

Landwirtschaftliches Potenzial von Asche aus rezykliertem Holz

Hedi Kebli, Alexandra Maltas und Sokrat Sinaj

Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Sokrat Sinaj, E-Mail: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch



Raygraskulturen wurden für den Gewächshausversuch angepflanzt.

Einleitung

Die traditionelle Verwendung von Holzasche in der Landwirtschaft ist etwas in Vergessenheit geraten, da heute der Anwendung von Kalk oder mineralischen Kalium-Düngern der Vorzug gegeben wird. In jüngerer Zeit ist allerdings das Interesse an der Rezyklierung von Holzasche wieder erwacht (Hébert und Breton 2008; Vasilev *et al.* 2013). Asche stellt eine nicht vernachlässigbare Quelle für Magnesium (Mg), Bor (B), Phosphor (P) und vor allem Kalzium (Ca) und Kalium (K) dar (Maltas und Sinaj 2014). Ausserdem ist in der Schweiz wegen dem steigenden Interesse an Bioenergie und Grüner Energie mit einer ständigen Zunahme des Volumens anfallender Asche zu rechnen.

Im Kontext einer zunehmenden Verknappung nicht erneuerbarer fossiler Ressourcen und wegen fehlendem Phosphor- oder Kaliumabbau ist es für die Schweiz wichtig, ihre Abhängigkeit von Mineraldüngern zu verringern. Die seit 2011 von der Gruppe Pflanzenernährung von Agroscope in Changins durchgeführten Versuche haben bisher ermutigende Resultate ergeben (Maltas und Sinaj 2011, 2013 und 2014).

Diese Studie ergab neue Erkenntnisse zu den landwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen einer Anwendung von Rostasche der Holzzentrale Enerbois. Es wurde eine neue Art von Asche untersucht: Rostasche, die teilweise aus rezykliertem Holz stammt. Diese Asche

wurde zu Granulat verarbeitet und allein oder zusammen mit organischen Düngern angewendet.

Material und Methoden

Probenahme und Analyse von Asche und Mist

Die Zentrale Enerbois (Rueyres, Waadt) produziert elektrische Energie durch die Verbrennung von Nebenprodukten (Borken, Rinden, Schnitzel) der benachbarten Sägerei Zahnd. Die Zentrale verwertet auch als Baumaterial verwendetes Holz. Dabei entstehen zwei Arten von Asche: (i) Rostasche und (ii) Flugasche, welche stärker mit metallischen Spurenelementen (MSE) belastet ist (Maltas und Sinaj 2013). In der vorliegenden Studie wurde die Rostasche im Februar 2014 entnommen, bei einer Maschenweite von 3 mm gesiebt, dann vom Unternehmen MEAC (<http://www.meac.fr>) zu einem Granulat verarbeitet, das den Einsatz als Kaliumdünger durch die Landwirtschaftsbetriebe erleichtert. Das Aschegranulat wurde allein oder zusammen mit organischem Dünger angewendet. Als organischer Dünger wurde Geflügelmist («Optisol Universel», hergestellt vom Unternehmen Optisol) verwendet. Bei der Asche und dem Geflügelmist wurden die folgenden chemischen Eigenschaften bestimmt: pH-H₂O, Kationenaustauschkapazität (KAK) durch die Hexaammincobalt-Methode, Gehalt an organischer Substanz durch trockene Verbrennung. Der Gesamtgehalt an Makroelementen und Spurenelementen/MSE wurde bestimmt, nachdem die Asche in Fluorwasserstoff- und Perchlorsäure in Lösung gebracht worden war (NF X 31–147; Ciesielski *et al.* 1997). Der Gehalt an verfügbaren Elementen wurde bestimmt durch Natriumhydrogencarbonat-Extraktion für Phosphor (P) (Olsen *et al.* 1954), durch Hexaammincobaltchlorid-Extraktion für Kalium (K), Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg) (NF X 31–130; Orsini und Remy 1976) und durch CaCl₂-Extraktion für die Spurenelemente und die MSE Zink (Zn), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Blei (Pb) (NEN 5704; Houba *et al.* 1990).

Zusammenfassung Die Eignung von Holzasche als Kaliumdünger wurde im Gewächshaus bei Englischem Raygras getestet. Dazu wurde Asche aus rezykliertem Holz allein oder zusammen mit organischem Dünger auf zwei Bodenarten verteilt: auf einem sauren Boden mit geringer Kaliumverfügbarkeit und auf einem normal versorgten alkalischen Boden. Die untersuchte Asche war reich an Kalzium und Kalium. Ausserdem enthielt sie hohe Konzentrationen an Mikroelementen und metallischen Spurenelementen wie Zink, Kupfer und Blei, wobei die Konzentrationen die gegenwärtig in der Schweiz geltenden zulässigen Maximalwerte teilweise überschritten. Im Vergleich zu früher getesteten Aschearten enthielt die Asche dieser Studie mehr metallische Spurenelemente und das vorhandene Kalium war weniger gut verfügbar. Auf saurem Boden konnte mit der Asche dieselbe Biomasse von Englischem Raygras wie mit dem Referenzdünger (KCl) produziert werden. Der Einsatz der Asche auf alkalischem Boden mit normaler Kaliumversorgung war weniger überzeugend. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen die Bedeutung der Qualität der verwendeten Asche, die wiederum von der Herkunft des Holzes (natürlich oder rezykliert) und vom Verbrennungsprozess abhängt.

Versuchsanlage

Die Dünger auf der Basis von Asche wurden mit Englischem Raygras (*Lolium perenne* L.) im Gewächshaus getestet. Die Temperatur im Gewächshaus wurde zwischen 18 und 25°C gehalten. Es wurden zwei bezüglich pH-Wert und Textur gegensätzliche Bodenarten

Tab. 1 | Beschreibung der acht Düngungsverfahren

Düngungsverfahren	Organischer Dünger	P-Dünger	K-Dünger	Ergänzung mit Kalk
1: TSP ¹	nein	TSP	nein	nein
2: TSP-KCl			KCl	nein
3: TSP-KCl-Kalk			KCl	Branntkalk
4: TSP-Asche			Asche	Asche
5: Mist	Ja	Geflügelmist	Mist	nein
6: Mist-KCl			Mist + KCl	nein
7: Mist-KCl-Kalk			Mist + KCl	Branntkalk
8: Mist-Asche			Mist + Asche	Asche

¹ Triple-Superphosphat.

verwendet: Boden mit einer tonig-schluffigen Textur (42,6% Ton und 31,4% Schluff), mit einem leicht alkalischen pH (pH-H₂O=8,1) und einer normalen Versorgung mit verfügbarem K (K-AAE: 0,154 g/kg) und Boden mit einer sandig-tonigen Textur (52,6% Sand und 29,9% Ton) und mit einem leicht sauren pH (pH-H₂O=5,6), der arm an verfügbarem K ist (K-AAE: 0,102 g/kg). Jeder Topf enthielt 1,25 kg trockene Erde beim sauren Boden und 1,30 kg trockene Erde beim alkalischen Boden. Die Feuchtigkeit des Bodens wurde mit entmineralisiertem Wasser bei 70% der Feldkapazität gehalten, wobei die Feldkapazität mit einem Tensiometer gemessen wurde.

Es wurden acht Düngungsverfahren verglichen, die sich nach der Form der K- und P-Gabe und nach der Ergänzung mit Kalk unterschieden (Tab. 1).

Das Raygras wurde gemäss den schweizerischen Düngungsnormen für intensiv bewirtschaftete Wiesen gedüngt, wonach der Bedarf für N, P, K und Mg bei 150, 48, 270 beziehungsweise 45 kg/ha liegt (Sinaj *et al.* 2009), das heisst bei 60, 19, 108 beziehungsweise 16 mg/kg Boden entsprechend einer Einarbeitungstiefe des Düngers von 20 cm und einem Raumgewicht des Bodens von 1,4 g/cm³. Bei einer Anwendung von Branntkalk (CaO) wurde die Dosis so berechnet, dass sich derselbe neutralisierende Wert wie mit dem entsprechenden Verfahren «Asche» (Verfahren 4 oder 8) ergab. Bei den anderen Mineraldüngern handelte es sich um Ammoniumnitrat (NH₄NO₃) und Kieserit (MgSO₄•H₂O). Jedes Verfahren wurde viermal wiederholt. Abgesehen vom Stickstoffdünger wurden die Dünger fein zerrieben und zusammen in einer einzigen Gabe vor der Aussaat angewendet, indem der Boden von Hand mit den Düngern durchmischt wurde. Der Stickstoffdünger wurde in drei Gaben angewendet, jeweils nach jedem der ersten drei Schnitte.

Der Versuch dauerte zwölf Wochen. Das Raygras wurde alle drei Wochen gemäht, insgesamt vier Schnitte. Nach jedem Schnitt wurde die Biomasse sowie der jeweilige Gesamtgehalt für die einzelnen Makroelemente und Spurenelemente/MSE bestimmt (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb).

Dasselbe Experiment wurde mit Töpfen ohne Pflanzen durchgeführt, um die Freisetzung der Makroelemente und Spurenelemente/MSE in den Boden zu untersuchen. Die Inkubation erfolgte in Töpfen mit 200 g trockener Erde über den gleichen Zeitraum, in demselben Treibhaus und bei denselben beiden Bodenarten. Die inkubierten Böden wurden einen Tag nach der Düngergabe analysiert, und dann gleichzeitig mit dem letzten Raygras-Schnitt nach den vorgängig aufgeführten Methoden.

Statistische Analysen

Die Effekte von Düngung und Bodenart wurde durch Varianzanalyse (ANOVA) mit Hilfe der Software R 3.1.1 (R Development Core Team, 2014) untersucht. Zur Bestimmung signifikanter Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Verfahren wurde der Duncan-Test angewendet.

Die relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) wurde nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\text{RPE (\%)} = \left(\frac{\text{durch die Pflanze entnommenes K bei Anwendung des untersuchten Düngers} - \text{durch die Pflanze entnommenes K ohne K-Düngung}}{\text{durch die Pflanze entnommenes K bei Anwendung des Referenzdüngers} - \text{durch die Pflanze entnommenes K ohne K-Düngung}} \right) \times 100$$

Tab. 2 | Chemische Eigenschaften und Gehalt an Makroelementen und Spurenelementen/MSE insgesamt bzw. in verfügbarer Form von Aschen und Geflügelmist. Pro Düngerart wurden jeweils vier im Jahr 2014 entnommene Proben analysiert.

	Asche		Geflügelmist		zulässiger Grenzwert in der Schweiz ¹
	Durchschnitt	CV (%)	Durchschnitt	CV (%)	
OS (g/kg TS)	8,6	2	586	4	
pH-H ₂ O	12,5	–	8,9	1	
KAK (cmol+/kg TS)	6,7	32	28,0	9	
Makroelemente (g/kg MS)					
Ca – Total	188,3	1	89,3	1	
Ca – verfügbar	18,2	2	1,3	8	
Mg – Total	11,9	1	6,7	4	
Mg – verfügbar	<0,001	–	1,1	1,4	
K – Total	45,5	1	27,5	9	
K – verfügbar	3,5	8	0,3	11	
P – Total	4,1	0,2	23,2	2	
P – verfügbar	0,2	2	3,4	5	
N – Total	<0,02	–	25,9	6	
Spurenelemente und MSE (mg/kg MS)					
Al – Total	33800	0,3	1300	6	
Fe – Total	18500	1	1800		
Mn – Total	3967	1	–	–	
B – Total	73	9	–	–	
Zn – Total	1328	49	684	7	400
Zn – verfügbar	0,79	6	13,9	16	
Cu – Total	459	47	70	9	100
Cu – verfügbar	0,14	8	9,7	30	
Ni – Total	42,5	4	7,2	12	30
Ni – verfügbar	0,07	0,8	1,0	26	
Pb – Total	448,3	19	1,3	41	120
Pb – verfügbar	8,8	32			
Cr – Total	128,7	3	14,9	4	
Cd – Total	0,5	9	0,4	6	1

¹ Gemäss Anhang 2.6 Ziffer 2.2.1 ChemRRV (SR 814.81, 2011).

Resultate und Diskussion

Eigenschaften der Asche und des Mists

Die in dieser Studie verwendeten Aschen haben einen stark basischen pH-Wert (Tab. 2) wegen dem hohen Gehalt an Ca und Mg in Form von Oxiden und Hydroxiden (Maltas und Sinaj 2014). Die Aschen sind eine bedeutende K- und P-Quelle und auch die Spurenelemente Aluminium (Al) und Eisen (Fe) werden in grossen Mengen zugeführt. Ausserdem weisen die Aschen hohe Mengen an MSE auf, insbesondere Zn, Cu und Pb, deren Gehalt die in der Schweiz zulässigen Grenzwerte für Recycling-Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen übersteigt (Tab. 2).

Die in dieser Studie untersuchten Aschen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften von den 2011 durch Maltas und Sinaj (2014) untersuchten Aschen: Der K-Gesamtgehalt ist niedriger, der Gehalt an Mn und B liegt um fast 50% tiefer, der Gehalt an Al, Zn und MSE höher, insbesondere der Pb-Gehalt. Es lässt sich auch eine ausgeprägte Verminderung der K-Löslichkeit gegenüber den Aschen von 2011 feststellen. Damals betrug der Anteil des verfügbaren K am Gesamtgehalt rund 36%, bei der hier untersuchten Asche nur rund 8%. Maltas und Sinaj (2014) berichteten bereits über eine Verschlechterung der Qualität der Rostasche aus der

Holzzentrale Enerbois zwischen 2011 und 2012. Dieser Trend setzte sich 2014 fort. Die Ursachen sind (i) eine Änderung des Verbrennungsprozesses (Verhältnis Rostasche/Flugasche, Verbrennungstemperatur) und (ii) unterschiedliches Verbrennungsmaterial (Verhältnis Rinde/Schnitzel und Einspeisung von neuem, potentiell verschmutztem Material). 2011 entstand die Asche aus «sauberem» Verbrennungsmaterial, das heisst zu 100% aus natürlichem Holz (Rinde, Schnitzel, Überreste von Stämmen), während das Holz für die in dieser Studie verwendete Asche zu 40% aus rezykliertem Holz bestand. Geflügelmist ist eine wichtige Quelle für organisches Material und Makroelemente, namentlich N (Total), P (Total) und K (verfügbar). Er enthält auch viel Zn, was sich auch mit den Literaturwerten deckt (670 mg/kg gemäss Sahin *et al.* 2011; 158 bis 2300 mg/kg gemäss Bolan *et al.* 2004).

Einfluss auf die Produktion der Raygras-Biomasse

Der Einfluss der Düngungsverfahren auf die Produktion der Biomasse von Englischem Raygras hängt von der Art des Bodens ab. Auf alkalischem Boden wurde kein signifikanter Einfluss beobachtet, während auf saurem Boden eine positive Wirkung des K-Zusatzes festzustellen war (Abb. 1).

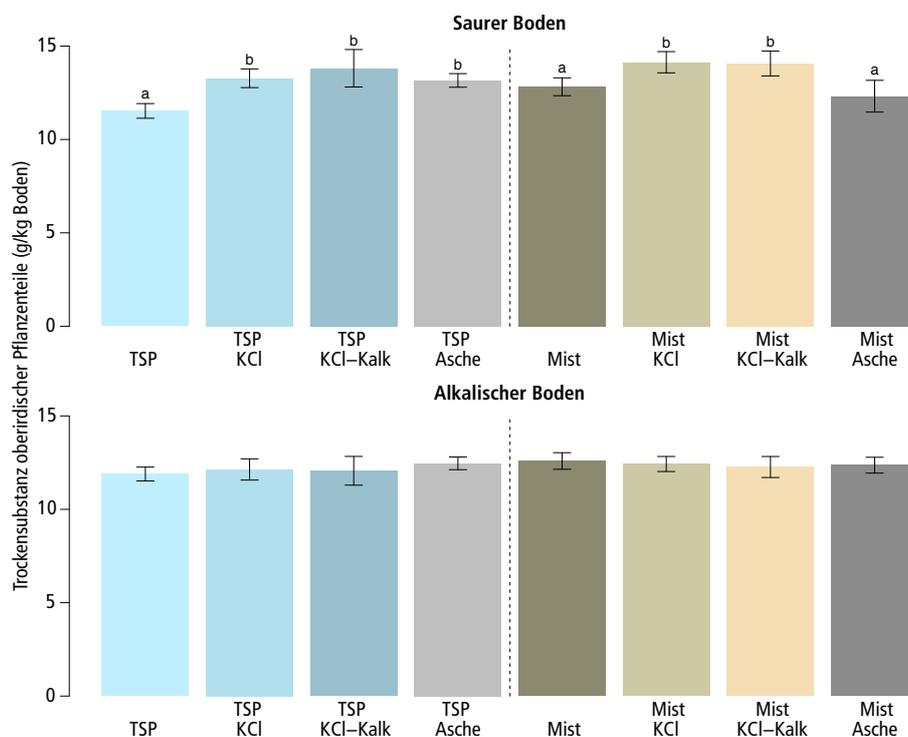


Abb. 1 | Gesamtmenge an Trockensubstanz oberirdischer Pflanzenteile (Summe aus vier Schnitten) nach den verschiedenen Düngungsverfahren bei saurem und bei alkalischem Boden. Die Kleinbuchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) gegenüber der jeweiligen Form der P-Gabe (TSP oder Mist).

Auf saurem Boden und ohne Gabe von organischem Dünger nahm die Biomasse von Raygras bei einer Düngung mit Asche gegenüber der Kontrolle (TSP) zu. Die gleiche Zunahme war mit dem Mineraldünger (TSP-KCl) zu verzeichnen. Die Asche zeigte keine Wirkung bei einem Einsatz von Geflügelmist (Mist-Asche gegenüber Mist), was vermutlich auf den Eintrag von Makro- und Spurenelementen durch den Mist zurückzuführen ist. Dagegen hat der mineralische Referenzdünger (Mist-KCl) eine positive Wirkung auf die Produktion von Biomasse im Vergleich zur Kontrollbehandlung und zur Düngung mit Asche, weil er im Vergleich zur Asche K in einer besser verfügbaren Form bereitstellt (siehe weiter unten).

Beim bereits normal mit K und gut mit Ca versorgten alkalischen Boden (Ca: 27,2 g/kg Total bzw. 3,84 g/kg verfügbar) im Vergleich zum sauren Boden (Ca: 3,7 g/kg bzw. 0,78 g/kg) verbesserte die K- und Ca-Gabe weder in Form von mineralischem Dünger noch in Form von Asche die Produktion von Raygras-Trockensubstanz.

Einfluss auf den Gehalt des Raygrases an verschiedenen Elementen

Der K-Gehalt von Raygras liegt bei saurem Boden im Vergleich zum alkalischen Boden jeweils tiefer (Tab. 3), da der alkalische Boden besser mit verfügbarem K versorgt ist. Brod *et al.* (2012) haben im Rahmen eines Gewächshausversuches ebenfalls gezeigt, dass der Einfluss der Kaliumdüngung durch Asche von der Fähigkeit des Bodens verdeckt wird, dem Raygras gut verfügbares Kalium bereitzustellen. Unsere Ergebnisse stehen auch in Einklang mit denjenigen von Kahn *et al.* (2014), die

gezeigt haben, dass sich bei 76% der 2121 Kurzzeitfeldversuche mit der K-Düngung (KCl) keine kurzfristige Steigerung der Produktivität der landwirtschaftlichen Kulturen erzielen liess, weil die betreffenden Kulturen das erforderliche K leicht dem Boden entnehmen konnten. Die Verfügbarkeit von K scheint bei alkalischen Böden nicht limitierend zu sein. Bei beiden Bodenarten weist das Raygras jedoch bei einer Düngung mit Asche im Vergleich zur KCl-Düngung einen niedrigeren K-Gehalt auf (Tab. 3 und Abb. 2). Dies ist vermutlich auf eine geringere Verfügbarkeit dieses Elements zurückzuführen. Tatsächlich lag der jeweilige Gehalt an verfügbarem K im Boden am Ende des Versuchs bei der Düngung mit Asche deutlich tiefer als beim KCl-Verfahren: von 16% im alkalischen Boden bis zu 32% im sauren Boden (Daten zu den Versuchen mit Inkubation des Bodens nicht dargestellt).

Die Wirkung der Düngungsverfahren auf den Gehalt an MSE, Spurenelementen und Makroelementen von Raygras hängt von der Bodenart und von der Form der P-Gabe (TSP oder Mist) ab (Abb. 2). Auf saurem Boden lässt sich keine signifikante Wirkung der Düngungsverfahren auf den Gehalt an Makroelementen (P und Mg) feststellen, wohingegen auf alkalischem Boden der Gehalt an P, Mg und Ca bei einer Düngung mit Asche signifikant ($p < 0,05$) zurückgeht. Diese Wirkungen lassen sich mit einer Reduktion der Verfügbarkeit dieser Elemente bei den Düngungsverfahren mit Asche erklären. Beim Versuch mit der Inkubation von Boden im Treibhaus war der Gehalt an verfügbarem P und Mg im alkalischen Boden geringer, wenn Asche vorhanden war, im Vergleich

Tab. 3 | Durchschnittlicher Gehalt an K in den oberirdischen Pflanzenteilen von Raygras (Mittelwert aus vier Schnitten). Die Kleinbuchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) gegenüber der jeweiligen Form der P-Gabe (TSP oder Mist) nach dem Duncan-Test. Ebenso sind die Wahrscheinlichkeiten (p -value) der globalen Effekte (ANOVA) der Verfahren, der Einflüsse des Bodens und der Interaktion Boden/Verfahren angegeben (*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$).

Verfahren	saurer Boden		alkalischer Boden		Boden	Verfahren/ Boden
	Durchschnittl. K-Gehalt (g/kg TS)					
TSP	17,4	c	30,6	b		
TSP-KCl	24,0	a	33,7	a		
TSP-KCl-Kalk	22,5	ab	32,8	a		
TSP-Asche	21,0	b	30,7	b		
<i>p</i> -value		***		***	***	*
Mist	19,1	b	31,0	a		
Mist-KCl	22,3	a	32,3	a		
Mist-KCl-Kalk	22,0	a	33,6	a		
Mist-Asche	21,2	a	29,5	a		
<i>p</i> -value		***		0,08	***	0,14

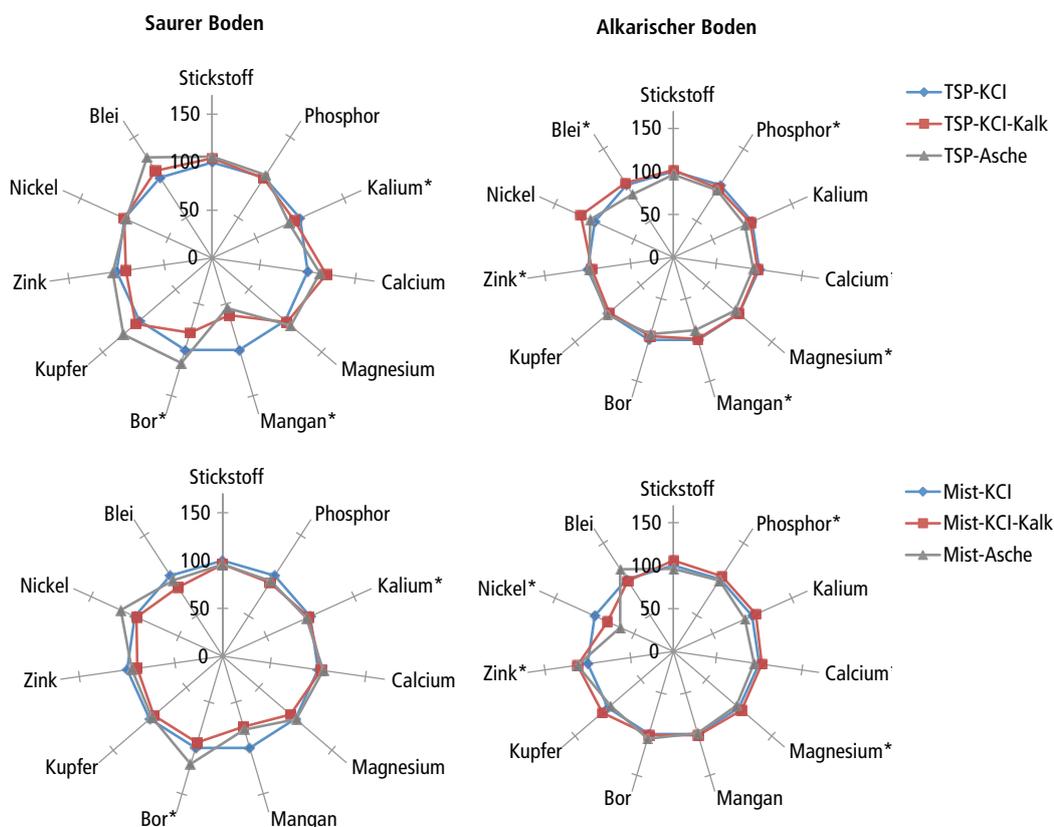


Abb. 2 | Gehalt an Makroelementen und Spurenelementen von Englischem Raygras (Mittelwert aus vier Schnitten) nach der Düngung und nach der Bodenart. Die Ergebnisse sind als relative Werte im Vergleich zu einer KCl-Düngung dargestellt. Die Sternchen bezeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Düngungsverfahren.

zur KCl-Düngung mit oder ohne Kalkergänzung (Daten nicht dargestellt). Beim sauren Boden wurde dagegen kein geringerer Gehalt an verfügbarem P und Mg im Boden beobachtet. Ein Erklärung dafür könnte sein, dass der P im alkalischen Boden an das Ca und Mg in der Asche (Tab. 2) und im Boden gebunden wird (Ca: 27,2 g/kg beim alkalischen Boden, Auf saurem Boden ist der B-Gehalt von Raygras höher, wenn mit Asche gedüngt wird, als bei der KCl-Düngung. Für diesen Effekt sind wahrscheinlich die B-Gabe durch Asche (Tab. 2) und der saure pH verantwortlich (Marschner 2011). Der Rückgang des vom Raygras aufgenommenen Mn auf saurem Boden bei Kalkzusatz lässt sich mit der sinkenden Verfügbarkeit von Mn bei steigendem pH des Bodens erklären (Marschner 2011).

Auf saurem Boden verursacht die Asche keine zusätzliche Aufnahme von MSE im Vergleich zu KCl, unabhängig davon, ob der organische Dünger eingesetzt wurde oder nicht. Zwar werden durch die Asche grosse Mengen an MSE zugeführt (Tab. 2), diese Elemente werden je-

doch vom Raygras nicht aufgenommen, weil die durch Asche zugeführten MSE in keiner gut verfügbaren Form vorliegen (Maltas und Sinaj 2013). Ausserdem senkt die Kalkung die Verfügbarkeit der bereits im Boden vorliegenden MSE (Demeyer *et al.* 2001), was die Inkubationsversuche des Bodens bestätigen (Daten nicht dargestellt). Auf alkalischem Boden (der stärker mit Zn belastet ist als der saure Boden: 90 mg/kg gegenüber 51 mg/kg) lässt sich der erhöhte Zn-Gehalt von Raygras durch die Zugabe des Zn-reichen organischen Düngers in den Verfahren Mist-KCl-Kalk und Mist-Asche erklären.

Relative pflanzenbauliche Effizienz von Kaliumdünger

Die relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) eines Kaliumdüngers bezeichnet den Anteil des von den Pflanzen aufgenommenen K bei dieser Düngung im Vergleich zu einem Referenzdünger (TSP-KCl oder Mist-KCl). Die RPE wurde nur für sauren Boden berechnet, weil die Düngungsverfahren auf diesem Boden einen Einfluss auf die Biomasse von Raygras haben. Wenn der P in mi-

Tab. 4 | Relative pflanzenbauliche Effizienz (RPE) der Asche und der KCl-Kalk-Mischung für Englisches Raygras auf saurem Boden.

	TSP		Mist	
	Asche	KCl-Kalk	Asche	KCl-Kalk
RPE	64,7%	78,7%	33,3%	92,6%

neralischer Form (TSP) zugegeben wird, beträgt die RPE der Düngung mit Asche 64,7% beziehungsweise 33,3%, wenn der P in Form von Mist eingetragen wird (Tab. 4). Die RPE von Asche ist also niedriger als jene von KCl oder KCl-Kalk, unabhängig davon, ob der P in mineralischer oder organischer Form zugegeben wird. Verantwortlich dafür ist die Verfügbarkeit des K der Asche. Tatsächlich beträgt der Anteil des verfügbaren K in der Asche nur 8% des gesamten K (Tab. 2).

Die Düngungswirkung von Asche ist also geringer als jene von KCl. Dieser Nachteil wird jedoch dadurch kompensiert, dass Asche weitere für das Wachstum von Raygras förderliche Makroelemente (Mg) und Spurenelemente (Cu) enthält. Aus diesem Grund ist die produzierte Biomasse auf saurem Boden und ohne Zugabe von P in Form von Mist bei einer Düngung mit KCl und Asche gleich (Abb. 1). Wenn allerdings organischer Dünger gegeben wird, ist der Nutzen der Asche geringer, weil der Mist ebenfalls Spuren- und Makroelemente enthält, die das Wachstum von Raygras unterstützen.

Schlussfolgerungen

Der landwirtschaftliche Nutzen von Asche für den Anbau von Raygras ist insgesamt vergleichbar mit jenem

des Referenzdüngers KCl. Ergänzt mit einer Gabe von P in mineralischer Form (TSP) könnte Asche als Alternative zu klassischen Kaliumdüngern auf saurem Boden eingesetzt werden. Allerdings überschreitet der Gehalt an MSE die gegenwärtig in der Schweiz geltenden Grenzwerte. Weniger interessant ist die in dieser Studie verwendete Asche aus rezykliertem Holz, wenn sie zusammen mit Geflügelmist auf einem bereits normal mit K versorgten Boden ausgebracht wird. Tatsächlich neutralisieren die vom Mist zugeführten Elemente die günstigen Wirkungen der Asche. Diese Ergebnisse müssen auch in Beziehung gesetzt werden mit der Verschlechterung der Qualität der in dieser Studie verwendeten Asche aus der Holzzentrale Enerbois aufgrund einer Änderung der Zusammensetzung des verwerteten Holzes und des Verbrennungsprozesses, die zu einer Reduktion des Gehalts an K (Total und verfügbares K) im Vergleich zur Asche einer früheren Studie (Maltas und Sinaj 2014) geführt haben. ■

Dank

Die Autoren danken den Unternehmen Romande Energie und Micarna für die Mitfinanzierung dieser Studie.

Riassunto**Potenziale agronomico delle ceneri ottenute dal legno riciclato**

L'effetto delle ceneri del legno come concime potassico è stato testato in serra sul loietto perenne. Le ceneri ottenute dal legno riciclato sono state sparse, in associazione oppure no con concimi organici, su due tipi di suolo: un suolo acido povero di potassio disponibile e un suolo alcalino normalmente approvvigionato in tale elemento. Le ceneri analizzate erano ricche di calcio e potassio. Contenevano inoltre elevati tenori di microelementi e di tracce di elementi metallici quali zinco, rame e piombo; in alcuni casi tali tenori oltrepassavano le soglie attualmente autorizzate in Svizzera. Rispetto a un altro tipo di ceneri precedentemente testato, quelle del presente studio contenevano più tracce di elementi metallici e il potassio presente aveva una minore disponibilità. Le ceneri hanno consentito una produzione di biomassa del loietto perenne equivalente al concime di riferimento (KCl) su suolo acido. L'impiego di ceneri su un suolo alcalino normalmente approvvigionato in potassio disponibile sembra meno pertinente. I risultati ottenuti mostrano l'importanza della qualità delle ceneri utilizzate correlata all'origine del legno (naturale o riciclato) e al processo di combustione.

Literatur

- Bolan N. S., Adriano D. C. & Mahimairaja S., 2004. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **34**, 291-338.
- Brod E., Haraldsen T. K. & Breland T. A., 2012. Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. *Agricultural and Food Science* **21**, 332-347.
- Ciesielski H., Proix N. & Sterckeman T., 1997. Détermination des incertitudes liées à une méthode de mise en solution des sols et sédiments par étude interlaboratoire. *Analisis* **25**, 188-192.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C. & Verloo M. G., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Biore-source Technology* **77**, 287-295.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Phosphor in Böden. Standortbestimmung Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 368. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 180 S.
- Hébert M. & Breton B., 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec – Etat de la situation, impacts et bonnes pratiques agroenvironnementales. *Agrosolutions* **19**, 18-33.
- Hemwall J. B., 1957. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy* **9**, 95-112.
- Khan S., Mulvaney R., Ellsworth T., 2014. The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health. *Renewable Agriculture and Food Systems* **29**, 3-27.

Summary**Agronomic potential of ash from recycled wood**

The effect of wood ash as a potash fertiliser was tested on perennial ryegrass in a greenhouse. The ash, which was from recycled wood, was spread – in some cases in combination with organic fertilisers – on two types of soil: an acid soil low in available potassium, and an alkaline soil with normal supplies of potassium. The ash studied was rich in calcium and potassium. It also contained high levels of microelements and trace metals such as zinc, copper and lead – levels which might exceed thresholds currently authorised in Switzerland. Compared to another type of previously tested ash, the ash in this study contained more trace metals, and the potassium therein was less available. The ash enabled the production of ryegrass biomass equivalent to that of the reference fertiliser (KCl) on an acid soil. The use of ash on an alkaline soil with normal supplies of available potassium appears to be less appropriate. The results obtained in this test show the importance of the quality of the ash used, which depends on the origin of the wood (natural or recycled) and on the combustion process.

Key words: wood ash, recycling, disponibility of elements, fertilization.

- Maltas A. & Sinaj S., 2011. Intérêts agronomiques des cendres humides de la centrale Enerbois. *Agroscope*. 26 p.
- Maltas A. & Sinaj S., 2013. Effets des cendres de bois de la centrale Enerbois sur les propriétés du sol, le rendement des cultures et la qualité des récoltes. *Agroscope*. 63 p.
- Maltas A. & S. Sinaj., 2014. Holzasche: ein neuer Dünger für die Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* **5** (6), 323-329.
- Marschner H., 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Academic press.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA circular* **939**, 1-19.
- SR.814.81. 2011. Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV). 18. Mai 2005 (Stand vom 1. Juli 2011).
- Sahin O., Taskin M. B., Kadioglu Y. K., Inal A., Pilbeam D. J. & Gunes A., 2014. Elemental composition of pepper plants fertilized with pelletized poultry manure. *Journal of Plant Nutrition* **37**, 458-468.
- Sinaj S., Richner W., Fleisch R. & Charles R., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung Schweiz*. **16** (2), 1-97.
- Vassilev S., Baxter D., Andersen L. & Vassileva C., 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 2. Potential utilization, technological and ecological advantages and challenges. *Fuel* **105**, 19-39.