resp. Einbringung von Holzasche ist deren sorgfältige Ausbringung, Dosierung und gleichmässige Verteilung. Hier bestehen noch grosse Unsicherheiten (Methoden, Logistik, Akzeptanz, etc.), entsprechende Untersuchungen wären sinnvoll.
Organisation und Zuständigkeiten	Welche Grundlagen (z.B. Standortskarten) müssen vorliegen, damit die zuständige Stelle über eine allfällige Rückführung entscheiden kann?
Kommunikation	Die Kommunikation der zunehmenden Bodenversauerung in Waldböden und entsprechender Kompensationsmassnahmen muss durchdacht sein. Eine Aufhebung des bisherigen Düngerverbotes im Wald aber auch eine allfällige Rückführung in den Wald braucht eine sorgfältige Kommunikation. Die Bevölkerung dürfte den Wald nicht als billigen Deponie sehen: Welche Zielgruppen sind zu unterscheiden (Waldeigentümer, Betriebe, Bevölkerung, Industrie, Gemeinden, Wald- und Umweltbehörden, etc.)? Wie muss mit ihnen kommuniziert werden incl. Begleitmassnahmen?
Empfehlungen an die forstliche Praxis zu Nährstoffhaushalt	Ausarbeiten von waldbaulichen Empfehlungen bezüglich Vollbaumnutzung für Standorte mit verschiedenen Risiken

Tabelle 1: Überlegungen zum Regelungs-, Forschungs- und Informationsbedarf

5. Fazit

Die zunehmenden Mengen an Holzasche werden im BAFU unter verschiedenen Aspekten bearbeitet:

Luftreinhaltung: Analyse der Holzaschen um Missbrauch und falsches Handhaben bei Feuerungen < 70 kW zu eruieren.

Boden: Die Abfallgesetzgebung hat klare Entsorgungswege für die Asche definiert.

Wald: Was tun mit Waldstandorten, welche im Nährstoffungleichgewicht stehen? Sollen die Defizite mit Holzasche aus Anlagen > 70 kW Nährstoffe kompensiert werden? Was tun mit den steigenden Holzaschemengen?

Die Beiträge und Diskussionen des Workshops zeigten, dass das Thema „Holzasche - Wald“ weiter gefasst werden muss, will man ihre Verwertung und Verwendung langfristig ökologisch und juristisch einwandfrei regeln.

Die wichtigsten gesetzlichen Aufträge sind:

(i) Aschen von unbelastetem Holz sind Abfall, sie müssen daher nach Art. 7, Abs. 6 des Umweltschutzgesetzes (USG) umweltverträglich nach dem Stand der Technik entsorgt werden. Es gilt die Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Seit dem 1.1.2010 können von naturbelassenem Holz aus Sägereien stammende Bettaschen auch auf Inertstoff-Deponien entsorgt werden

(ii) Holzaschen aus unbelastetem Holz sind ein Rohstoff. Nach Art. 30d des USG kann der Bundesrat vorschreiben, „dass bestimmte Abfälle verwertet werden müssen, wenn dies wirtschaftlich tragbar ist und die Umwelt weniger belastet als eine andere Entsorgung und die Herstellung neuer Produkte“. Eine Verwertungspflicht ergibt sich auch aus der TVA, Art. 12: Die Behörde kann von Inhabern von Industrie-, Gewerbe- oder Dienstleistungsbetrieben verlangen, dass sie: a. abklären, ob für ihre Abfälle Möglichkeiten zur Verwertung bestehen oder geschaffen werden können und b. die Behörde über die Ergebnisse der Abklärungen orientieren. Nur wenn die Abfälle die Qualitätsanforderungen TVA Anhang 3 einhalten.

(iii) das Waldgesetz (WaG) schreibt vor, dass für die Erhaltung der Waldfunktionen Sorge zu tragen ist. Der Bund kann für „Erforschung und Entwicklung von Massnahmen zum Schutz des Waldes vor schädlichen Einwirkungen“ Mittel bereitstellen (Art. 31). Mit der Ressourcenpolitik Holz soll eine konsequente, aber nachhaltige Holznutzung aus einheimischen Wäldern und eine ressourceneffiziente Verwertung des Rohstoffs unterstützt werden. Wobei die Kaskadennutzung bis hin zur Holzasche angestrebt werden soll.

(iv) gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) Ziffer 3.3.1 Abs. 5 Anhang 2.6 ist die Verwendung von Düngern im Wald sowie auf Streifen von drei Metern Breite entlang der Bestockung verboten.

Die gesetzlichen Aufträge sind eindeutig. Eine Ausbringung der Holzasche, um Nährstoffdefizite im Wald zu kompensieren, würde eine Änderung der Abfallgesetzgebung erfordern. Eine Strategie zur Verwertung der Holzasche sollte den Herausforderungen der Erhaltung der Waldfunktionen bei weiter anhaltender Stickstoff- und Säurezufuhr und bei Anwendung von Ernteverfahren wie der Vollbaumnutzung (incl. Blätter, Reisig etc., ohne Stock), die Nährstoffe aus dem Wald entfernen, Rechnung tragen.

Eine Strategie „Holzasche und Wald“ umfassend betrachtet sollte daher vom Vorgehen her aufgeteilt in zwei Teilstrategien „Wald & Nährstoffe“ und „Holzasche“ werden:

I. WALD & NÄHRSTOFFE

1) Anstreben eines ausgeglichenen Nährstoffhaushaltes durch entsprechende Bewirtschaftung der Wälder

Allerdings dürften zahlreiche Waldstandorte durch eine Nutzung wie der Vollbaumnutzung zu viele Nährstoffe verlieren. Die Datengrundlagen für die Schweiz sind hinsichtlich der Nährstoffbilanzen sehr lückig:

- Empfehlungen für die Praxis zu Grenzen der Vollbaumnutzung und Nährstoffhaushalt in Wäldern sollen sofort mit schon jetzt gesicherten Erkenntnissen verfasst werden.
- Grundlagen und waldbauliche Empfehlungen erarbeiten für Standorte mit verschiedenen Risiken.

2) Nährstoffrückführung auf versauerten Standorten zum Erhalt der Waldfunktionen

Veränderungen im Nährstoffhaushalt von Wäldern sind auch für die Schweiz belegt. Ihr Ausmass (Flächenanteil) und die Menge sind weitgehend unbekannt (vgl. Anhang S. 12).⁴

- Erforderlich ist die Ermittlung des tatsächlichen Nährstoff-Kompensationsbedarfs. Datengrundlagen zur Nährstoffausstattung von Waldböden müssten aus verschiedenen Quellen aufbereitet werden.
- Langzeit-Versuche zur Nährstoffausbringung (z.B. Dolomit) oder Holzascheausbringung (unter Berücksichtigung der Abfallgesetzgebung) unter praxisrelevanten Bedingungen sind erforderlich.
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Kompensationsmassnahmen, resp. deren Unterlassen.
- Juristische Aspekte: Das Verbot der Ausbringung von Nährstoffen im Wald müsste gelockert werden, d.h. es sind langfristig Ausnahmeregelungen für die Nährstoffrückführung auf verarmten Standorten vorzusehen.
- Sorgfältige Kommunikation gegenüber der Bevölkerung und der Praxis für die Nährstoffrückführung auf versauerten Standorten.

3) Reduzierung des Stickstoffeintrages

Stickstoffeinträge über den Bedarf der Wälder hinaus führen langfristig zu Eutrophierung mit zahlreichen negativen Folgen für die Waldfunktionen.

- Zusammenarbeit mit dem BLW, um die NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft zu reduzieren
- Unterstützung der Aktivitäten der Abt. Luftreinhaltung durch Informationen zum Ausmass der N-induzierten Nährstoffverluste aus Waldböden.

II. HOLZASCHE

3) Entsorgung⁵ der Holzasche

Aus Sicht Wald und als flankierende Massnahmen sollten folgende Themen angegangen werden, welche es jedoch mit der Abt. Boden noch besser abzusprechen gilt:

- Juristische Aspekte: Bei der Holzasche (nach heutiger Definition Abfall) sollte geprüft werden, wie weit sie für die Nährstoffrückführung auf verarmten Standorten ausreicht.
- Die Möglichkeit der thermischen Behandlung der Aschen und Aufbereitung zu einem Vorschriften konformen Dünger ist zu prüfen.
- Die technischen und finanziellen Möglichkeiten einer Holzascherückführung sind zu prüfen, ein Verfahren zur Qualitätssicherung, Sortierung und Ausbringung muss entwickelt werden (vom Energieholz zur Holzasche)⁶.
- Die Entsorgung steigender Holzaschemengen ist für Holzenergie-Produzenten schwierig und Lösungen seitens Abfallbewirtschaftung sind aufzuzeigen.

⁴ Siehe Fussnote 2)

⁵ Aus Sicht der Abfallgesetzgebung muss „Entsorgung“ als Begriff verwendet werden. Aus Sicht der Waldwirtschaft wäre der Begriff „Verwertung“ zutreffend.

⁶ Die Gewinnung und Ausbringung von unbelasteter Holzasche (Abfall) muss kostengünstig erfolgen (die Ausbringung kostet jedoch derzeit ca. das Fünffache einer Entsorgung auf einer Inertstoff-Deponie)

6. Anhang

- (a) Erste Schätzung der Waldflächen mit Kompensationsbedarf
- (b) Liste der Teilnehmenden
- (c) Präsentationen W. Landolt (WSL) und W. Flückiger (IAP)
- (d) Zum Stand des Wissens: Auslegeordnung Holzasche - Wald

(a) Erste Schätzung der Waldflächen mit Kompensationsbedarf

ANHANG

Für die Schätzung wurden folgende Annahmen gemacht:

- Böden mit einer Basensättigung im Oberboden < 40% sind nährstoffarm und gefährdet. 40% Basensättigung sind eine vielfach belegte ökologische Grenze.
- es wurde eine weitere Unterteilung getroffen:
 - Basensättigung 0 bis 20% im Oberboden = sehr verarmt und nährstoffbedürftig → alle 50 Jahre 1 x Asche in Höhe von 3 Tonnen / ha
 - Basensättigung 21-40% im Oberboden = ungünstig, aber in geringerem Ausmass → 1 x in 100 Jahre 3 Tonnen / ha
- weiterhin wurde davon ausgegangen, dass 40% der Flächen von jeglicher Behandlung ausgenommen werden (aus Naturschutzgründen, Nähe zu Gewässern, ...).

Nach bislang unveröffentlichten Arbeiten von IAP & Meteotest (Rihm, pers. Mitteilung) sind 39,5 % der Waldfläche im Bereich "bis 40% Basensättigung". Die Zielgrösse „Basensättigung“ wurde aufgrund einer empirischen Beziehung (Auswertung von Waldbeobachtungsstandorten des Kantonalen Dauerbeobachtungsprogramms) ermittelt. Die Übertragung in die Fläche erfolgte aufgrund von Bodeneignungskarte, Geotechnischer Karte sowie der Topographie.

Nach LFI 1 sind 37% der Oberböden von Waldstandorten im sehr sauren Bereich mit pH<4,2, was dem hier gewählten Ansatz über die Basensättigung entspricht.

**Basensättigung 5-20% (relativ hoher Nährstoffbedarf:
Ascheausbringung 1 mal in 50 Jahren):**

% der Waldfläche	ha	Aschegabe in t/ha	Asche-Bedarf in 50 Jahre, Tonnen	Asche-Bedarf in 1 Jahr, Tonnen
10,8	114'023			
davon 60% (40% ausgenommen, wegen Naturschutz, Nähe zu Wasser etc.)	68'414	3	205'242	4'105

Basensättigung 21-40% (relativ geringerer Nährstoffbedarf: 1 mal in 100 Jahren):

% der Waldfläche	ha	Aschegabe in t/ha	Asche-Bedarf in 100 Jahre, Tonnen	Asche-Bedarf in 1 Jahr, Tonnen
28,7	304'012			
davon 60% (40% ausgenommen, wegen Naturschutz, Nähe zu Wasser etc.)	182'407	3	54'7221	5'472
			Summe / Jahr (ganze Fläche)	9'577

Bern, 25. Juni 2010

(b) Liste der Teilnehmenden am Workshop vom 24.03.2010

ANHANG

Angeschriebene Personen

✓=angemeldet v =verhindert	Name	Vorname	Institution	Funktion	Adresse	Email / Telefon
✓	Aeschbacher	Christoph	Holzenergie Schweiz HES	Geschäftsleiter	Neugasse 6 8005 Zürich	aeschbacher@holzenergie.ch 044 250 88 11
✓	Augustin	Sabine	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Waldleistungen und Waldqualität Verantwortlich für Workshop	3003 Bern	sabine.augustin@bafu.admin.ch 031 322 05 18
✓	Bernasconi	Andreas	Pan Bern AG	Moderator	Hirschengraben 24 Postfach 7511 3001 Bern	andreas.bernasconi@panbern.ch 031 381 89 45
✓	Binggeli	Daniel	Bundesamt für Energie BFE	Bereichsleiter Holzenergie und KVA	3003 Bern	daniel.binggeli@bfe.admin.ch 031 322 68 23
✓	Brühlhart	Stefan	Despond SA	Ersatz für J-F. Rime	route de la Pâla 11 1630 Bulle	stefan.bruehart@shl.bfh.ch 026 919 82 82
✓	Fahrni	Hans- Peter	Bundesamt für Umwelt BAFU	Ehem. Abteilungsleiter Abt. Abfall und Rohstoffe, Verantwortlich für TVA-Revision	3003 Bern	hans-peter.fahrni@bafu.admin.ch 031 322 93 28
✓	Flückiger	Walter	Institut für angewandte Pflanzenbiologie IAP:	Institutsleiter	Sandgrubenstr. 25/27 4124 SchönenbuchBL	walter.flueckiger@iap.ch 061 481 32 24
✓	Gautschi	Michael	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Programmleitung Aktionsplan Holz	3003 Bern	michael.gautschi@bafu.admin.ch 031 324 77 85
v	Hosbach	Hans	Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie	Abteilungsleiter	3003 Bern	hans.hosbach@bafu.admin.ch 031 322 54 36
✓	Hügi	Michael	Bundesamt für Umwelt, Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie	Wissenschaftlicher Mitarbeiter Sektion Abfallverwertung und -behandlung Ersatz für H. Hosbach	3003 Bern	michael.huegi@bafu.admin.ch 031 322 93 16
✓	Hürlimann	Beat	Amt für Abfall, Energie und Luft AWEL Zürich	Sachbearbeiter Ersatz für R. Wagner	Postfach 8090 Zürich	beat.huerlimann@bd.zh.ch 043 259 43 45
✓	Kammerhofer	Alfred	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Sektionschef Wald- und Holzwirtschaft	3003 Bern	alfred.kammerhofer@bafu.admin.ch 031 323 03 08
v	Kilchhofer	Christian	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Recht	Sektionschef Rechtsdienst 1	3003 Bern	christian.kilchhofer@bafu.admin.ch 031 324 00 08
✓	Kym	Kurt	Kym Benwil Holzenergie – Grünrecycling	Unternehmer	Dürmetweg 2 4457 Diegten BL	kurt.kym@holzenergiezentrum.ch 061 976 99 66
✓	Küchli	Christian	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Sektionschef Waldleistungen und Waldqualität	3003 Bern	christian.kuechli@bafu.admin.ch 031 324 77 80
✓	Kunz	Beat	Forstbetrieb Winterthur	Stadtforstmeister	8400 Winterthur	forstbetrieb@win.ch 052 267 57 21
✓	Landolt	Werner	Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL	Leiter Forschungsprogramm	8903 Birmensdorf ZH	werner.landolt@wsl.ch 044 739 23 14
✓	Liechti	Simon	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luft- reinhaltung und NIS	Mitarbeiter Sektion Industrie und	3003 Bern	simon.liechti@bafu.admin.ch 031 324 82 55

Holzasche und Wald

✓=angemeldet v =verhindert	Name	Vorname	Institution	Funktion	Adresse	Email / Telefon
				Feuerungen		
✓	Lienemann	Peter	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW	Dozent für analytische und allgemeine Chemie	Grüntal 8820 Wädenswil	peter.lienemann@zhaw.ch 058 934 57 47
✓	Mainiero	Raphael	Institut für angewandte Pflanzenbiologie IAP	Projektleiter Biologe	Sandgrubenstr . 25/27 4124 SchönenbuchBL	raphael.mainiero@iap.ch 061 481 32 24
✓	Manser	Rolf	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Abteilungsleiter	3003 Bern	rolf.manser@bafu.admin.ch 031 324 78 39
✓	Meier	Ueli	Amt für Wald beider Basel	Kantonsoberrforster	Rufsteinweg 4 4410 Basel	ueli.meier@bl.ch 061 552 56 51
v	Rime	Jean-François	Scierie Despond S.A.	Directeur Président industrie du bois suisse	Route de la Pâla 11 1630 Bulle	jf.rime@despond.ch 026 919 82 82
✓	Schenk	Kaarina	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden	Sektionschefin Bodennutzung	3003 Bern	kaarina.schenk@bafu.admin.ch 031 324 46 03
✓	Schiess	Martin	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS	Abteilungsleiter	3003 Bern	martin.schiess@bafu.admin.ch 031 322 54 34
✓	Suter	Claire-Lise	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald	Verantwortlich Holzenergie Verantwortlich für Workshop	3003 Bern	claire-lise.suter@bafu.admin.ch 031 324 78 58
✓	Thees	Oliver	Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL	Leiter Forschungseinheit Forstliche Produktionssysteme	8903 Birmensdorf ZH	oliver.thees@wsl.ch 044 739 24 57
✓	Vock	Willi	Ingenieurbüro	Selbständiger Ingenieur Ersatz für R. Wüest	8933 Maschwanden	willi.vock@datacomm.ch 044 768 29 13
✓	Von Arx	Christina	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Recht	Juristin als Vertretung von Christian Kilchhofer	3003 Bern	christina.vonarx@bafu.admin.ch 031 322 99 74
✓	Von Arx	Roland	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden	Sektionschef Bodenschutz	3003 Bern	roland.vonarx@bafu.admin.ch 031 322 93 37
✓	Wenger	Christoph	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden	Abteilungsleiter	3003 Bern	christoph.wenger@bafu.admin.ch 031 322 93 71
v	Wagner	Rolf	Amt für Abfall, Energie und Luft AWEL Zürich	Zuständig für Bauabfälle / Rückbaustoffe	Postfach 8090 Zürich	rolf.wagner@bd.zh.ch 043 259 39 58
v	Wüest	Reto	Umwelt und Energie uwe Luzern	Fachbereich Feuerungskontrolle	Libellenrain 15 6004 Luzern	reto.wueest@lu.ch 041 228 65 72
✓	Zimmermann	Stefan	Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL	Gruppenleiter Bodenschutz	8903 Birmensdorf ZH	stefan.zimmermann@wsl.ch 044 7392 266

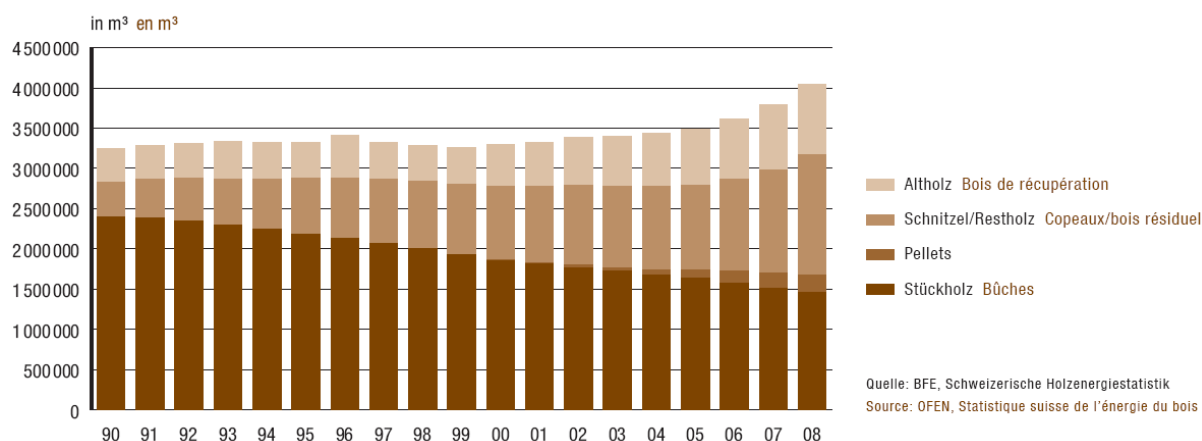
Für den Workshop Holzasche – Wald vom 24.03.2010

Ist nachfolgend von „Ascherückführung in den Wald“ die Rede, ist immer „Rostasche aus naturbelassenem Holz“ gemeint, welche in den Wald rückgeführt werden kann. Der Fokus der Ascherückführung liegt auf Aschen aus automatischen Feuerungen ab 70 kW (LRV) ohne Spezialfeuerungen.

1 Entwicklung Holzenergie

Holzenergie hat heute im Bereich „Wärme“ der Erneuerbaren Energien den grössten Anteil mit rund 8% in der Schweiz. In den letzten Jahren nahm der Energieholzverbrauch zu, er lag im Jahr 2008 bei 3'700'00 m³. Seit 2000 nahm die Zahl der automatischen Holzfeuerungen zu, was sich im Energieholzverbrauch klar abzeichnet. Es sind Holzsnitzel und -pellets sowie Altholz, welche zunehmend energetisch genutzt werden (Jahrbuch Wald und Holz, 2009). Mit der Zunahme von grösseren Heizkraftwerken stieg die Menge der anfallenden Holzasche, mit weiteren Steigerungen ist in den nächsten Jahren zu rechnen.

Entwicklung Energieholzverbrauch nach Brennstoffsortiment 1990–2008, witterungsbereinigt



2 Aschemengen

Beim Verbrennen von Holz fällt Asche in der Grössenordnung von rund 1-3 Gewichtsprozent der verbrannten Holzmenge an. Bei hohen Rindenanteilen und / oder Grünmasseanteilen kann der Anteil auf 8% ansteigen. Jährlich fallen in der Schweiz ca. 40'000 t Asche an, aus naturbelassenem Holz sind es ca. 15'000 t (bis 25'000 t, die Angaben schwanken). 2002 fielen ca. 10'000 t Asche aus den Sägereien an (Vock 2003).

Je nach Brennstoffsortiment und Baumart fallen unterschiedliche Mengen Holzasche an. Bei Stückholzheizungen ist der Laubholzanteil hoch, bei Schnitzelheizungen ist der Nadelholzanteil höher, da Schnitzel aus Sägereien primär aus Nadelholzsortimenten stammen. Nicht alle Aschen sämtlicher Feuerungskategorien können für eine Rückführung in Betracht gezogen werden. Handbeschickte Feuerungen (Stückholz) können nicht kontrolliert werden und sind daher bezüglich Brennstoffqualität und Feuerungsprozess zu riskant. Pelletasche (0.5 Gewichtsprozent) fällt in der Regel in kleinstmengen an, diese Asche müsste separat untersucht werden. So kommen letztlich nur naturbelassene und unbehandelte Aschen aus automatischen Anlagen für eine mögliche Verwertung als Dünger in Frage. Wobei auch hier möglicherweise lediglich auf Aschen aus den Feuerungen ab einer Leistung von 70 kW-500 kW in Betrachtung gezogen werden können. In dieser Feuerungskategorie werden vorwiegend Schnitzel aus Sägereien und sonstiges Waldholz verbrannt. In grösseren Anlagen, welche nach der Luftreinhalteverordnung (LRV) strengere Filterungsauflagen erfüllen müssen, wird zunehmend auch belastetes Brenngut (z.B. Altholz, Autobahngelölz) verbrannt.

Holzverbrauch und Aschemengen nach Brennstoffsortiment (2008 witterungsbereinigt) in m³

Brennstoffsortiment	Holzverbrauch in m ³	Aschemengen grob geschätzt in t ⁷
Stückholz	1'469'028	15'000
Pellets	225'235	700 ⁸
Schnitzel, Restholz	1'492'208	15'000
Altholz	853'678	8'500
Total	4'040'148	39'200

3 Verwertung und Entsorgung von Holzasche heute

Rostasche (Grobasche, Feuerraumasche Brennraumasche) (60-90 Gew.% TS). Im Verbrennungsteil der Feuerungsanlage, d.h. auf oder unter dem Rost bzw. in der Brennstoffmulde anfallende Fraktion.

Kleine Mengen Asche aus Stückholz, Einzelraum- und Gebäudeheizungen > in die Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) (erlaubt auch auf den Hauskompost).

Asche von Pelletheizungen (Einzelraum- und Gebäudeheizungen) > in die KVA (sehr geringe Menge).

Asche aus automatischen Feuerungen (mehrheitlich Schnitzel) > auf die Reaktordeponie.

Asche von naturbelassenem Holz aus Sägereien > auf die Inertstoffdeponie (Anhang 1, Ziff. 11 Abs. 1, Bst. c TVA).

Zyklonflugasche (Feinasche) (10-30 Gew.% TS): In den Rauchgasen mitgeführte Asche, die im Zyklon anfällt > je nach Zusammensetzung auf die Reaktor- (oder Schlacken-) Deponie

Filterasche (Feinstflugasche) (2-20 Gew.% TS): Im Elektro- oder Gewebefilter bzw. in Rauchgaskondensationsanlagen als Kondensatschlamm abgeschiedene Aschefraktion > je nach Zusammensetzung auf die Reaktor- (oder Schlacken-) Deponie.

4 Aschequalität

Aufgrund verbesserter Verbrennungstechniken können heute auch schlechtere Brennstoffqualitäten in grösseren Anlagen verbrannt werden, ohne dass die Emissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung überschritten werden. Es verbleibt jedoch ein höherer Schadstoffanteil in der Asche, so dass der Anteil unbelasteter Holzaschen geringer werden könnte. Es gibt allerdings spezielle Altholzfeuerungsanlagen, in denen das belastete Material verbrannt werden kann.

Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe der Holzasche sind der Nährstoffgehalt und der Gehalt an Schadstoffen (Schwermetalle, organische Schadstoffe). Die Gehalte in der Asche sind abhängig von den Inhaltsstoffen der Hölzer, der Zusammensetzung der verbrannten Hölzer, allfälligen zusätzlichen Verunreinigungen (Steine, Metall, etc.) sowie vom Verbrennungsvorgang.

4.1 Nährstoffe

Durchschnittliche Nährstoffanteile in Rostaschen (naturbelassenes Holz) in % (aus Noger et al. 1996)

Calcium	Magnesium	Kalium	Phosphor	Mangan
30 - 40	1,5 - 4,0	4,5 - 9,5	0,5 - 1,4	0,7 - 1,0

Mengenmässig überwiegt Ca, weiterhin von Bedeutung sind Mg, K, P. Insbesondere Kalium und Phosphor sind heute auf vielen Waldstandorten im Mangel. Sie können zum limitierenden Element für

⁷ Nach Zollner et. al (1997) durchschnittlich 2%Ascheanfall des eingesetzten Brennstoffs

⁸ Gemäss Schweizer Energiefachbuch (2005)

die Produktion werden. Kalium hat einen grossen Einfluss auf die Regulierung des Wasserhaushaltes von Pflanzen.

Auf versauerten Standorten ist die stark basische Wirkung der Holzasche erwünscht. Wird die Bodenreaktion gesteigert (pH-Erhöhung), so werden Elemente pflanzenverfügbar, die es bei tiefen pH-Werten nicht sind (z.B. P). Weiterhin wird das Bodenleben angeregt und die Säureneutralisationskapazität steigt.

4.2 Schwermetalle

Die Schwermetallgehalte in Holzaschen schwanken stark, sie sind abhängig von der Art der verbrannten Hölzer. So hat Rinde aus industrienahen Wäldern höhere Schwermetallgehalte als aus industriefernen Beständen (Werte im Anhang).

Von den in der Asche enthaltenen Schadstoffen sind die toxischen Chrom(VI)-Verbindungen bedenklich. Chrom(VI) entsteht während des Verbrennungsprozesses bei Sauerstoffzufuhr, es ist die höchst oxidierte Cr-Form; in Böden mit hohen Anteilen organischer Substanz wird Chrom(VI) rasch zu unlöslichem und nicht-toxischen Chrom(III) umgewandelt. In Perkolationsversuchen (Asche auf Böden) konnte kein Eintritt von Chrom(VI) in das Sickerwasser festgestellt werden (Niederberger 2002).

4.3 Organische Schadstoffe

Bei einer unvollständigen Verbrennung (zu geringe Temperatur, ungenügende Luftzufuhr etc.) entstehen die organischen Schadstoffe PCDD/PCDFs (polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und di-benzofurane), PAKs (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) sowie Benzo-a-Pyren. Der Gehalt an unverbranntem organischem Kohlenstoff (Corg) korreliert gut mit dem Gehalt an organischen Schadstoffen in der Asche. In Österreich z.B. ist bei einem Gehalt von <5% Rest-Corg keine Untersuchung auf organische Schadstoffe in den Aschen erforderlich, da dann keine organischen Schadstoffe in der Asche enthalten sein können (Werte im Anhang).

5 Derzeitige Belastungen des Elementhaushaltes von Waldökosystemen

Gegenwärtig sind für den Nährstoffhaushalt von Waldökosystemen zwei (potenzielle) Risiken zu benennen:

Stickstoffeinträge: Nach wie vor liegt die durchschnittliche Belastung von Wäldern in der Schweiz über dem UNECE-Grenzwert (Critical Loads) von jährlich 10-20 kg / ha, der sich am Wachstum der Bäume und der Speicherfähigkeit von Waldökosystemen bemisst. Dies führt langfristig zur Versauerung von Böden, d.h. zum Nährstoffverlust.

Nährstoffexport durch die Holzernte: Werden bei der Holzernte neben dem Stammholz auch Rinde und Blätter/Nadeln aus dem Wald entfernt, so übersteigt dieser Export auf vielen Standorten die natürliche Nachlieferung innerhalb einer Umtriebszeit. Gerade in Rinde, Blättern und Nadeln sind grosse Mengen Nährstoffe gespeichert. Etwa die Hälfte der Nährstoffe befindet sich in Stamm und Grobästen, die andere Hälfte in kleinen Ästen (<7cm), Rinde und Blättern/Nadeln. Bei der Vollbaumernte werden dem Wald daher erhebliche Mengen an Nährstoffen entzogen. Insbesondere die Phosphor-Entzüge steigen überproportional durch die zusätzliche Entnahme von Grünmasse. Die P-Ernährung nahm in vielen Beständen in den letzten Jahren ab und scheint zunehmend das begrenzende Element zu werden.

In der folgenden Tabelle sind durchschnittliche oberirdische Nährstoffgehalte für Kiefern, Fichten und Buchen dargestellt.

Gesamte oberirdische Biomasse und Elementgehalte von Kiefer, Fichte und Buche. Elementgehalte in kg/ha, Biomasse in t / ha (Jacobsen et al. 2003)

	N	P	K	Ca	Mg	Biomasse
Kiefer	237	25	115	154	35	113
Fichte	647	73	316	475	60	215
Buche	717	64	361	665	87	289

Die Entfernung der gesamten oberirdischen Biomasse mit der Ernte führt zu einem erheblichen Verlust von Nährstoffen für das Ökosystem.

Die Grenzen der nachhaltigen Nutzung eines Standortes werden durch die natürliche Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Boden definiert. Ein weiteres ökologisches Mass sind die Mindestansprüche der Baumarten an die Nährstoffvorräte im Boden. Die Tabelle zeigt die für eine nachhaltige Bewirtschaftung erforderliche Basensättigung („Basen“ = Ca, Mg, K) der Böden für die verschiedenen Baumarten (nach Puhe und Ulrich 1996):

Baumart	Erforderliche Basensättigung
Feldahorn, Bergulme, Esche, Winterlinde	90 %
Spitzahorn, Kirsche	70 %
Bergahorn, Hagebuche	60 %
Buche, Eiche	50 %
Tanne, Fichte, Föhre, Douglasie, Lärche	30 %

Der Erhalt einer Basensättigung in dieser Grössenordnung sichert die langfristige Produktion.

6 Rechtliche Rahmenbedingungen in der Schweiz für die Ascherückführung

Wald: Grundsätzlich dürfen im Wald keine umweltgefährdenden Stoffe verwendet werden. Das Waldgesetz (WaG) verweist in Artikel 18 in Bezug auf die ausnahmsweise Verwendung von umweltgefährdenden Stoffen im Wald auf die Umweltschutzgesetzgebung. Gemäss Artikel 25 der Waldverordnung (WaV) richtet sich die ausnahmsweise Verwendung von umweltgefährdenden Stoffen im Wald nach der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV).

6.1 Luftreinhalteverordnung (LRV).

Die Luftreinhalteverordnung (LRV), Ziffer 522 Anhang 3 LRV, regelt die Emissionsgrenzwerte von Feuerungen, die mit Holzbrennstoffen nach Anhang 5 Ziffer 3 LRV betrieben werden.

Anhang 5, Ziffer. 31 Absätze 1 und 2 LRV(Begriffe):

- 1 Als Holzbrennstoffe gelten:
 - a. naturbelassenes stückiges Holz einschliesslich anhaftender Rinde, insbesondere Scheitholz, Holzbriketts, Reisig und Zapfen;
 - b. naturbelassenes nichtstückiges Holz, insbesondere Holzpellets, Hackschnitzel, Späne, Sägemehl, Schleifstaub und Rinde;
 - c. Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie und dem Holzverarbeitenden Gewerbe, soweit das Holz nicht druckimprägniert ist und keine Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen enthält.
- 2 Nicht als Holzbrennstoffe gelten:
 - a. Altholz aus Gebäudeabbrüchen, Umbauten oder Renovationen, Restholz von Baustellen, Altholz aus Verpackungen einschliesslich Paletten und alte Holzmöbel, sowie Gemische davon mit Holzbrennstoffen nach Absatz 1;
 - b. alle übrigen Stoffe aus Holz, wie:
 1. Altholz oder Holzabfälle, die mit Holzschutzmitteln nach einem Druckverfahren imprägniert wurden oder Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen aufweisen,
 2. mit Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol intensiv behandelte Holzabfälle oder Altholz,
 3. Gemische von solchen Abfällen mit Holzbrennstoffen nach Absatz 1 oder Altholz nach Buchstabe a.

6.2 Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

Anhang 1 TVA regelt, welche Abfälle unter welchen Voraussetzungen auf Inertstoff-, Reststoff- und Reaktordeponien zugelassen sind (inkl. Grenzwerte für Stoffe, vgl. Anhang).

6.3 Gewässerschutzgesetz (GSchG)

Art. 3: Sorgfaltspflicht: Jedermann ist verpflichtet, alle nach den Umständen gebotene Sorgfalt anzuwenden, um nachteilige Einwirkungen auf die Gewässer zu vermeiden.

Art. 6: Verunreinigungsverbot: Verbot, Stoffe, die Wasser verunreinigen können, mittelbar oder unmittelbar in ein Gewässer einzubringen oder versickern zu lassen sowie solche Stoffe ausserhalb eines Gewässers abzulagern, wenn dadurch die konkrete Gefahr einer Verunreinigung des Wassers entsteht.

Für die **Holzascheverwertung IM WALD** sind folgende rechtlichen Grundlagen massgebend:

6.4 Bundesgesetz über den Wald (WaG)

Art. 18: „Im Wald dürfen keine umweltgefährdenden Stoffe verwendet werden. Die Umweltschutzgesetzgebung regelt die Ausnahmen.“

6.5 Verordnung über den Wald (WaV)

Art. 25: „Die ausnahmsweise Verwendung von umweltgefährdenden Stoffen im Wald richtet sich nach der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung vom 18. Mai 2005.“

Kantonale Waldverordnungen

→ im Einzelfall zu prüfen (<http://www.lexfind.ch/index.php?cid=2&ts=154908>)

6.6 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)

Anhang 2.6 (Dünger): Kap. 2.2 Qualitätsanforderungen, Kap. 2.2.1 Organische Dünger, Recyclingdünger und Hofdünger (Grenzwerte für die genannten Dünger, siehe Anhang).

Nach Ziffer 3.3.1 Abs. 5 Anhang 2.6 ChemRRV ist die Verwendung von Düngern im Wald sowie auf einem Streifen von drei Metern Breite entlang der Bestockung verboten. Nur ausnahmsweise und unter bestimmten Voraussetzungen kann die zuständige kantonale Behörde die Anwendung von Düngern im Wald und in einem Streifen von drei Metern Breite entlang der Bestockung ausserhalb von Grundwasserschutz zonen bewilligen (z. B. auf kleinen Flächen im Rahmen wissenschaftlicher Versuche). Ausnahmebewilligungen für Verwendungen, die über die in Anhang 2.6 Ziffer 3.3.2 Absatz 2 abschliessende Aufzählung hinausgehen, sind ohne Änderung der ChemRRV nicht möglich.

Anh. 2.5 und 2.6 ChemRRV: In den Grundwasserschutz zonen S1 (unmittelbar an einer Trinkwasserfassung) sind alle Arten von Pflanzenschutz- und Düngemitteln verboten. In den Schutz zonen S2 ist die Verwendung von PSM und Düngern eingeschränkt. Im Wald darf in Grundwasserschutz zonen kein Dünger ausgebracht werden.

6.7 Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern, Dünger-Verordnung (DüV)

Art. 2: Zulassungspflicht

Art. 5: Begriffe

- b. *Recyclingdünger*: Dünger pflanzlicher, tierischer, mikrobieller oder mineralischer Herkunft oder aus der Abwasserreinigung, wie:
1. *Kompost*: fachgerecht, unter Luftzutritt verrottetes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material;
 2. *festes und flüssiges Gärgut*: fachgerecht unter Luftabschluss vergärtes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material; Gärgut ist flüssig, wenn der Gehalt an Trockensubstanz nicht mehr als 12 Prozent beträgt;
 3. *unverrottetes pflanzliches Material*: wie Nebenprodukte aus Gemüserüstereien, Brennereien und Mostereien oder Extraktionsschrot, das in den Boden eingearbeitet wird;
 4. *Klärschlamm*: Schlamm in aufbereiteter oder nicht aufbereiteter Form aus der kommunalen Abwasserreinigung;

Art. 10: Bewilligungspflicht

Art. 21a: Anforderungen an die Herstellung und das Inverkehrbringen von Düngern: u.a. Einhaltung der Qualitätsanforderungen nach Anh. 2.6 ChemRRV bezüglich Grenzwerte für Schadstoffe und inerte Fremdstoffe.

Für die **Holzascheverwertung IN DER LANDWIRTSCHAFT** sind folgende rechtliche Grundlagen massgebend:

6.8 Verordnung des EVD über das Inverkehrbringen von Düngern, Düngerbuch-Verordnung (DüBV)

Bis 1.1.2008 war Holzasche in der Gruppe der „*Hof- und Abfalldünger sowie weitere Erzeugnisse*“ in der DüBV enthalten.

Heute ist für Holzasche als Recyclingdünger in der Landwirtschaft eine Zulassungsbewilligung notwendig. Bewilligungsbehörde ist das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). Dabei muss unter anderem der Nachweis erbracht werden, dass die Grenzwerte für *Recyclingdünger* gemäss Anhang 2.6 der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) eingehalten werden.

6.9 Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)

Richtwerte für Böden bis 15% Humus im Anhang. *Prüf- und Sanierungswerte* sind stets höher.

7 Rechtslage im Ausland als Vergleich

7.1 Rechtslage in Deutschland

Nach der Düngemittelverordnung (DüMV, 2009) können Pflanzenaschen dem Düngemitteltyp „Kohlensäuren Kalken“ zugegeben werden. „Bei der Zugabe von Brennraumasche nach Buchstabe c Spalte 5: gelten folgende Einschränkungen:

- maximal 30 % Brennraumasche und nur von unbehandelten Pflanzenteilen
- Kennzeichnung mit dem Hinweis „Enthält basisch wirksame Pflanzenasche“
- es dürfen keine Aschen aus der letzten filternden Einheit im Rauchgasweg verwendet werden.“

Bei der Verwendung für „Mehrnährstoffdünger“ können Pflanzenaschen verwendet werden, wobei die obigen Einschränkungen gelten.

Für „Düngemittel mit Spurennährstoffen sowie Spurennährstoffdünger“ gilt ein Höchstgehalt für Kupfer von 0,2 % bezogen auf Trockenmasse für Holz-Brennraumaschen bei Rückführung auf forstliche Flächen“.

Seit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-/AbfG) besitzt die Verwertung von Abfall Vorrang vor der Beseitigung, woraus sich die Notwendigkeit ableitet, auch für Holzaschen geeignete Verwertungsmöglichkeiten zu nutzen.

In Deutschland werden Anlagengrössen nach der Bundes-Immissionsschutzverordnung – 1.BImSchV – bzw. der TA-Luft in 3 Leistungsklassen eingeteilt: Kleinanlagen < 15 kW; Kleinanlagen 15 kW bis 1 MW; Grossanlagen 1 bis 50 MW.

Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) ist der Schlüssel, nach dem die Abfälle aus der Verbrennung von Holz geregelt sind.

7.2 Rechtslage in Österreich

Nach dem Düngemittelgesetz darf Asche nicht als „Düngemittel“, „Bodenhilfsstoff“, „Kultursubstrat“ oder „Pflanzenhilfsstoff“ in den Verkehr gebracht werden. Anwendung unter anderen Bezeichnungen sind möglich, wobei die Regelungen des Boden- und des Wasserschutzes einzuhalten sind. Eine „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenasche“ wird derzeit erarbeitet.

8 Schlussfolgerungen

Recycling durch Düngung: Möglichkeiten

In der Asche sind die mineralischen Nährstoffe des Holzes in konzentrierter Form enthalten. Asche von guter Qualität kann wegen des Nährstoffgehaltes als wertvoller Rohstoff betrachtet werden. Sie sollte entsprechend eingesetzt werden.

Insbesondere Phosphor und Kalium sind auf vielen Waldstandorten im Mangel. Der Mangel kann „absolut“ sein, d.h. wegen fehlender Nährstoffe im Boden, oder „relativ“, d.h. der Mangel ist dann durch das Überwiegen eines anderen Nährstoffes bedingt (heute Stickstoff durch die Immissionen). Asche kann den Nährstoffentzug durch die Holzernte kompensieren, was besonders bei solchen Ernteverfahren von Bedeutung ist, bei denen Rinde und Feinreisig aus dem Wald entfernt werden. Weiterhin kann durch Zufuhr von Basizität die Bodenreaktion in Bereiche angehoben werden, in denen die Nährstoffbereitstellung durch den Boden und die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen synchronisiert sind.

Recycling durch Düngung: Grenzen

Die in der Holzasche enthaltenen Schwermetalle und organischen Schadstoffe sollten bestimmte, noch festzulegende, Grenzwerte nicht überschreiten. Hierbei kann man sich an den entsprechenden Werten für Kompost und Düngemittel orientieren.

Die hohe Löslichkeit und Basizität der Aschen kann mit geeigneten Verfahren verringert werden (Karbonatisierung, Pelletierung), und so Aschen zu einer langsam fließenden Nährstoffquelle machen.

Die Bedingungen, unter denen es zur Konzentrationen bestimmter Elemente und Verbindungen kommt (v.a. organ. Schadstoffe), sind weitgehend bekannt. Zur Gewinnung von Aschen für Düngungszwecke ist daher die Steuerung des Brennvorgangs sowie die Kontrolle der Aschezusammensetzung erforderlich.

Paradigma „ungestörter Wald = gesunder Wald“

Das Paradigma, dass ein Wald mit geschlossenen Stoffkreisläufen ein gesunder Wald sei, und daher keine Eingriffe erforderlich seien, ist unbestritten. Heute gibt es allerdings Störungen des Waldes, die langfristig keine geschlossenen Stoffkreisläufe garantieren. Dies sind zunächst die Stoffeinträge über die Luft (v.a. N). Darüber hinaus wurde der Wald über Jahrhunderte durch Streunutzung, Waldweide und Brennholzentnahme übernutzt, wodurch oft mehr Nährstoffe dem System entzogen wurden als nachgeliefert werden konnten. Erstmals in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg sank der direkte Nutzungsdruck auf den Wald, gleichzeitig stieg allerdings der N-Eintrag in den Wald.

Künftig wird der Bedarf an Energieholz steigen und moderne Holzernteverfahren erleichtern die Nutzung ganzer Bäume (Astbündler). Dies führt auf vielen Standorten zu Nährstoffexporten aus dem Wald, die durch die natürliche Nachlieferung nicht kompensiert werden können.

Die Rückführung von Nährstoffen auf empfindlichen oder verarmten Böden oder zur Herstellung von Nährstoffgleichgewichten in der Ernährung ist eher als ein Beitrag zur Wiederherstellung der Selbstregulierungsfähigkeit des Waldes zu werten.

Bern, 19. März 2010/AS/CS und Abt. Recht

9 Literatur

Abgeschlossene Projekte/Studien über Aschezusammensetzung, Ascherückführung, insbesondere mit Beteiligung Bund:

Antwort des Landrates BL, Nr. 2009/195 <http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/parllk/vorlagen/2009/2009-195.pdf>

Hallenbarter, D. 2002: Optimale Ernährung und Holzasche-Recycling im Wald (Teilprojekt bei HARWA Holzasche-Recycling im Wald). WSL, Koreferent Landolt, W.

Jacobsen, C., Rademacher, P., Meesenburg, H., Meiwes, K.-J. 2003: Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten – Literaturstudie und Datensammlung. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 69.

Landolt, W. 2001: Projekt HARWA : Optimale Ernährung und Holzasche-Recycling. Im Auftrag des BUWAL/Wald + Bundesamt für Bildung und Wissenschaft

Landolt, W., Zimmermann, S., Hässig, J. 2010: Literaturreview Holzasche – Wald. Im Auftrag des BAFU, Abteilung Wald und Boden.

Niederberger, J. 2002. Chrom(VI)-Belastung von Holzaschen – Säulenversuche zur Ermittlung der Chrom(VI)-Verlagerung im Boden nach Holzasche-Ausbringung. Freiburger Forstliche Forschung, Heft 43, 93-106.

Noger, D., Felber, H., Hasler, Ph. 1996: Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. EMPA im Auftrag des BUWAL/Eidg. Forstdirektion

Puhe, J., Ulrich, B. 2001: Ecological studies 143, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Vock, W. 2003. Entsorgung von Asche aus Grossfeuerungen für naturbelassenes Holz. Bericht im Auftrag des BUWAL

Vock, W., Wüest, R., Lienemann, P. 2009: Beurteilung der Holzaschenanalysen mit mobilen Röntgenfluoreszenz-Spektrometern. Vock und EMPA im Auftrag der Urkantone (Zentralschweizer Umweltfachstellen)

Weis, W., Ettl, R., Göttlein, A. 2008: In der Hitze des Booms. Nährstoffentzug durch Energienutzung, Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, Technische Universität München

Zollner, A., et al., 1997: Waldernährung Holzaschenverwertung im Wald.
www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/

10 ANHANG

10.1 Eingereichte Projekte

Eingereichte und geplante Projekte/Studien über Aschezusammensetzung, Ascherückführung mit Beteiligung Bund

Projektstand	Projektname	Organisation	Autoren	Angeschriebene Abteilung im BAFU
Projekteingabe	Validierung für den Nachweis von Brennstoffmissbrauch an Aschen aus Waldholz	Zentralschw. Umweldirektorenkonferenz	ZHAW Lienemann Willi Vock	Luftreinhaltung und NIS
Projekteingabe	Beurteilung Holzascheproben mit Waldstandorten	W. Vock	W. Vock	Wald (Boden)
Projekteingabe	Revitalisierung von belasteten Standorten mit Holzasche	Einzelne Kantone und IAP	Flückiger; Braun	Wald: AP Holz > Wald-Holz-Forschungsfonds

10.2 Zusammenfassung und Synopsis aus „Literaturreview Holzasche – Wald“ (2010) Zimmermann Stephan, Hässig Jörg, Landolt Werner

10.2.1 Zusammenfassung und Empfehlungen

Der vorliegende Bericht vermittelt einen Überblick über die nationale und internationale Holzasche-Literatur und beleuchtet die verschiedenen Wirkungen und Risiken einer Holzasche-Rückführung in den Wald. Im Zentrum dieser Betrachtungen stehen ausschliesslich Rostaschen aus naturbelassenem, unbehandeltem Holz. Filteraschen mit einem erhöhten Schwermetall-Anteil fallen nicht darunter und müssen separat auf Reaktordeponien entsorgt werden. Die zurzeit verfügbare Datengrundlage für die Berechnung von Stoffbilanzen ist für eine Bewertung der Nährstoffentzüge durch unterschiedliche Nutzungsintensitäten ohne zusätzliche Datenerhebung nicht ausreichend. Deshalb werden die Kenntnisse aus dem umliegenden Ausland zusammengetragen und ausgewertet. Im Weiteren sind keine Informationen aus der Schweiz über technische Belange und Kosten einer Rückführung von Asche vorhanden, so dass ebenfalls ausländische Literatur verwendet werden muss.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich bezüglich einer Holzasche-Rückführung in den Wald wie folgt zusammenfassen:

Positiv:

- Eine Holzasche-Gabe wirkt sich am stärksten auf sauren Böden aus. Dort werden die Basenbelegung (BS%), das BC/Al-Verhältnis und die Säureneutralisationskapazität erhöht. Dadurch wird dem Prozess der Bodenversauerung entgegengewirkt und das Risiko einer Al-Toxizität in stark sauren Böden vermindert.
- In Böden mit einer grossen organischen Auflage (z. B. Rohhumus) kann eine Aschengabe zu einer verstärkten Mineralisation führen, wodurch das Nährstoffangebot verbessert wird. Voraussetzung dafür ist, dass genügend Feuchtigkeit vorhanden ist.
- Auf mineralischen Böden mit hohen N-Depositionen kann eine Holzasche-Gabe zu einer Verbesserung des Nährstoffgleichgewichts beitragen. In Einzelfällen kann Holzasche auch die Verfügbarkeit von K und Mg sowie einiger anderer Elemente verbessern. Die P-Verfügbarkeit kann am ehesten von einer Erhöhung der biologischen Aktivität nach Holzasche-Gaben profitieren.

Neutral:

- Die Düngewirkung einer Holzasche-Gabe auf das Wachstum von Bäumen ist auf mineralischen Böden mit einer geringen organischen Auflage in der Regel gering, da viele Standorte N- und P-limitiert sind und sich so zusätzliche Nährstoffgaben ohne diese Elemente kaum auswirken können.

Negativ:

- Holzasche kann die Schwermetallfracht im Boden erhöhen, dies ist in sauren Böden wegen der erhöhten Mobilität besonders problematisch. Bedingt durch die starke Basizität der Holzasche ist das kurzfristig kein Problem. Längerfristig kann es eines werden, wenn die Bodenversauerung fortschreitet und einige dieser eingebrachten Schwermetalle wieder mobil werden. Dabei können sie ins Grundwasser oder in die Nahrungskette gelangen.
- Frische, lose Holzasche kann durch ihre hohe Basizität zu Verbrennungen an empfindlichen Pflanzen und zu Schädigungen an Boden-(Mikro-)organismen führen, sowie zu einer verstärkten Mobilität von organischen Substanzen und Bodeninhaltsstoffen beitragen. Normalerweise sind solche Effekte nur von kurzer Dauer. Diese Effekte können durch eine Behandlung der Holzaschen vermieden werden.
- Für die Kontrolle der Aschequalität sowie eine Aschenachbehandlung braucht es zusätzliche Arbeitsschritte, die zu einem erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwand führen.
- Eine gleichmässige grossflächige Verteilung der Holzasche kann im Wald mit vernünftigem Aufwand nur durch Luftapplikationen gewährleistet werden. Dabei sind Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, der Lärmbelastung sowie zu den Sicherheitsabständen zu Gewässern und Biotopen noch zu klären.

Empfehlungen:

- Der Effekt einer Asche-Ausbringung im Wald ist mit einer Kalkung vergleichbar und daher vor allem auf sauren Waldböden angezeigt. Im Vordergrund stehen dabei die Erhöhung der Basenbelegung (BS%) im Boden, sowie das Verhindern einer zunehmenden Versauerung des Bodens durch atmogene Einträge.
- Es empfiehlt sich, nur karbonatisierte und gebrochene Rostasche oder solche in granulierter oder pelletierter Form auszubringen. Dadurch werden ihr pH-Wert, sowie ihre Reaktionsfähigkeit und Löslichkeit stark herabgesetzt und negative Einflüsse auf Flora und Fauna vermieden.
- Um die Schwermetallfracht von Holzaschen in den Boden zu begrenzen, sind strikte Qualitätskontrollen und Mengenbeschränkungen notwendig. Es dürfen nur Rostaschen von naturbelassenem Holz in den Wald zurückgeführt werden. Bereits damit würden die heute geltenden Grenzwerte gemäss ChemRRV (SR 814.81) in einem wesentlichen Teil der Fälle überschritten. Zudem sollten die Aschen aus Feuerungen stammen, welche Leistungen grösser als 70 kW aufweisen. Bei automatischen Feuerungen ist das Brenngut von homogenerer Qualität, der Verbrennungsprozess läuft geregelter ab und es fallen grössere Mengen Holzasche an. Bei Feuerungen mit einer Leistung grösser 500 kW müsste eine strikte Trennung der Altholzverbrennung garantiert sein.
- Holzasche darf nicht in der Nähe von Oberflächengewässern und im Bereich von Grundwasserfassungen ausgebracht werden. Auch gegenüber Biotopen sind ausreichende Sicherheitsabstände einzuhalten.
- Beim Ausbringen der Holzasche mit Kreiselstreuern bleibt relativ viel Holzasche in der Rückegasse liegen. Eine Ausbringung der Holzasche mit Helikopter erfolgt gleichmässiger, ist aber kostenintensiver und braucht eine spezielle Anwendungsbewilligung.
- Da bei der Durchforstung und der Holzernte Licht und Wärme in den Wald eindringen, wird dabei die Mineralisation angeregt. Deshalb sollte Holzasche erst 3-5 Jahre nach einem Eingriff ausgebracht werden, um einen zusätzlichen Mineralisationsschub zu verhindern.
- Die Datengrundlage bezüglich der Stoffbilanzen und -flüsse im Boden ist heute ungenügend und muss klar verbessert werden. Dazu gehört auch die Quantifizierung der Nährstoffentzüge durch die Holzernte. Dies ist eine Grundvoraussetzung für weitergehende Empfehlungen. Bis es soweit ist, sollten die Empfehlungen aus dem Ausland berücksichtigt werden (Kap. 5.5).

Holzasche aus naturbelassenem Holz ist letztlich ein Produkt des Waldes. Eine Rückführung wäre daher trotz einiger Vorbehalte vertretbar, sofern eine strikte Qualitätskontrolle und Mengenbeschränkung eingehalten werden. Dies ist am ehesten gewährleistet, wenn dieser Kreislauf im regionalen Massstab betrieben und dokumentiert wird, mit kurzen Wegen zwischen Holzproduzenten/Asche-Abnehmern einerseits und Heizungsbetreibern andererseits. Schwieriger dürften die Kontrollen werden mit Zwischenhandel und langen Transportwegen.

10.2.2 Synopsis

Im vorliegenden Bericht lag das Hauptaugenmerk auf den Rost- oder Feuerraumaschen von naturbelassenem Holz. Diese Asche ist im Gegensatz zur Flug- oder Filterasche mit erheblich weniger Schwermetallen belastet und weist auch insgesamt weniger Schadstoffe auf als Aschen von Altholz oder anderweitig behandeltem Holz. Nichtsdestotrotz weisen auch diese Rostaschen eine erhebliche Variation bezüglich ihrer Inhaltsstoffe auf. Diese Variation ist zurückzuführen auf:

- Anteil Holz verschiedener Baumarten im Brenngut
- Anteil Holz unterschiedlicher Baumkompartimente im Brenngut
- Verbrennungstemperatur
- Sauerstoffzufuhr während des Brennprozesses
- Präsenz bzw. Absenz von oxidbildenden Elementen

Wenn Rostaschen in den Wald zurückgeführt werden sollen, dann nur solche, die aus Feuerungen stammen, welche eine Leistungen haben, die grösser als 70 kW ist. Bei automatischen Feuerungen ist das Brenngut von homogenerer Qualität, der Verbrennungsprozess läuft geregelter ab und es fal-

len grössere Mengen Holzasche an. Aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse sind die Konzentrationen von chemischen Elementen und Schadstoffen in der Holzasche sehr variabel und im Einzelfall schwer vorhersagbar, insbesondere was die Schwermetalle betrifft (Kap. 1.1-1.2).

Die Mineralogie der Holzaschen ist sehr komplex und variabel. Oxide, Hydroxide und Karbonate der Alkali- und Erdalkalimetalle sind die Hauptbestandteile der Holzaschen. Während der Verbrennung von Holz wird die organische Substanz oxidiert und die Alkali- und Erdalkalimetalle ebenfalls in ihre Oxide überführt, welche nach der Abkühlung der Holzasche langsam hydratisieren und karbonatisieren. Deshalb haben frische, lose Holzaschen einen grösseren Gehalt an Oxiden, ältere dagegen sind eher verfestigt und weisen wie jene, die weiter aufgearbeitet wurden, grössere Gehalte an Hydroxiden und Karbonaten auf. Die Löslichkeit der einzelnen Bestandteile hängt stark von ihrer chemischen Form ab. So sind Oxide und Hydroxide besser und vor allem schneller löslich als Karbonate, die eine viel geringere Basizität und Aggressivität aufweisen (Kap. 1.3-1.4).

Die Form, in welcher die Holzasche ausgebracht wird, hat einen grossen Einfluss auf Art und Heftigkeit der Reaktionen im Boden. Man unterscheidet drei Formen von Holzaschen:

- lose, pulverförmige Holzasche
- karbonatisierte und anschliessend gebrochene Holzasche
- granuliert bzw. pelletierte Holzasche

Die erste Form ist die mit Abstand aggressivste, während die beiden anderen eine viel geringere Löslichkeit und Reaktionsfähigkeit aufweisen. Aus diesem Grunde sind sie der ersten Form vorzuziehen.

Die Auswirkungen einer Holzasche-Ausbringung im Wald sind ausführlich in Kap. 2 (Boden) und 3 (biologische Effekte) beschrieben, während die Toxikologie einzelner Aschebestandteile in Kap. 4 dargelegt wird. Eine Gemeinsamkeit dieser Auswirkungen besteht darin, dass sie sich am stärksten auf sauren Standorten manifestieren.

Unter den abiotischen Effekten sind zu nennen (Kap. 2):

- die Veränderung des Säurezustands des Bodens
 - der pH-Wert wird erhöht, höhere Konzentration an Ca und Mg, geringere Konzentration an Al, mehr DOC und DON
 - Kationenaustauschkapazität und Basensättigung nehmen zu
 - Mineralisierung wird angeregt, deshalb oft hohe Nitratkonzentrationen in Bodenlösung und oft Auswaschung
- Makroelemente: Da Holzasche generell wenig Stickstoff (N) und Kohlenstoff (C) enthält, hat ihre Ausbringung eine relative Verknappung von N zur Folge. Zusätzlich sind die potentiellen Auswaschungsverluste durch erhöhte Nitrifikation zu berücksichtigen. Ähnlich verhält es sich beim Kohlenstoff, der durch Mobilisierung verstärkt ausgewaschen werden kann. Nicht alle Untersuchungen bestätigen diese Reaktionen. Holzasche ist als N-freier Dünger zu betrachten und sein Einsatz kann dort gerechtfertigt sein, wo Nährstoffungleichgewichte, z.B. erhöhte N/P-Verhältnisse durch grosse N-Einträge, vorkommen.
- Holzasche ist eine direkte Quelle von Makronährelementen wie P, Ca, Mg und K. Die Rate, mit welcher die Nährstoffe pflanzenverfügbar werden, hängt von der Löslichkeit der Komponenten der Holzasche ab. Da die Zusammensetzung von Holzasche komplizierter ist als z.B. jene von Kalk, ist ihre Löslichkeit schwer vorhersagbar. Zudem ist die Änderung der Nährstoffverfügbarkeit nach Holzascheausbringung von drei Faktoren abhängig:
 1. Menge und Form der Nährstoffe in der Holzasche,
 2. Ausmass der Verschiebung der pH-abhängigen Gleichgewichte im Boden und damit der meist pH-abhängigen Adsorptionskapazität und -stärke eines Bodens und
 3. Änderungen (meistens Zunahme) der mikrobiellen Aktivität.
- Mikroelemente: Holzasche enthält grosse Mengen an Mikroelementen, wobei darunter sowohl Mikronährstoffe, als auch Schadstoffe ohne essentielle pflanzenphysiologische Funktion zu verstehen sind. Die Holzascheausbringung führt vorerst zu einer Reduktion der Löslichkeit und Verfügbarkeit von Fe, Mn, Zn und Cu, vor allem verursacht durch die pH-Erhöhung. Wenn

der pH-Wert mit der Zeit wieder abnimmt, steigt die Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit der Mikroelemente an.

- Nach derzeitigem Wissensstand werden mit der Holzascheausbringung selten Schwermetallgrenzwerte im Boden überschritten.

Die Rückführung von unbehandelter Rostasche in den Wald zur Verbesserung der Nährstoffbilanz kann ökologisch problematisch sein. Frische, lose Holzasche kann durch ihre hohe Basizität zu Verbrennungen an empfindlichen Pflanzen und Boden-(Mikro-)organismen führen, sowie zu einer verstärkten Mobilität von organischen Substanzen und Bodenelementen beitragen. Normalerweise sind solche Effekte nur von kurzer Dauer und können durch eine Behandlung (Verfestigung) der Holzaschen weitgehend vermieden werden. Daher sollten nur karbonatisierte und gebrochene, oder pelletierte oder granuliert Holzaschen ausgebracht werden, die bezüglich ihrer Reaktionsfähigkeit und der Auswaschung von Salzen erheblich besser abschneiden. Ferner sollten nur dem Standort angepasste Mengen ausgebracht werden, um die Schwermetall-Bilanz nicht negativ zu beeinflussen. Holzasche ist kein Humusersatz und kann daher die Funktion von vermodernder Biomasse für die Nährstoff- und Wasserversorgung der Waldbäume nicht ersetzen, die ebenfalls essentiell für die Standortfruchtbarkeit ist.

Für eine Ascheausbringung in granulierter oder pelletierter Form sind zusätzliche Arbeitsschritte notwendig, die zu einem erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwand führen (Kap. 7). Die Helikopterausbringung bietet gegenüber der bodengestützten Ausbringung aus ökologischer Sicht einige Vorteile, ist aber etwas teurer und könnte zudem auf Akzeptanzprobleme bei der Bevölkerung stossen.

Die biologischen Effekte betreffen die Bodenvegetation und -fauna, die Bodenmikrobiologie, das Baumwachstum und die Nährstoffverfügbarkeit (Kap. 3):

- **Bodenvegetation:** Praktisch alle der publizierten Arbeiten fanden ähnliche Resultate: eine Abnahme des Deckungsgrades von Moosen und Zwergsträuchern, wohingegen Gräser und Kräuter gefördert wurden. Diese Effekte variierten jedoch beträchtlich in Abhängigkeit des Bodentyps. Auf sauren, sandigen Böden waren die Effekte in den ersten Jahren nur schwach und später für die meisten Arten nicht mehr signifikant. Auf der anderen Seite verursachte die Holzascheausbringung auf Mooren eine vollständige Veränderung der Krautvegetation. Generell gilt, dass die Effekte mit der ausgebrachten Holzaschenmenge zunehmen.
- **Baumwachstum:** Es ist zu vermuten, dass eher Harthölzer von einer Ascheausbringung profitieren könnten, da sie im Vergleich zu Weichhölzern einen grösseren Bedarf an basischen Kationen (Ca, Mg, K) haben. Trotzdem handelt die publizierte Literatur vor allem von Weichhölzern (meistens Koniferen).
 - **Organische Böden:** Auf organischen Böden war oft eine signifikante Wachstumszunahme zu beobachten. Da die Bäume beim Wachstum auf organischen Böden oft unter Mangel an mehreren Elementen wie K und B, aber auch N und P leiden und bei Holzascheausbringung trotzdem eine Reaktion zeigen, muss dies mit biochemischen Prozessen in Verbindung gebracht werden. Auf sauren Böden mit viel organischer Substanz hat die Säureneutralisationskapazität der Holzasche eine pH-Erhöhung und eine Ankurbelung der mikrobiellen Aktivität zur Folge, welche die Mineralisierung der organischen Substanz beschleunigt. Dadurch werden die meisten Elemente, welche bisher im Torf festgelegt waren, pflanzenverfügbar, insbesondere auch Stickstoff. Zudem enthält die Holzasche weitere potentielle Mangellemente wie P und K, womit der Wachstumseffekt auf beides, die pH-Erhöhung und einen gewissen Düngungseffekt der Holzasche, zurückgeführt werden kann. Dabei scheinen die Effekte proportional der Dicke der Torfschicht und der ausgebrachten Menge der Holzasche zu sein. Der Effekt der Holzasche auf die Biochemie der organischen Böden ist langanhaltend und steht in Beziehung zur Säureneutralisationskapazität der gesamthaft eingebrachten Holzasche.
 - **Mineralische Böden:** In Mineralböden sind häufig N und P, seltener auch K die limitierenden Elemente für das Baumwachstum. Da Holzasche nur sehr wenig Stickstoff enthält, ist es logisch, dass auf schlecht N-versorgten Mineralböden nur geringe bis

keine Wachstumseffekte durch Holzasche erwartet werden können. Dies wird durch die wenigen Arbeiten unterstützt, welche eine Zuwachssteigerung durch N-Düngung oder durch eine Kombination von N-Düngung und Holzascheausbringung erreichten, nicht jedoch für eine alleinige Holzascheausbringung und es zeigt auch, dass die Biomasseproduktion auf diesen Mineralböden N-limitiert ist.

- **Nadel- und Blattspiegelwerte:** In einer Meta-Analyse mit den bisher vor allem in den nordischen Ländern publizierten Resultaten konnte allgemein ein Einfluss der Holzascheausbringung auf die elementare Zusammensetzung der Nadeln und Blätter nachgewiesen werden. Sowohl auf organischen als auch auf Mineralböden zeigten die Bäume mit Holzasche signifikant grössere K- und Ca-Konzentrationen im Vergleich zur Kontrolle. Die Abnahme der Mn-Konzentration, eine leichte Zunahme der P-Konzentration und eine bedeutende Zunahme der B-Konzentration waren jeweils nur auf einem Bodentyp signifikant (Mn und B auf organischen Böden, P auf Mineralböden). Alle anderen Elemente zeigten keine signifikanten Veränderungen.
- **Pilze:** Holzasche führt zu einer Vergrösserung der Biomasse von Ektomykorrhizen, wodurch teilweise auch ein grösseres Nährstoffmobilisierungspotential resultiert.
- **Bodenmikroorganismen:** Die Ergebnisse der zahlreichen Studien der Auswirkungen von Holzasche auf die anderen Bodenmikroorganismen sind nicht immer ganz eindeutig. Allgemein kann eine erhöhte mikrobielle Aktivität und Biomasse sowie eine erhöhte Wachstumsrate erwartet werden.
- **Bodentiere:** Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Ringelwürmer und Mikroarthropoden ziemlich tolerant gegenüber den durch Ascheausbringung verursachten chemischen Veränderungen sind.

In zahlreichen Untersuchungen wurden toxische Effekte von Schwermetallen auf verschiedene Organismen nachgewiesen (Kap. 4). Solche Versuche wurden meist unter Laborbedingungen durchgeführt, in welchen die Spezierung der Schwermetalle im Vergleich zu jener in Böden stark abweicht. In Böden sind die Schwermetalle zu einem grossen Anteil durch organische Substanz komplexiert und in dieser Form nicht direkt toxisch. Eine Holzaschegabe, verbunden mit einer pH-Erhöhung, reduziert die Verfügbarkeit und damit Toxizität der meisten Schwermetalle noch zusätzlich.

Eine grosse Ausnahme von diesem Verhalten bildet Chromat, Cr(VI), die oxidierte Form von Chrom. Seine Löslichkeit nimmt mit steigendem pH-Wert stark zu. Deshalb und wegen der grossen Toxizität von Chromat wurden Verfahren zur Reduktion von Cr(VI) entwickelt. Allerdings gibt es auch Hinweise, dass Cr(VI) in der organischen Auflage der Böden zum schwerlöslichen Cr(III) reduziert wird, wodurch sich dieses Problem erheblich entschärft.

Die Holzasche-Ausbringung im Wald dient der Schliessung von Nährstoffkreisläufen, sie ist keine Abfallentsorgung. Dies setzt allerdings eine detaillierte Kenntnis der Stoffvorräte und -flüsse eines Standorts voraus, inklusive der bei der Holzernte entnommenen Nährstoffmengen. Die zurzeit in der Schweiz verfügbare Datengrundlage ist nicht ausreichend für eine solche Bilanzierung. Aus diesem Grunde wurden zu diesem Thema Kenntnisse aus dem umliegenden Ausland zusammengetragen und ausgewertet (Kap. 5).

Waldbauliche Massnahmen haben einen grossen Einfluss auf den Nährstoffhaushalt. Kahlschläge und Femelschläge mit 20% Vorverjüngung führen zu verstärkter Nährstoffauswaschung, während bei Dauerwaldbewirtschaftung und Femelschlag mit 80 % Vorverjüngung kaum Basenverluste auftreten. Dieses Problem wird durch neuartige, weitestgehend mechanisierte Arbeitsverfahren (Harvester, Kombiseilgerät) noch verschärft, da diese dem Wald verfahrensbedingt Vollbäume entziehen, wenn keine Kronenkappungen im Bestand erfolgen.

Da bei der Durchforstung und der Holzernte Licht und Wärme in den Wald eindringt, wird dabei die Mineralisation angekurbelt. Deshalb sollte Holzasche nicht unmittelbar im Anschluss daran ausgebracht werden, sondern erst 3-5 Jahre danach, um einen zusätzlichen Mineralisationsschub zu verhindern.

Nachhaltige Waldbewirtschaftung und langfristige Sicherstellung der Bodenfruchtbarkeit gehören zusammen. Wie der vorliegende Bericht zeigt, werden je nach Bodentyp und Holzernteverfahren die Grenzen des Zulässigen schnell erreicht oder gar überschritten. Daher sollten bereits bei der Planung der Holzernte die Folgekosten miteinbezogen werden. Bei der Energieholzbereitstellung beinhaltet dies die Aufwendungen und Massnahmen zur Sicherstellung der Nährstoffverfügbarkeit und die Kosten zur Entsorgung, bzw. Verwertung des „Abfalls“ aus dem Verbrennungsprozess. Da heute noch viele Grundlagen für eine umfassende Bilanzierung der Nährstoffvorräte und -umsätze fehlen, gilt es, diese Lücken so rasch wie möglich zu schliessen (Kap. 7).

10.3 Emissionsgrenzwerte aus der Luftreinhalteverordnung (LRV)

Die Emissionen von Feuerungen, die mit Holzbrennstoffen nach Anhang 5, Zi. 3, Abs. 1 betrieben werden, dürfen folgende Werte nicht überschreiten:

		Feuerungswärmeleistung				
		bis 70 kW	über 70kW bis 500kW	über 500kW bis 1 MW	über 1 MW bis 10 MW	über 10 MW
Bezugsgrösse: Die Grenzwerte beziehen sich auf einen O ₂ -Gehalt im Abgas von:	%vol	13	13	13	11	11
Feststoffe insg.:						
- ab 1.09.2007	mg/m ³	-	150	150	20	10
- ab 1.01.2008	mg/m ³	-	150	20	20	10
- ab 1.01.2012	mg/m ³	-	50	20	20	10
Kohlenmonoxid (CO): - f. Holzbrennst. n. An.5, Z. 3, Abs.1, a &b						
- ab 1.09.2007	mg/m ³	4000	1000	500	250	150
- ab 1.01.2012	mg/m ³	4000	500	500	250	150
- f. Holzbrennst. n. An.5, Z. 3, Abs.1, c	mg/m ³	1000	1000	500	250	150
- f. Holzbrennst. n. An.5, Z. 3, Abs.1, c	mg/m ³	1000	500	500	250	150
- Stickoxide (NO _x) angegeben als NO ₂	mg/m ³	3	3	3	3	150
- gasf. organ. Stoffe, angegeben als Gesamt-Kohlenstoff (C)	mg/m ³	-	-	-	-	50
- Ammoniak & Ammoniumverbindungen, angegeben als Ammoniak	mg/m ³	-	-	-	30	30

10.4 Immissionsgrenzwerte aus der Luftreinhalteverordnung (LRV)

Schwebestaub (PM10) ¹	20 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m ³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Blei (Pb) im Schwebestaub (PM10) ¹	500 ng /m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Schwebestaub (PM10) ¹	1,5 ng/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
¹ Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm		

S-Wert für Schwebestaub (PM10) = 50 µg/m³ (S = Grenzwert für die von der Anlage verursachten maximalen Kurzzeit-Immissionen)



10.5 Übersicht Grenzwerte aus verschiedenen Rechtsbereichen und Gehalte nach verschiedenen Ascheanalysen

Grenzwerte für Schwermetalle und organische Schadstoffe in mg/kg, soweit nicht anders bezeichnet. TEQ = Toxizitätsäquivalent; Toxizität eines Stoffes / einer Verbindung in Relation zur Toxizität des hochgiftigen 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-1,4-dioxin = „Seveso-Dioxin“)

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink	Fluor	Chlor	Quecksilber	PCB	PAK	Benzo-a-pyren	Dioxine, Furane
ChemRRV (GW Recycling-Dünger)	120	1	-	100	30	400	-	-	1		4		20
											g/Tonne		ng/l-TEQ
ChemRRV (GW Mineraldünger)		In P-Dü. mit > 1% P: 50 g/Tonne P	2000 g/Tonne										
Inertstoffdeponie (TVA)	500	10	500 Cr ^{VI} 0,1	500	500	1000			2	1	25	3	
Reaktordeponie (TVA)	2000	10	1000 Cr ^{VI} 0,5	5000	1000	5000			5	10	250	10	
VBo (Richtw.) mg/Kg TS Boden, für Böden b. 15% Humus	50	0,8	50	40	50	150	700		0,5				5 ng/l-TEQ (0-20cm)
Grenzwerte für die Asche-Ausbringung BUWAL-Empf. 1996¹⁾ (Wert analog Kompost-GW)	100	3	100	150	90	600			1,0				

Gehalte gemäss verschiedener Ascheanalysen.

Rostasche aus LRV-konformen Anlagen²⁾	10	-	20	210	120	470			770				
Rostasche aus naturb. Holz gr. Feuerungen	14	2	70	138	58	193	20	166			1'513		µg/kg
Mittelwert Rostaschen³⁾	33	3	62	162	46	400							

¹⁾ Nofer, D., Felber, H., Pletscher, E. 1996: Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 269

²⁾ Lienemann, Vock, Wüest, 2009: Beurteilung der Holzascheanalysen mit mobilen Röntgenfluoreszenz-Spektrometern, Zentralschweizer Umweltfachstellen

³⁾ v. Wilpert, K. 2002: Eckpunkte und wissenschaftliche Begründung eines Holzasche-Kreislaufkonzeptes. In: Holzasche-Ausbringung im Wald, ein Kreislaufkonzept. Ber. Freibg. Forstl. Forschung 43, 17-27.