

Eckpunkte und wissenschaftliche Begründung eines Holzasche-Kreislaufkonzepts

KLAUS V. WILPERT

1 BEGRÜNDUNG

Energieerzeugung durch Verbrennen des regenerativen Rohstoffes Holz ist ein zukunftsweisendes Konzept, da bei der Bildung des Holzzuwachses im Wald genauso viel CO₂ gebunden wird wie durch die Verbrennung wieder in die Atmosphäre gelangt. Bei der Verbrennung von Holz bleibt Holzasche übrig, in der basische Elemente wie Calcium, Kalium und Magnesium angereichert sind, die gleichzeitig wertvolle Pflanzennährstoffe sind. Angesichts der Tatsache, dass durch nutzungs- und immissionsbedingte Einflüsse Waldböden in den vergangenen Jahrzehnten großflächig versauert sind, ist die Rückführung der mit der Holzbiomasse den Wäldern entzogenen Basizität in Form von Holzasche sinnvoll und entspricht dem im Abfall- und Kreislaufwirtschaftsgesetz verankerten Kreislauf- und Recyclinggedanken. Da in der Holzasche jedoch nicht nur nützliche Elemente, sondern auch Schwermetalle angereichert sind und außerdem durch die extrem hohe Alkalinität (pH-Werte > 10) und die hohe Löslichkeit von Holzaschen, deren Ausbringung auch Schäden verursachen kann, ist ein Kreislaufkonzept so zu gestalten, dass Schäden mit hohen Sicherheitsmargen vermieden werden und gleichzeitig eine hinreichend ausgeprägte Nutzwirkung der Ascheausbringung erzielt wird. Auf der Basis von Ausbringungsversuchen und Modellversuchen im Labor wird die Nutz- und Schadwirkung der Holzascheausbringung eingeschätzt und ein Regelwerk formuliert, das eine umweltverträgliche Gestaltung eines Holzaschekreislaufes bei hinreichender Nutzwirkung gewährleistet. Diese Regeln müssen so einfach und operational sein, dass sie routinemäßig kontrolliert und im praktischen Betrieb der Waldbodenmelioration umgesetzt werden können.

In Deutschland müssen derzeit auch reine Waldholzaschen noch auf Deponien entsorgt werden – im Gegensatz zu Österreich und der Schweiz fehlt eine rechtliche Grundlage, welche die Bodenmelioration mit Holzasche regelt.

• BEDARF FÜR EIN HOLZASCHEN-KREISLAUFKONZEPT

Durch die Deposition von starken Säurebildnern (SO_4^{2-} , NO_3^-) in der Größenordnung von derzeit ca. $1,3 \text{ kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ in Baden-Württemberg findet ein äquivalenter Austrag von Basizität in Form von Neutralsalzen statt (s. Abb. 1). Durch Holznutzung findet ebenfalls ein Basenexport statt, der zwar bei geringer oder nicht vorhandener Depositionsbelastung von der „nachschaffenden Kraft“ der Silikatverwitterung i.d.R. kompensiert wird, aber bei hohen Bodenversauerungsgraden relevant ist (ULRICH 1999). Wenn durch eine verstärkte Biomassenutzung für Energieerzeugung dieser nutzungsbedingte Basenexport verstärkt wird, wird insgesamt die Tendenz zur Entbasung und damit Versauerung des Bodens intensiviert. Der Basenexport mit der Holzernte kann bei hoher Ernteintensität die Größenordnung der weitgehend geschlossenen, internen Stoffkreisläufe mit dem Bestandesniederschlag (der K-Vorrat läuft im Bestandesniederschlag bis zu 7-mal um) und mit dem jährlichen Streufall erreichen oder übersteigen.

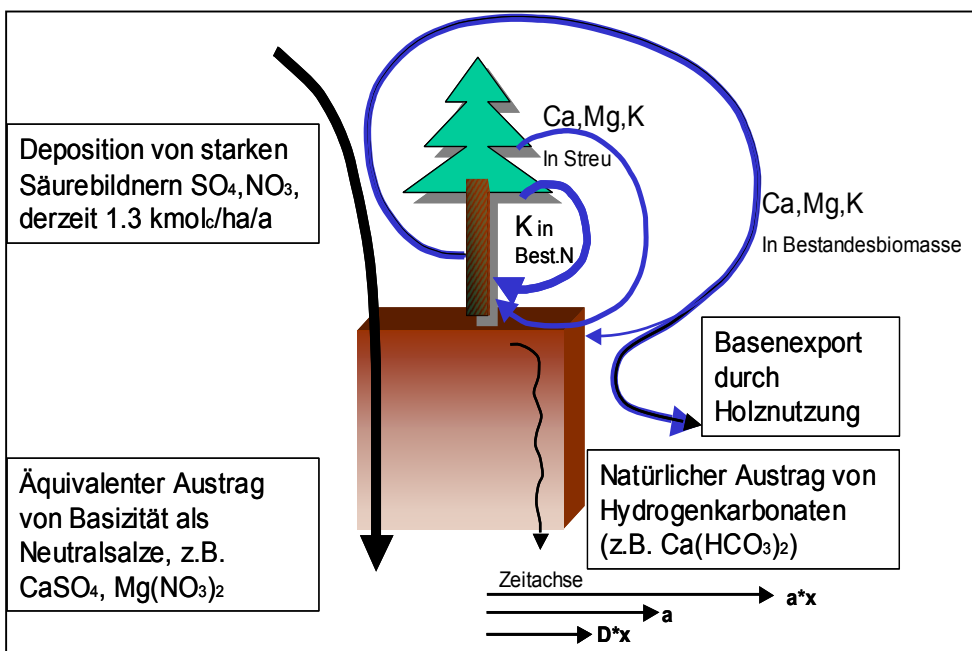


Abb. 1: Schematisierte Darstellung der relativen Intensität von biogeochemischen Elementkreisläufen in Wäldern und deren Störung durch Depositionen und Nutzung.

Gegenüber dem geringfügigen Basenaustrag in Form von Hydrogenkarbonaten in anthropogen nicht beeinflussten Waldökosystemen sind die Basenausträge durch die genannten anthropogenen Störfaktoren um Größenordnungen höher. Damit besteht ein massiver Bedarf, Basizität in Waldökosysteme zurückzuführen, wenn das Ziel geschlossener Stoffkreisläufe als wesentliches Merkmal einer auf Standortnachhaltigkeit ausgerichteten Forstwirtschaft ernstgenommen wird (HILDEBRAND 1994, v. WILPERT et al. 2000). Diese Rückführung von Pufferkapazität erfolgt üblicherweise in Form von Bodenschutzkalkungen. Sie kann aber auch durch die Wiederausbringung der Holzaschen aus Verbrennung von Waldholz erfolgen (ANDERSSON & LUNDKVIST 1989).

Holzaschen sind jedoch nicht nur wegen ihres Gesamt-Basengehaltes interessant, sondern auch wegen ihrer spezifischen Nährelementgehalte. Hier steht besonders der Kaliumgehalt im Vordergrund, im Zusammenhang mit den innerhalb des letzten Jahrzehnts deutlich ausgeweiteten Kaliummangelsymptomen in Wäldern (Abb. 2). Während des vergangenen Jahrzehnts haben sich in Baden-Württemberg die Areale mit latentem oder akutem Kaliummangel auf alle Regionen mit flächig entbasten Lehmstandorten ausgeweitet (v. WILPERT & HILDEBRAND 1994).

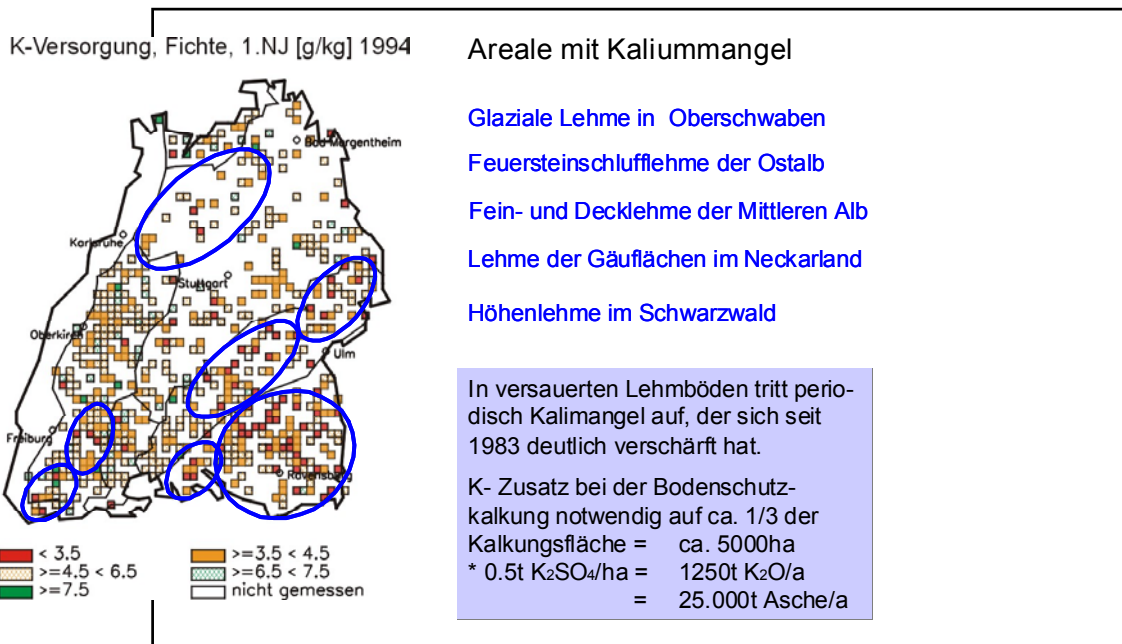


Abb. 2: Areale mit Kaliummangel (blau markiert) bei Fichte (1. Nadeljahrgang) gemessen im Jahr 1994.

Innerhalb der in Abb. 2 markierten Areale lag der Kaliumgehalt im ersten Nadeljahrgang bei Fichte großflächig unter 4.5 g/kg Trockenmasse und auf ca. 1/4 dieser Flächen unter 3.5 g/kg, Letzteres zeigt deutlichen Mangel an. Diese latente Kaliummangelsituation wird bei der Bodenschutzkalkung derzeit durch Beimischung von 0.5 t/ha Kaliumsulfat berücksichtigt, wenn der Kaliummangel im Einzelnen nadelanalytisch nachgewiesen ist. Nach der Übersicht in Abb. 2 ist ein latenter Kaliummangel in Baden-Württemberg auf ca. 1/3 der kalkungsbedürftigen Standorte, d.h. auf ca. 5000 ha Fläche pro Jahr, gegeben. Wenn auf dieser Fläche die Kaliumbeimischung vollständig durch Holzasche erbracht wird, würde dies bei einem mittleren Kaliumgehalt der Holzasche von 5 % K₂O-Äquivalenten einen jährlichen Aschebedarf von 25.000 t bedeuten. Diese Größenordnung liegt aktuell im oberen Bereich des Holzascheaufkommens in Baden-Württemberg (JOOS & DEINES 2002), insbesondere wenn die Asche relativ strengen Qualitätsnormen unterworfen wird. Wenn die Entwicklung der Holzenergie-Initiative des Landes Baden-Württemberg weiter so dynamisch verläuft wie in den vergangenen Jahren, wäre es realistisch, den gesamten Kaliumbedarf bei der Waldkalkung durch Waldholzasche zu decken.

• BESONDERE WERTSTOFFEIGENSCHAFTEN VON HOLZASCHEN

Aufgrund der hohen Basizität (durchschnittlich 35 Gewichtsprozent) eignet sich Holzasche hervorragend zur Unterstützung der Pufferkapazität versauerter Waldböden. Für die Waldernährung relevante Komponenten sind die Makronährelemente Kalium und Magnesium (mit durchschnittlich 5 – 10 Gew%) und Phosphor mit 1 – 2 Gew% (NIEDERBERGER et al. 2002). Insbesondere die Kaliumkomponente ist angesichts der zunehmenden Kaliumengpässe auf lehmigen Waldböden von Interesse (v. WILPERT & HILDEBRAND 1994). Dass die Kaliumversorgung von Fichten nach einer Holzascheausbringung deutlich verbessert werden kann, wurde im Freilandversuch im Düngerversuch „Conventwald“, einem Standort im Mittleren Schwarzwald mit periodisch schwach ausgeprägtem Kaliummangel, gezeigt (s. Abb. 3). Bereits ein halbes Jahr nach der Ascheausbringung lagen die Kaliumgehalte im ersten Nadeljahrgang auf der mit 2.4 t/ha behandelten Fläche deutlich höher als auf der im Bereich der Mangelgrenze liegenden unbehandelten Parzelle. Drei Jahre danach liegt der Mittelwert auf der Ascheparzelle signifikant um 34 % über dem Vergleichswert der Kontrollparzelle. Aber auch auf der Kontrollparzelle lagen die Kaliumgehalte um 1.2 g/kg höher und damit deutlich über der Mangelgrenze. Diese zeitliche Variabilität ist ein Hinweis auf eine starke Witterungsabhängigkeit der Kaliumversorgung.

Die Phosphatkomponente ist insbesondere auf Standorten mit inaktiven Rohhumusformen günstig und würde auf diesen Standorten die bei der Waldkalkung übliche, relativ teure Beimengung von Rohphosphat teilweise ersetzen können.

Die hohe Löslichkeit der Holzaschen ist in Bezug auf die chemische Bodenmelioration in Zusammenhang mit Waldkalkungen prinzipiell positiv zu bewerten, da dadurch schon bei einer einmaligen Maßnahme eine höhere Tiefenwirkung gegenüber dem schwerer löslichen Dolomit erzielt wird. In Geländeversuchen konnte gezeigt werden, dass schon wenige Jahre nach Holzascheausbringung eine viel tiefgreifendere Entsauerung der Austauscheroberflächen bis mehrere Dezimeter in den Mineralboden hinein eintritt als nach herkömmlicher Kalkung mit Dolomit (BÜTTNER et al. 1998). Eine zu hohe Löslichkeit kann aber auch einen spontanen Salzeffekt mit einer pulsartigen Mobilisierung von Aluminiumionen auslösen, die durch die hohe Konzentration von Neutralkationen in der Bodenlösung von den Austauscheroberflächen im Boden verdrängt werden. Diese Gefahr wird bei einer Mischung mit carbonatischem Dolomitskalk gemindert, wie die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse von im Labor unter kontrollierten Bedingungen durchgeführten Lösungsversuchen zeigen.

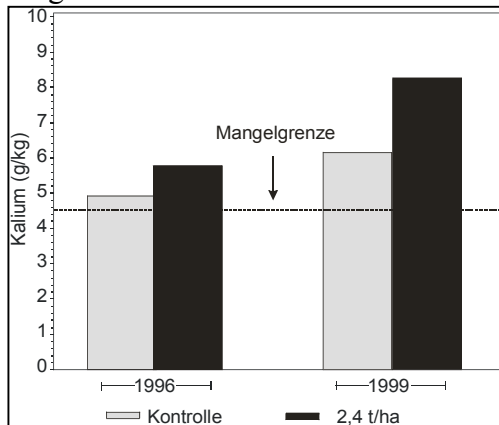


Abb. 3: Kaliumgehalte in Fichtennadeln des 1. Nadeljahrgangs (Mischprobe aus 5 Bäumen je Parzelle) auf Kontroll- und Behandlungsparzelle (2.4 t/ha Holzasche) im Jahr der Ascheausbringung (1996) und drei Jahre danach.

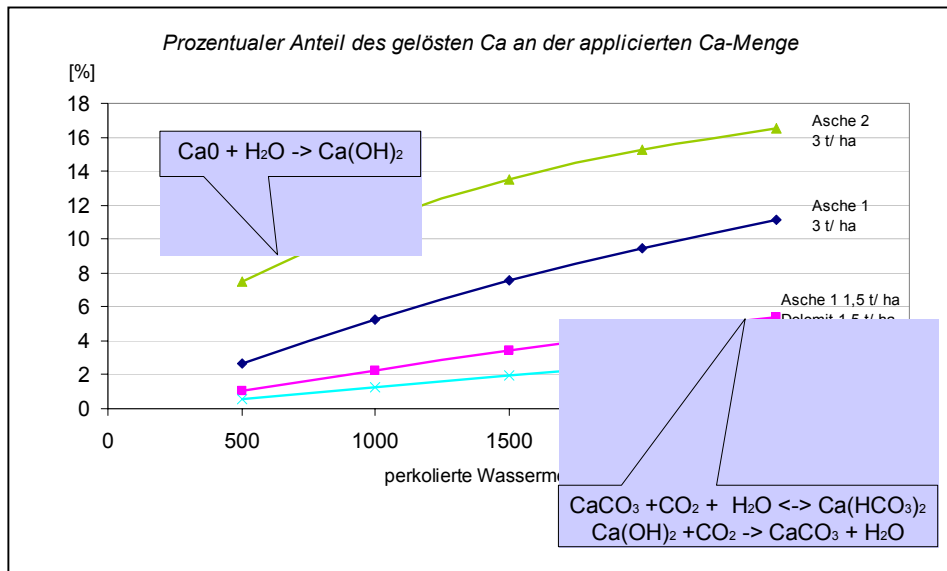


Abb. 4: Gelöste Calciumanteile bei Perkolation von reinen Ascheproben und einer Dolomit/Asche-Mischung auf inerten Quarzsandsäulen.

Die Lösungsversuche wurden mit destilliertem Wasser auf inerten Quarzsandsäulen durchgeführt, auf die Asche, Dolomit und eine Dolomit/Asche-Mischung jeweils in der einer Dosierung von 3 t/ha entsprechenden Menge aufgebracht worden waren. Die Perkolation wurde in fünf 500 ml-Fractionen durchgeführt, wodurch die

Kinetik der Düngemittellösung erkennbar wird. Die gesamte Perkulationsmenge von 2500 ml entspricht einem Jahresniederschlag von 1000 mm. Die aus unterschiedlichen Holzaschen im Perkulationsversuch freigesetzten Calciummengen sind bei verschiedenen Aschequalitäten (Asche 1 und Asche 2) deutlich unterschiedlich. Bei der Mischung von Dolomit und Asche 1 liegen die gelösten Calciumanteile an den mit dem Dünger applizierten Calciummengen jedoch nicht im Bereich der Hälfte zwischen beiden Reinsubstanzen, sondern konsequent bei 20 – 25 %. Das bedeutet, dass die Calciumfreisetzung aus der

Holzasche durch Dolomitbeimischung deutlich verlangsamt wird. Es ist wahrscheinlich, dass dies in einer Wechselwirkung zwischen der umkehrbaren Dolomitlösung (Calciumcarbonat setzt sich mit Wasser und CO₂ zu Calciumhydrogencarbonat um und umgekehrt) und einer Carbonatisierung von Calciumhydroxid begründet ist. Dadurch wird sowohl das hochlösliche CaO aus der Holzasche als auch der deutlich weniger lösliche Dolomit in Calciumcarbonat-Präzipitate überführt, die besser löslich sind als die gängigen geologischen Dolomitvorkommen. Durch die Mischung von Asche und Dolomit scheint also eine Harmonisierung der Löslichkeit beider Substanzen einzutreten, wodurch die ökosystemare Wirkung und Verträglichkeit erhöht wird.

• **SCHADSTOFFGEHALTE**

Ebenso wie alle anderen mineralischen Biomassebestandteile reichern sich jedoch in den Holzaschen auch Schwermetalle an. Potentiell kritische Elemente sind hierbei Cadmium, Chrom, Blei, Nickel und Kupfer. Die Schwermetallkonzentrationen in der Asche werden entscheidend vom Brennmaterial beeinflusst. Holzwerkstoffe, imprägnierte Hölzer und Schwermetall-Hölzer mit Farbanstrichen führen zu um Größenordnungen höheren Konzentrationen als reines Waldholz. Aber auch bei der ausschließlichen Verbrennung von unbehandelten Hölzern können Schwermetallgehalte z.B. durch Anteile von Hackgut aus Straßenbegleitpflanzungen deutlich erhöht sein (z.B. Cadmium und Blei). Cadmium ist aufgrund seiner hohen Umwelttoxizität und der relativ hohen Konzentration in Holzaschen ein Problemelement. In Brennraumaschen aus reinem Waldholz liegen im Bereich Baden-Württemberg die Mittelwerte aus über 60 analysierten Brennraumasche-Proben für die Belastung mit Cadmium bei 3 mg/kg, mit Chrom_{gesamt} bei 62 mg/kg, mit Kupfer bei 162 mg/kg, mit Nickel bei 46 mg/kg und mit Blei bei 33 mg/kg (s. auch Tab. 1). Eine besondere Problematik stellt die Belastung von Holzaschen mit Chrom(VI) dar. Bei der Verbrennung von Holz wird ein Teil des im Holz vorhandenen Chroms in seine höchste Oxidationsstufe (Chrom(VI)) überführt. Begünstigt wird dies durch Sauerstoffüberschuss und hohe Temperaturen, wie sie bei der Verbrennung typisch sind. Chrom(VI) ist wegen seiner toxischen und kanzerogenen Eigenschaften in seiner Wirkung auf Lebewesen und Ökosysteme bedenklich (NIEDERBERGER et al. 2002). Bei einer Ausbringung auf Waldböden kommen Holzaschen direkt mit der Humusaufgabe in Kontakt. Organische Substanz wirkt als Elektronendonator und reduziert spontan das in der Holzasche enthaltene und toxische Chrom(VI) zu dem nicht oder kaum toxischen Chrom(III). Dieses wird insbesondere bei saurem pH-Milieu spezifisch an Eisenoxide im Boden adsorbiert und ist dann nahezu immobil. In Labor-Modellversuchen konnte gezeigt werden, dass nach der Humuspassage im Bodenwasser kein Chrom(VI) mehr nachweisbar war. Das bedeutet, dass gerade auf stark versauerten Waldböden mit mehr oder weniger mächtigen Humusaufgaben, die für eine Bodenschutzkalkung und/oder Ascheausbringung infrage kommen, die Chrom(VI)-Problematik durch das Reduktionspotential in der Humusaufgabe entschärft wird. Außerdem sind derzeit technische Verfahren im Stadium der Praxisreife, die durch entsprechende Gestaltung der Brennraumtechnik die Entstehung von ChromVI minimieren (BRILL 2002, SCHULZE & MARUTZKY 2002).

• **REGELN FÜR EIN HOLZASCHE–KREISLAUFKONZEPT**

Die dargestellten Aspekte zeigen, dass für die Verwendung von reinen Waldholzaschen bei der Bodenschutzkalkung im Wald spezifische Meliorations- und Düngeeigenschaften der Asche vorliegen. Demgegenüber ist die Schadstoffbelastung mit Schwermetallen vergleichsweise niedrig und wird in Waldböden wie z.B. bei Chrom oder Blei vergleichsweise stabil gebunden. Eine Beteiligung von Holzasche im Rahmen der Bodenschutzkalkung im Wald ist aus den oben dargestellten Gründen wünschenswert.

Voraussetzung für die politische Akzeptanz und die verantwortliche Gestaltung eines solchen Kreislaufkonzeptes ist jedoch, dass die zur Ausbringung geeignete Holzasche einer harten Qualitätsnorm unterworfen wird und deren Einhaltung durch Analysen periodisch belegt wird. Für eine Normung der Holzasche und deren Qualifizierung als Sekundärrohstoffdünger werden folgende Rahmenwerte und Festlegungen vorgeschlagen:

Es dürfen **nur Holzaschen aus reinem Waldholz** ausgebracht werden. Hackgut aus Straßenbegleitpflanzungen ist auszuschließen.

Die Ausbringung von Holzaschen ist ausschließlich auf **reine Brennraumaschen** zu beschränken. Dadurch wird insbesondere bei den flüchtigen Schwermetallen eine Reduktion der Schwermetallgehalte gegenüber den in der Biomasse ursprünglich enthaltenen Schwermetallmengen erreicht. Die voluminemäßig untergeordneten aber hochbelasteten Zyklonen- und Filterstäube müssen als Sondermüll entsorgt werden. Deren Deponierbarkeit kann unter Umständen durch eine Verminderung der Eluierbarkeit durch eine Vermörtelung in Zement-Pellets verbessert werden.

Als **Schwermetall-Orientierungswerte** werden Grenzwerte vorgeschlagen, die einerseits von einem hinreichend hohen Anteil der Rostaschen aus reinem Waldholz unterschritten werden und andererseits im Rahmen einschlägiger Verordnungen der Umweltgesetzgebung liegen (Tab. 1). Einige Elemente wie z.B. Cadmium aber auch Chrom(VI) sind aufgrund ihrer hohen Toxizität problematisch und überschreiten im Mittel der bei der FVA durchgeführten Analysen einige Grenzwerte der relevanten Regelwerke deutlich. Hier ist darüber nachzudenken, ob es möglich ist, bei den Grenzwerten moderat erhöhte Toleranzen zuzulassen, wenn die Ascheausbringung auf den Einsatz im Rahmen der Bodenschutzkalkung im Wald begrenzt ist und dies in Form eines klar definierten Kreislaufkonzeptes von der Forstverwaltung geplant und kontrolliert wird. Entscheidend ist hierbei, dass durch niedrige Dosierung und Wiederholungsturnus die sichere Unterschreitung maximal zulässiger Frachtraten garantiert ist um langfristig Bodenbelastungen zu vermeiden. Selbstverständlich dürfen bei den einzelnen Ausbringungskampagnen keine toxischen Schwermetallkonzentrationen entstehen. Wenn die Ascheausbringung jedoch zwingend an die Bodenschutzkalkung gekoppelt wird, ist für die Beurteilung der Toxizitätsfrage die Schwermetallkonzentration in der Kalk-Asche-Mischung entscheidend.

Tab. 1: Vergleich der durchschnittlichen Schwermetallkonzentrationen in Brennraumaschen aus baden-württembergischen Feuerungen mit Grenzwerten der Bioabfallverordnung (BioAbfVO) ¹⁾, der geltenden und der im Entwurf überarbeiteten Düngemittelverordnung (DüngMVO) ¹⁾ sowie den Orientierungswerten des Schweizer Bundesumweltamtes (BUWAL) ²⁾.

Element	Mittelwert Rostaschen [mg/kg] n = 63	FVA - Vorschlag [mg/kg]	BioAbfVO [mg/kg]	DüngMVO 1997 [mg/kg]	DüngMVO Entwurf 02 [mg/kg]	BUWAL CH [mg/kg]
Cd	3	3	1	4	1.5 (2)	3
Cr _{ges.}	62	100	70	200	Cr(VI) 2	100
Cu	162	200	70	200		150
Pb	33	100	100	200	150	100
Ni	46	100	35	30	80	90
Zn	400	600	300	750		600

¹⁾ zitiert nach BANNIK et al. (2001), ²⁾ BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (1996).

Bei den Elementen Kupfer, Nickel und Zink liegen die Grenzwerte einiger Regelwerke ebenfalls etwas unterhalb der Analysemittelwerte. Dieses erscheint jedoch aufgrund der geringeren Toxizität dieser Elemente tolerabel und ist ebenfalls über eine rigide Begrenzung der Frachtraten steuerbar.

Die Einhaltung der Orientierungswerte sollte durch **periodische Holzaschenanalysen** nachgewiesen werden. Die Ascheausbringung im Wald sollte nur in **Kombination mit der Bodenschutzkalkung** erfolgen. Die Löslichkeit von Aschebestandteilen und Dolomit gleichen sich dabei an (s. Kap. 3). Technisch ist eine Mischung zwischen Düngekalken und Holzasche sowohl bei der Verwendung erdfeuchter Kalke als auch bei der Granulierung problemlos möglich. Da die hohe Reaktivität der Holzasche ökosystemare Risiken der Bodenschutzkalkung verstärken kann, sollte die **Aschebeimischung** bei der Waldkalkung **30 %** nicht übersteigen. Die Gesamtdosierungsmenge der Holzasche sollte die Größenordnung von **2,5 t/ha je 15-Jahresturnus** nicht übersteigen. Wenn man einen 15-jährigen Turnus der Bodenschutzkalkungen annimmt und bei einer praxisüblichen Kalkung in der Dosierung von 3 t Dolomitkalk eine Tonne durch Holzasche substituiert wird, würde in der Umtriebszeit eines Buchenbestandes (150 Jahre) eine Gesamtaschemenge

von 10 t pro Hektar ausgebracht. Dies entspricht in etwa der doppelten Menge, die z.B. bei einem Waldbrand durch vollständiges Verbrennen der oberirdischen Biomasse eines Buchenaltholzes an Asche anfallen würde. Im Vergleich dazu lässt die Richtlinie des Schweizer Bundesumweltamtes auf landwirtschaftlichen Böden eine maximal zulässige Ausbringungsmenge von 8 t Trockenasche pro Hektar in 3 Jahren zu.

Da Dosierungsmenge und Wiederholungsturnus bei einer Ausbringung von Holzasche im Wald im Rahmen der Bodenschutzkalkung zu deutlich niedrigeren Dosierungen führt als sie auf landwirtschaftlichen Böden im Rahmen der Klärschlammverordnung oder der Bioabfallverordnung und in den entsprechenden Regelwerken in der Schweiz und in Österreich vorgesehen sind, scheint es berechtigt, bei kritischen Elementen den Orientierungswert für die Gehalte moderat anzuheben.

Um zu prüfen inwieweit bei einer Aschedosierung von 2.5 t/ha und einem Wiederholungsturnus von 15 Jahren, wie dies im vorliegenden Holzasche-Kreislaufkonzept angedacht ist, die in der Bodenschutzgesetzgebung zur Vermeidung von Bodenbelastungen maximal zulässigen Frachtraten sicher unterschritten werden, wurden in Tab. 2 diese Grenzwerte mit den sich aus den Rostascheanalysen der FVA (63 Brennraumaschen) ergebenden Frachtraten verglichen.

Tab. 2: Grenzwerte für maximal zulässige Schwermetall-Frachtraten (g/ha/a) nach der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchVO) ¹⁾, der Bioabfallverordnung (BioAbfVO) ¹⁾ und einer Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz und Abfallverwertung (LABO/LAGA) ²⁾, sowie relative Unterschreitungen (%) der Frachtraten in der BbodSchVO.

	Grenzwerte für Frachtraten [g/ha/a]			Unterschreitung der Frachtraten nach BBodSchVO [%]			
	BBodSchVO	BioAbfVO	LABO/LAGA	<=GW	<=95% GW	<=50% GW	<=10% GW
Cd	6	6.7	7	100	100	96	75
Cr	300	467	320	100	100	100	95
Cu	360	467	530	100	100	100	84
Pb	400	667	700	100	100	100	100
Ni	100	233	200	100	100	100	87
Zn	1200	2000	2300	100	100	100	89

¹⁾ zitiert nach BANNICK et al. (2001), ²⁾ LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN/ABFALL (1995).

Die Übersicht in Tab. 2 zeigt, dass bei Einhaltung der Regeln für ein Holzasche-Kreislaufkonzept, wie sie von der FVA Baden-Württemberg vorgeschlagen werden, die von der Bundesbodenschutzverordnung geforderten Grenzwerte für maximal zulässige Schwermetallfrachtraten von allen untersuchten Rostaschen zuverlässig unterschritten werden. Auch bei Halbierung dieser Grenzwerte liegen für alle Schwermetalle bis auf Cadmium die Frachtraten bei allen Rostaschen unter diesen halbierten Grenzwerten, für Cadmium wird dieser von mehr als 95 % der Rostaschen unterschritten. Selbst wenn nur 10 % der Frachtraten der im Vergleich zu den anderen Bodenschutzrichtlinien scharfen BBodSchVO angesetzt werden, unterschreiten für alle Elemente mehr als 75 % der Rostaschen diese Grenze.

• SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine Beteiligung von Holzasche im Rahmen der Bodenschutzkalkung im Wald ist wünschenswert. Holzasche ist ein wertvoller basischer Mehrnährstoffdünger. Die ursprünglich in der Waldholz-Biomasse vorhandene Schwermetallfracht wird durch Abtrennung und Entsorgung höher belasteter Zyklon- und Filterstäube abgereichert. Bei Einhaltung der dargestellten Regeln lassen sich alle in der Bodenschutzgesetzgebung relevanten Schwermetall-Frachtraten mit hohen Sicherheitsmargen unterschreiten. Deshalb sollten einzelne für ein realistisches Ausbringungskonzept etwas höher anzusetzenden Konzentrations-Grenzwerte, wie z.B. 3 mg/kg für Cadmium, kein Hinderungsgrund sein. Die derzeit diskutierte Cr(VI)-Problematik ist kein Ausschlussargument, da Chrom spontan in der Humusaufgabe im Wald zu wenig toxischem Cr(III) reduziert wird und dies auch auf technischem Weg im Brennraum erfolgen kann. Die Forstverwaltung ist in der Lage durch entsprechende organisatorische Regelungen in ihrem Einflussbereich die Einhaltung der genannten Regeln sicherzustellen. Es wäre fatal, wenn durch ein zu eng ausgelegtes Grenzwertdenken ein verantwortliches Holzasche-Kreislaufkonzept bei der Novellierung des Düngemittelrechts keinen Platz fände und damit weiterhin die Energieerzeugung auf der Basis des

regenerativen Brennstoffs Holz mit einem ungelösten und wirtschaftlich prohibitiven Entsorgungsproblem belastet bliebe.

• LITERATUR

- ANDERSSON, F.O., LUNDKVIST, H. (1989): Long-term swedish field experiments in forest management practices and site productivity. In: DYCK, W.J. & MEES, C.A. (eds.). Research strategies for long-term site productivity, JEA/BE Workshop Seattle 1988, 125-137
- BANNICK, C.G., BERTRAM, H.U., EMBERT, G., RÖLLEK, F.J. (2001): Bodenschutz und Abfallverwertung, Rechtsvorschriften und Technische Regelwerke – Einführung und Textsammlung. Erich Schmidt, Berlin, 574 S.
- BRILL, S. (2002): Technische Möglichkeiten der Chrom(VI)-Minderung in Holzaschen. In diesem Band S. 145
- BÜTTNER, G., GERING, C., NELL, U., RUMPF, S., v. WILPERT, K. (1998): Einsatz von Holzasche in Wäldern. Forst u. Holz 53, 72-76
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (1996): Verwertung und Beseitigung von Holzaschen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 269, im Selbstverlag des BUWAL, Bern
- HILDEBRAND, E.E. (1994): Der Waldboden – ein konstanter Produktionsfaktor? Allg. Forst Ztg. 2, 99-104
- JOOS, M., DEINES, TH. (2002): Bedeutung des Holzschekreislaufkonzeptes für die Holzenergieinitiative des Landes Baden-Württemberg. In diesem Band S. 9
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN/ABFALL (1995): Anforderungen an die Verwertung von Biokompost und Klärschlamm bei der Rekultivierung von langjährig devastierten Flächen der Braunkohletagebaue in den Neuen Bundesländern. LABO/LAGA H. 5.
- NIEDERBERGER, J., SCHÄFFER, J., v. WILPERT, K. (2002): Nährelement- und Schwermetallgehalte von Holzaschen. AFZ/Der Wald 57, 826-828
- SCHULZE, D., MARUTZKY, R. (2002): Technische und physikalisch-chemische Eigenschaften von Holzaschen. In diesem Band S. 123
- ULRICH, B. (1999): Entwicklungsprognosen für Waldökosysteme aus der Sicht der Hierarchitätstheorie. Forstw. Cbl. 118, 118–126
- v. WILPERT, K., HILDEBRAND, E.E. (1994): Stoffeintrag und Waldernährung in Fichtenbeständen Baden-Württembergs. Forst u. Holz 49, 629–632
- v. WILPERT, K., ZIRLEWAGEN, D., KOHLER, M. (2000): To what extent can silviculture enhance sustainability of forest sites under the immission regime in Central Europe? Water Air and Soil Pollution 122, 1/2, 105–120

Adresse des Autors:

Ltd. FD Dr. K. v. Wilpert
Leiter der Abt. Bodenkunde
FVA Freiburg