

# Endbericht

## Projekt B01 BiEne D

### “AshTreaT”





**illwerke vkw**



biomasse  
wärmeversorgung  
rankweil



Competence Centers for  
Excellent Technologies

Das Kompetenzzentrum alpS - Centre for Climate Change Adaptation wird im Rahmen von COMET - Competence Centers for Excellent Technologies durch BMVIT, BMWFJ, dem Land Tirol und dem Land Vorarlberg gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt. Das Projekt B01 BiENE D „AshTreat“ ist ein COMET Projekt.

alpS GmbH, Grabenweg 68, 6020 Innsbruck, Tel.: +43-512-39 29 29-0, Fax: +43-512-39 29 29-39, info@alps-gmbh.com, www.alps-gmbh.com, Jänner 2015

## Inhaltsverzeichnis:

1. Kurzfassung .....	7
2. Einleitung .....	7
3. Entwicklung von geeigneten Holzascheprodukten .....	8
3.1. Ergebnisse der Bodenuntersuchungen: .....	12
3.2. Ergebnisse der Eluatuntersuchungen: .....	16
3.3. Versuchsreihe Wasser-Eutrophierung (NO <sup>3-</sup> - Werte) durch die Pellets.....	16
3.4. Conclusio .....	17
4. Verfahrenstechnik zur Herstellung des Holzascheproduktes .....	18
4.1. Laborversuche Pellet-Herstellung .....	19
4.2. Pellets-Lagerungsversuch .....	22
4.3. Industrielle Herstellung der Holzaschepellets .....	25
4.3.1. Herstellung der Pellets .....	25
4.3.2. Aufbaugranulat .....	28
5. Ausbringungstechnik.....	30
6. Ausbringungsflächen.....	32
6.1. Zielsetzung .....	32
6.2. Untersuchungsgebiet .....	33
6.2.1. Waldzustand .....	33
6.3. Ergebnisse .....	34
6.3.1. Restriktionen .....	34
6.3.2. Kriterienkatalog .....	35
6.3.3. Potenzielle Grundflächen .....	40
6.3.4. Technische Varianten .....	43
6.3.5. Bedarfsabdeckung .....	50
7. Bilanzierung .....	52
7.1. Holzascheaufkommen in Tirol und Vorarlberg.....	52
7.1.1 Rostaschepotenzial .....	52
7.1.2. Ausbringungspotenzial .....	52
7.2. Kostenkalkulation .....	54
7.2.1. Kostenvergleich von Pelletierung und Granulierung .....	55
7.2.2. Fazit Kostenkalkulation .....	58
7.3. Ökologische Bewertung .....	58
7.3.1. Ziel und Untersuchungsrahmen .....	58

7.3.2.	Sachbilanz.....	60
7.3.3.	Wirkungsabschätzung.....	60
7.3.4.	Energiebilanz .....	61
7.3.5.	Treibhausgasbilanz .....	62
7.3.6.	Nährstoffflussbilanzen.....	63
7.3.7.	Fazit ökologische Bewertung .....	67
8.	Zusammenfassung.....	68
9.	Literatur.....	71

### Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Eigenschaften der für den Laborversuch verwendeten Pellets.....	8
Tabelle 2:	Menge an zugegebenen Metallen pro Säule .....	15
Tabelle 3:	Theoretische Zunahme und Metallgehalt des Bodens nach Pelletszugabe .....	15
Tabelle 4:	Versuchswertüberschreitung in Bezug zu Grenzwerten der Trink- und Abwasserverordnung.....	16
Tabelle 5:	Charakterisierung der Materialien für den Pelletierungsversuch .....	19
Tabelle 6:	Eckdaten zum Lagerungsversuch .....	21
Tabelle 7:	Kriterien nach Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen .....	35
Tabelle 8:	Potenzielle Grundflächen in Tirol .....	40
Tabelle 9:	Potenzielle Grundflächen in Vorarlberg .....	41
Tabelle 10:	Potenzialflächen für die Befliegung in Tirol.....	43
Tabelle 11:	Potenzialflächen für die Befliegung in Vorarlberg .....	44
Tabelle 12:	Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol .....	46
Tabelle 13:	Potenzialflächen für Verblasetechnik in Tirol.....	48
Tabelle 14:	Potenzialflächen für Verblasetechnik in Vorarlberg .....	49
Tabelle 15:	Jährliches Aufkommen von Rostasche in Tirol und Vorarlberg.....	50
Tabelle 16:	Jährliche potenzielle Ausbringungsmenge in Tirol.....	51
Tabelle 17:	Jährliche potenzielle Ausbringungsmenge in Vorarlberg .....	51
Tabelle 18:	Rostaschepotenzial in Tirol und Vorarlberg* .....	52
Tabelle 19:	Ausbringungspotenzial pro Ausbringungstechnik in Tirol und Vorarlberg .....	53
Tabelle 20:	Vergleich der Investitionskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage .....	55
Tabelle 21:	Vergleich der Personalkosten der Pelletier- und Granulierungsanlage.....	55
Tabelle 22:	Vergleich der Unterhaltungskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage.....	55
Tabelle 23:	Vergleich der Unterhaltungskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage.....	56

Tabelle 24: Vergleich der Ver- und Entsorgungskosten der zwei Produktvarianten Holz- aschepellet und –granulat .....	56
Tabelle 25: Vergleich der Ausbringungskosten von 1 Tonne Holz- asche.....	57
Tabelle 26: Zusammenfassung und Vergleich aller Kostenpositionen pro Tonne für die zwei Produktvarianten .....	57
Tabelle 27: Massenbilanz der Granulierungsprozesskette.....	60
Tabelle 28: Energieverbräuche bei der Aufbereitung des Eingangsmaterials und dessen Granulierung .....	60

### Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Bodenprobennahme .....	9
Abbildung 2: Versuchsaufbau.....	10
Abbildung 3: Bodensäulen im Labor .....	10
Abbildung 4: Boden pH - 22 Wochen nach der Behandlung. ....	12
Abbildung 5: Chromgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung. ....	13
Abbildung 6: Zinkgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung.. ....	13
Abbildung 7: Nickelgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung.. ....	13
Abbildung 8: Kupfergehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung.....	14
Abbildung 9: Bleigehalt der Böden - 22 Wochen nach der Behandlung. ....	14
Abbildung 10: Pellets mit bzw. ohne Klärschlammkompost .....	16
Abbildung 11: Prozesskette zur Pellet-Herstellung .....	18
Abbildung 12: Pellets nach 2 Wochen Lagerung .....	21
Abbildung 13: Fünf verschieden alte bzw. behandelte Aschen für den Lagerungsversuch. ....	22
Abbildung 14: Pellets (a) aus Mischung 2 und 3	23
Abbildung 15: Pellets aus Mischung 1(a) und 5(b) am 20.03.2014. ....	24
Abbildung 16: weitere Vorgehensweise zur Pellet-Produktion und zur Ausbringung.....	25
Abbildung 17: Holz- asche vom Biomasse- Fernheizwerk Kufstein (Nassentschlackung) und KK von der Kompostieranlage Radfeld.....	25
Abbildung 18: Rauchfutter (links) und Cemtec (rechts).....	26
Abbildung 19. Trockner TT0950 (links). Kugelmühle „Doris“ (rechts).....	27
Abbildung 20: Partikelgröße Eingangsmaterial .....	27
Abbildung 21: Von Cemtec hergestellte Holz- asche- Granula (Foto: Fa. Cemtec) .....	28
Abbildung 22: Prozessschritte die für die Herstellung von Granula notwendig sind .....	29
Abbildung 23 und 24: Nassverblasung von Kalk mittels patentiertem Verfahren.....	30
Abbildung 25: Waldkarte Tirol.....	33
Abbildung 26: Waldkarte Vorarlberg .....	34

Abbildung 27: Exemplarische Darstellung der Restriktionsbereiche .....	36
Abbildung 28: Flächengrößen der Restriktionen in Tirol (I) .....	37
Abbildung 29: Flächengrößen der Restriktionen in Tirol (II) .....	37
Abbildung 30: Flächengrößen der Restriktionen (III).....	38
Abbildung 31: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (I) .....	39
Abbildung 32: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (II) .....	39
Abbildung 33: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (III).....	40
Abbildung 34: Potenzielle Grundflächen in Tirol .....	41
Abbildung 35: Diagramm der Potenzialflächenverteilung in Tirol .....	41
Abbildung 36: Potenzielle Grundflächen Vorarlberg .....	42
Abbildung 37: Diagramm der Potenzialflächenverteilung in Vorarlberg.....	43
Abbildung 38: Potenzialflächen für Befliegetechnik in Tirol.....	44
Abbildung 39: Potenzialflächen für Befliegetechnik in Vorarlberg .....	45
Abbildung 40: Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol (Kurzstreckenseilkran) .....	47
Abbildung 41: Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol (Mittel-, & Langstreckenseilkran).....	47
Abbildung 42: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Tirol. Entfernung 50m.....	49
Abbildung 43: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Vorarlberg. Entfernung 50m .....	50
Abbildung 44: Verfahrensfliessbild der Aufbereitung und Granulierung der Holzasche .....	54
Abbildung 45: Verfahrensfliessbild der Holzascheverwertung zu Granulat.....	59
Abbildung 46: Energiebilanz der Granulierung ausgedrückt in kWh/t Holzasche .....	61
Abbildung 47: CO <sub>2</sub> -Bilanz der Granulierung dargestellt in kg CO <sub>2</sub> -Äqv./t Holzasche.....	62
Abbildung 48: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp Podsol.....	63
Abbildung 49: Ausgleich des Nährstoffbedarfs des Bodentyp Podsol durch Ausbringung von Holzasche .....	64
Abbildung 50: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp saure Braunerde .....	65
Abbildung 51: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp Kalkbraunlehm .....	66

# 1. Kurzfassung

Das Projekt "AshTreaT" untersuchte in einem ganzheitlichen Ansatz das Ausbringungspotential von unbehandelter Holzasche in alpinen Wäldern, um durch die Rückführung der Holzasche in den Wald den Nährstoff- und Verwertungskreislauf zu schließen. Eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Verwertung der anfallenden Pflanzenasche im alpinen Raum ist gegenwärtig aufgrund von fehlenden Verfahrenstechnologien zur Ascheaufbereitung und mangelnden Logistik- und Ausbringungskonzepten nicht gegeben. Ziel war vorhandene Information und Wissenslücken zu schließen und die Grundlagen für die Entwicklung regional umsetzbarer Verwertungskonzepte zu erarbeiten. Großes Augenmerk in der Projektumsetzung wurde auf die Einbindung relevanter Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung gelegt.

# 2. Einleitung

Der in den letzten Jahren erlebte Boom zur Errichtung von Biomasseheiz(kraft)werken hat neben dem gestiegenen Bedarf an biogenen Brennstoffen (Waldhackgut, Sägenebenprodukten, Stroh, etc.) auch zu einem steigenden Anfall an Holzasche geführt. Allein in den Bundesländern Tirol und Vorarlberg war der Rostascheanfall im Jahr 2012 insgesamt rund 19.000 Tonnen (Amt der Tiroler Landesregierung, 2013; Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2013). Eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Verwertung der anfallenden Holzasche im alpinen Raum ist gegenwärtig aufgrund von fehlenden Verfahrenstechnologien zur Ascheaufbereitung und mangelnden Logistik- und Ausbringungskonzepten nicht gegeben. Holzaschen aus der Biomasseverbrennung werden derzeit vorwiegend kostenpflichtig als Abfall deponiert. Dabei werden Nährstoffe wie Kalzium, Magnesium, Kalium und in geringem Maße auch Phosphor dem natürlichen Stoffkreislauf entzogen (Knapp & Insam, 2011). Im Sinne des Kreislauf- und Recyclinggedankens wurde im Projekt „AshTreaT“ im Rahmen des Förderprogramms COMET das Ausbringungspotential von Rostasche aus der Biomasseverbrennung unbehandelter Hölzer in alpinen Wäldern untersucht.

Eine Rückführung der Pflanzenaschen ist entsprechend der „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenasche zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“ (BMLFUW, 2011) möglich. Ziel des Projektes war es ein Holzascheprodukt für Waldböden (Silikat, Karbonat) zu entwickeln und das tatsächliche Ausbringungspotential von Holzaschen in Tiroler und Vorarlberger Wäldern zu ermitteln. Für das Projekt wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

1. Entwicklung von geeigneten Holzascheprodukten
2. Verfahrenstechnik zur Herstellung des Holzascheproduktes
3. Ausbringungstechnik
4. Definition geeigneter Ausbringungsflächen in Tirol und Vorarlberg
5. Ökonomische und ökologische Bewertung

Die Ergebnisse der Studie sollen als Entscheidungshilfe für Behörden, Forstbesitzer, Biomasseheizkraftwerksbetreiber und als wissenschaftliche Basis für konkrete Umsetzungsprojekte dienen. Traditionell werden in Tirol und Vorarlbergs Wälder Nährstoffe, die dem Wald entzogen wurden, nicht wieder zurückgeführt. Mit diesem Projekt soll eine solche Tradition der Nährstoffrückführung in den Wald initiiert werden.

### 3. Entwicklung von geeigneten Holzascheprodukten

(M. Fernandez, A. Knapp, P. Stampfl, D. Stöhr, H. Insam)

Ziel war die Entwicklung eines Holzascheprodukts sowohl für silikatische als auch karbonatische Waldböden. Die Produkte müssen den Qualitätsansprüchen der österreichischen Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen entsprechen (BMLFU, 2011). Die entwickelten Produkte sollen entsprechend der Richtlinie ausgebracht werden, d.h. Frachten von maximal 2t/ha in 20 Jahren und auf entsprechend geeigneten Flächen (vgl. dazu Kapitel 6). Für eine praktikable Ausbringung einigte man sich auf die Herstellung in Form von Holzaschepellets und Holzaschegranulat (vgl. Kapitel 4 und Kapitel 5).

Es wurden vier Holzascheprodukte entwickelt, wobei die gewählten Zuschlagstoffe (Klärschlammkomposte, Gärreste und Rinde) vorwiegend als Trägerstoffe für die Pellet- und Granulat-Herstellung fungieren. (vgl. Tabelle 1)

Tabelle 1: Eigenschaften der für den Laborversuch verwendeten Pellets (Mittelwerte (n=3) bezogen auf Trockensubstanz und Grenzwerte für Aschequalität A und B (gemäß Richtlinie) und natürliche Böden nach Eikmann-Kloke.

		Pellet_Asche	Pellet_Rinde	Pellet_Kompost	Pellet_Gärrest				
VOS	(%)	10,27	22,00	12,28	5,43				
pH		10,9	10,0	10,7	11,8				
E.F.	$\mu\text{S cm}^{-1}$	779	662	1238	1332				
Ammonium	$\mu\text{g N g}^{-1}$	4,48	31,21	88,48	12,26				
Nitrate	$\mu\text{g N g}^{-1}$	3,40	158	202	5,03				
C tot	(%)	3,85	12,10	7,31	3,68				
N tot	(%)	0,025	0,165	0,469	0,052	Grenzwerte nach Eikmann / Kloke			
Ca	$\text{mg g}^{-1}$	77,1	74,2	77,4	88,1				
Mg	$\text{mg g}^{-1}$	36,4	26,8	26,8	30,1	Grenzwerte ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{TS}$ )			
K	$\text{mg g}^{-1}$	37,4	29,6	34,9	34,5		BW I	A	B
As	$\mu\text{g g}^{-1}$	0	0,72	1,33	1,11		20	20	20
Zn	$\mu\text{g g}^{-1}$	1,56	2,98	6,07	2,32		150	1200	1500
Cu	$\mu\text{g g}^{-1}$	1,58	3,45	4,92	1,55		50	200	250
Cr	$\mu\text{g g}^{-1}$	10,31	11,04	11,03	8,97		50	150	250
Pb	$\mu\text{g g}^{-1}$	2,66	1,06	1,80	0,60		100	100	200
Ni	$\mu\text{g g}^{-1}$	3,47	2,91	3,52	2,72		40	150	200
Cd	$\mu\text{g g}^{-1}$	0	0	0	0		1	5	8

Der Einfluss der verschiedenen Holzascheprodukte auf die Bodenchemie und die Bodenmikrobiologie sowie das Eluat wurde im Labor untersucht.



Zusammen mit der Gruppe Forst vom Land Tirol (Dr. Dieter Stöhr), wurden für die Laborversuche vier Bodentypen ausgewählt, die die Vielfalt der Tiroler und Vorarlberger Waldböden repräsentieren sollen.

Karbonatisches Gestein:

Lehmrendšina mit Auflagehumus Mull  
Humuskarbonatboden (Tangelrendšina)

Silikatisches Gestein

Podsol - Auflagehumustyp: Rohhumus  
podsolierte Braunerde - Semipodsol Auflagehumustyp Moder

Dafür wurden Bodenkerne (Durchmesser 10 cm, Tiefe 30-40 cm) *in situ* gezogen und bei 4°C mehrere Wochen zur Stabilisierung gelagert. Die Holzascheprodukte wurden im Äquivalent zu 2 t Asche pro ha, auf der Oberfläche der Säulen verteilt (vgl. Abb. 1). Außerdem wurde für jede Bodenart eine nicht behandelte Kontrolle als Referenz im Labor mituntersucht.

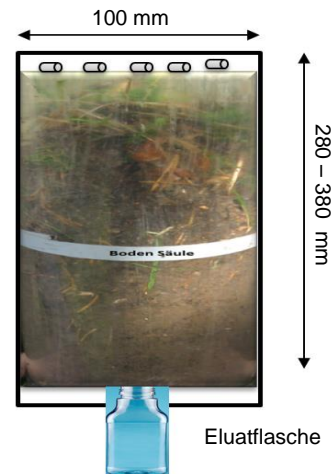


Abbildung 1: Bodenprobennahme

Die Versuchsreihen im Labor wurden wie folgt durchgeführt:

4 Boden x 3 Parallelen x 5 Behandlungen (4+Kontrolle) = **60 Säulen**

Der Ablauf der Laborversuche zur Produktion der Pellets wird in Abbildung 2 dargestellt.

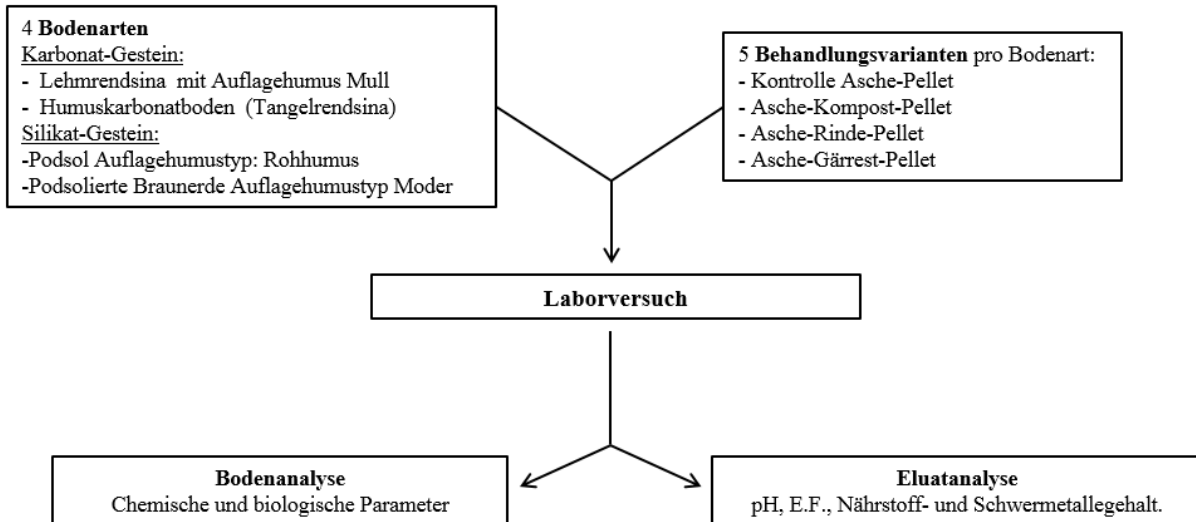


Abbildung 2: Versuchsaufbau

Um möglichst naturnahe Verhältnisse zu simulieren wurden die Bodensäulenproben mit dem durchschnittlichen Niederschlag am insitu-Standort einmal pro Woche gegossen und die Lichteinwirkung nachgestellt. Die Versuche wurden 22 Wochen durchgeführt. Das Eluat der Proben wurde wöchentlich gemessen und die Bodeneigenschaften am Ende der Versuchsdauer untersucht (vgl. Abb. 3).

Die Bodenkerne wurden nach 22-wöchiger Inkubation aus den Lysimetern entnommen um die Analyse durchzuführen. Die Bodensäulen wurden in einen oberen (organische Horizont O-A, von 0 bis ca. 8-10 cm, säulenabhängig) und einen unteren Teil (ca. 10 bis 30-40 cm, mineralischer Horizont) getrennt. Der obere Teil sollte stärkere Behandlungseinflüsse zeigen. Der Boden wurde auf 2 mm gesiebt und es wurden TS pH, Bodenwasserhaltekapazität, Ammonium-Gehalt und Nitratgehalt gemessen. Weiters wurden die Bodenbasalatmung und die Mikrobielle Biomasse gemessen.



Abbildung 3: Bodensäulen im Labor

Bodenaktivitätsanalysen wie N-Mineralisation, Dehydrogenase- und Proteaseaktivität, sowie Bestimmungen der Nährstoffgehalte (Ca, Mg, K), und Schwermetallgehalte (As, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd) wurden nur für die obere Schicht durchgeführt. Die unten angeführten Ergebnisse beziehen sich nur auf die obere Bodenschicht. Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den vier Bodenarten wurden die statistischen Analysen für die Böden getrennt durchgeführt. , Um den Behandlungseffekt und den Effekt des Bodentyps zu analysieren wurde bei Normalität der Daten bzw. nach Transformation eine Einweg-Varianzanalyse durchgeführt. Tukey's HSD (honestly significant difference) – Test wurde als PostHoc Test verwendet. Nicht-normale Daten wurden mit einem nichtparametrischen Test (Kruskal-Wallis) untersucht. Paarweise Mittelwertsvergleiche wurden mit dem Mann-Whitney U Test ( $p < 0.05$ ) durchgeführt. Für alle Analysen wurde Statistica 9.0 verwendet.

### 3.1. Ergebnisse der Bodenuntersuchungen:

Viele der analysierten Parameter hatten Beziehung zum Stickstoffkreislauf im Boden. Aufgrund der zu vernachlässigenden Effekte kann ein Einfluss der Asche auf die Stickstoffverfügbarkeit im Boden ausgeschlossen werden.

In untenstehenden Abbildungen sind nur die Ergebnisse für Parameter mit signifikanten Effekten, ausschließlich für den Oberboden von 0-10 cm, dargestellt.

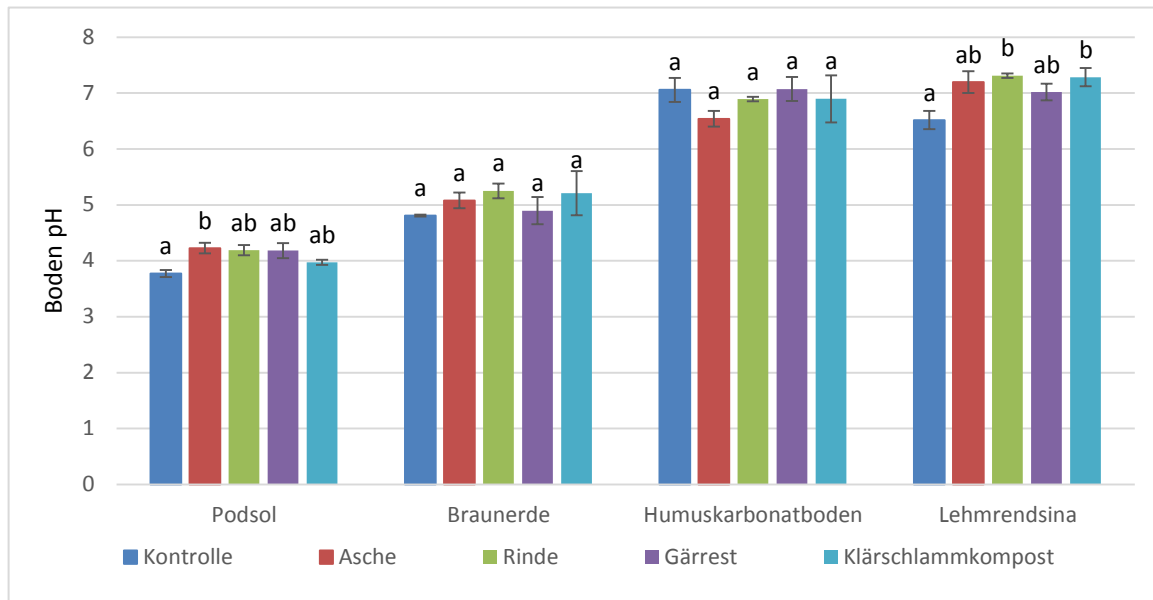


Abbildung 4: Boden pH - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte (n=3), verschiedene Buchstaben zeigen signifikant Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Die Einfluss der Asche auf den Boden-pH (Oberboden 0-10 cm) war wie zu erwarten stark von der Bodenart abhängig. Signifikante Effekte der alleinigen Aschezugabe wurden nur für den Podsol gefunden. Für die Lehmreidsina wurden signifikant positive Effekte für die Kombinationen von Asche mit Rinde und Klärschlammkompost gefunden. Die Leitfähigkeit wurde in keinem Fall durch die Behandlungen beeinflusst.

Aus den Nährstoffanalysen der Oberböden (0-10 cm) (Ca, Mg, K) sind ähnliche Trends wie bei den pH-Untersuchungen zu erkennen. Böden mit einem natürlich hohen Basengehalt behalten diese Eigenschaften auch nach einer Dotierung mit Holzasche. Es wurden keine signifikanten Behandlungseffekte gefunden.

Bei den Schwermetallen zeigten sich unterschiedliche Trends, die sehr stark vom Bodentyp abhingen. Nachdem die Schwermetalle der Aschen weit unter den zulässigen Grenzwerten liegen, und die gemessenen Konzentrationen in vielen Fällen unter den für die Böden gemessenen Werte lagen, sind Schwermetallakkumulationen, wie sie zum Beispiel für Chrom in der Lehmreidsina gefunden wurden, schwer zu erklären. Da auch die gültigen Grenzwerte für Böden (Tabelle1) in allen Fällen weit unterschritten wurden, wird auf die einzelnen Messwerte nicht näher eingegangen (siehe Abb. 5 bis 9).

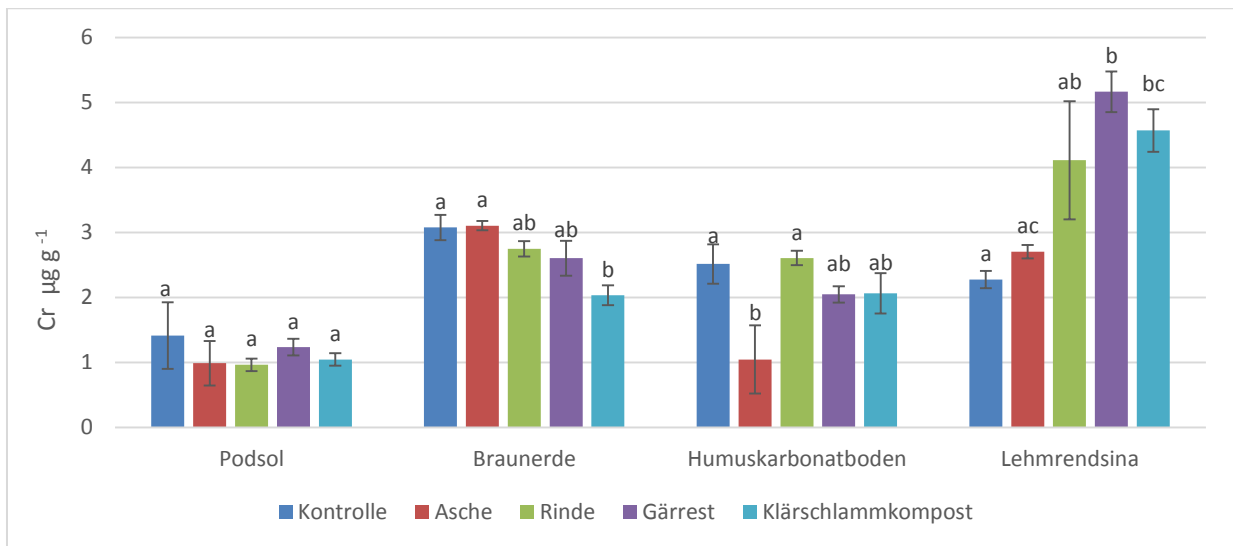


Abbildung 5: Chromgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte ( $n=3$ )  $\pm$  Standardfehler bezogen auf TS, verschiedene Buchstaben zeigen signifikant Unterschiede ( $p<0,05$ ). Richtwert für Chrom im Boden:  $50 \mu\text{g g}^{-1}$ .

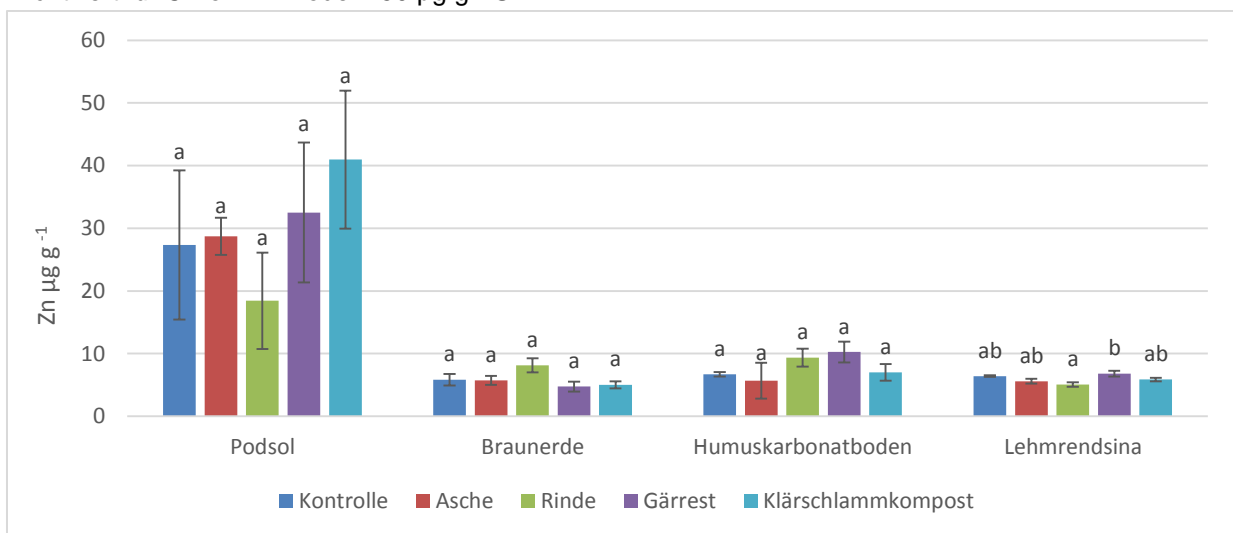


Abbildung 6: Zinkgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte ( $n=3$ )  $\pm$  Standardfehler bezogen auf TS, verschiedene Buchstaben zeigen signifikant Unterschiede ( $p<0,05$ ). Richtwert für Zink im Boden  $150 \mu\text{g g}^{-1}$ .

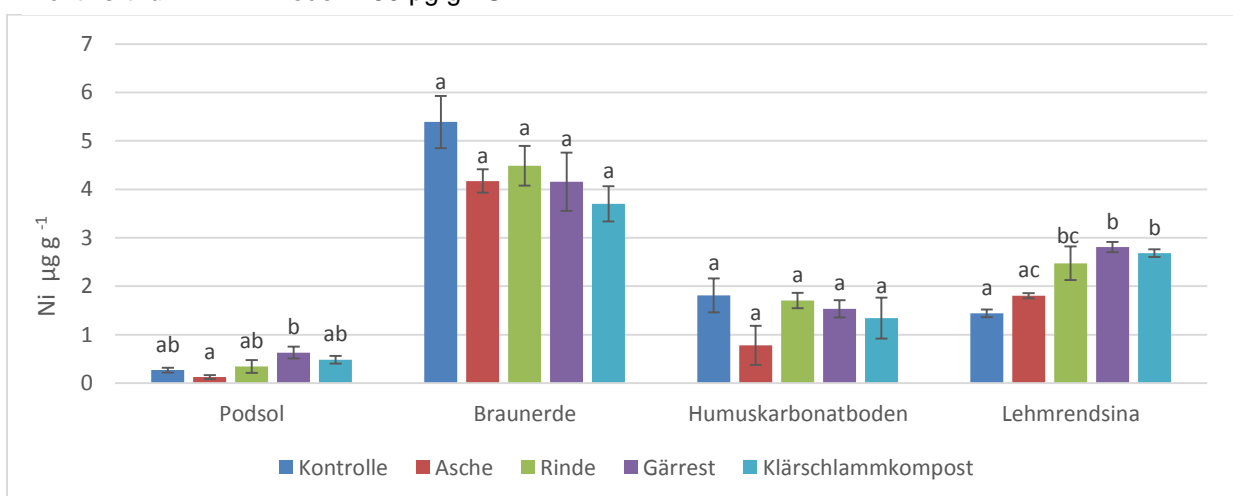


Abbildung 7: Nickelgehalt der Boden - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte ( $n=3$ )  $\pm$  Standardfehler bezogen auf TS, verschiedene Buchstaben zeigen signifikant Unterschiede ( $p<0,05$ ). Richtwert für Nickel im Boden  $40 \mu\text{g g}^{-1}$ .

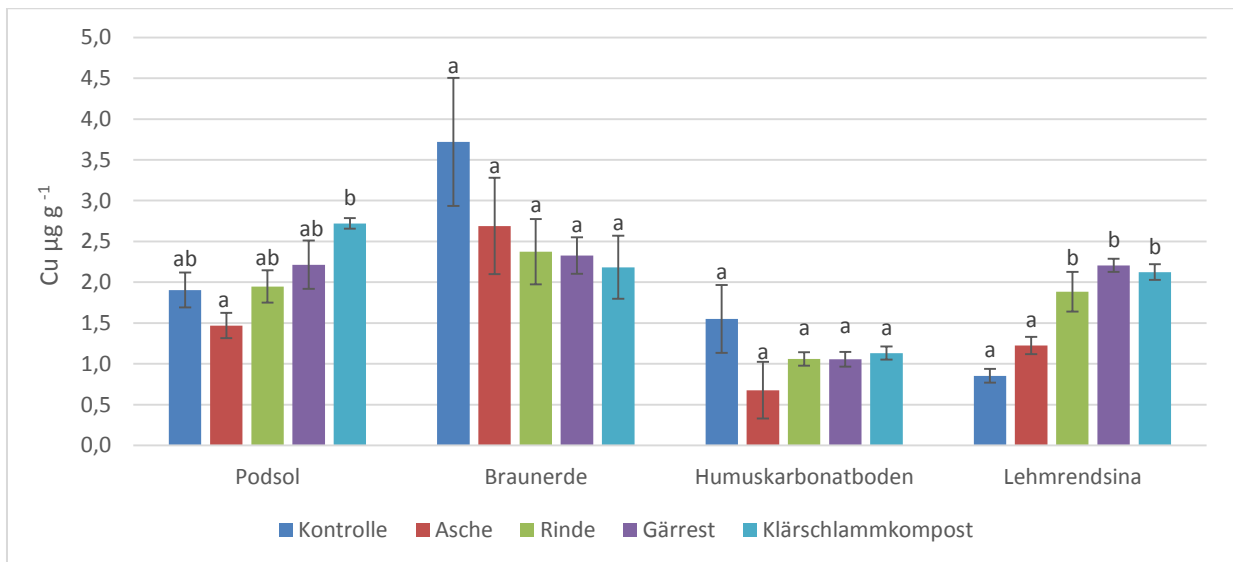


Abbildung 8: Kupfergehalt der Böden - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte (n=3) ± Standardfehler bezogen auf TS, verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (p<0,05). Richtwert für Kupfer im Boden 50 µg g TS<sup>-1</sup>

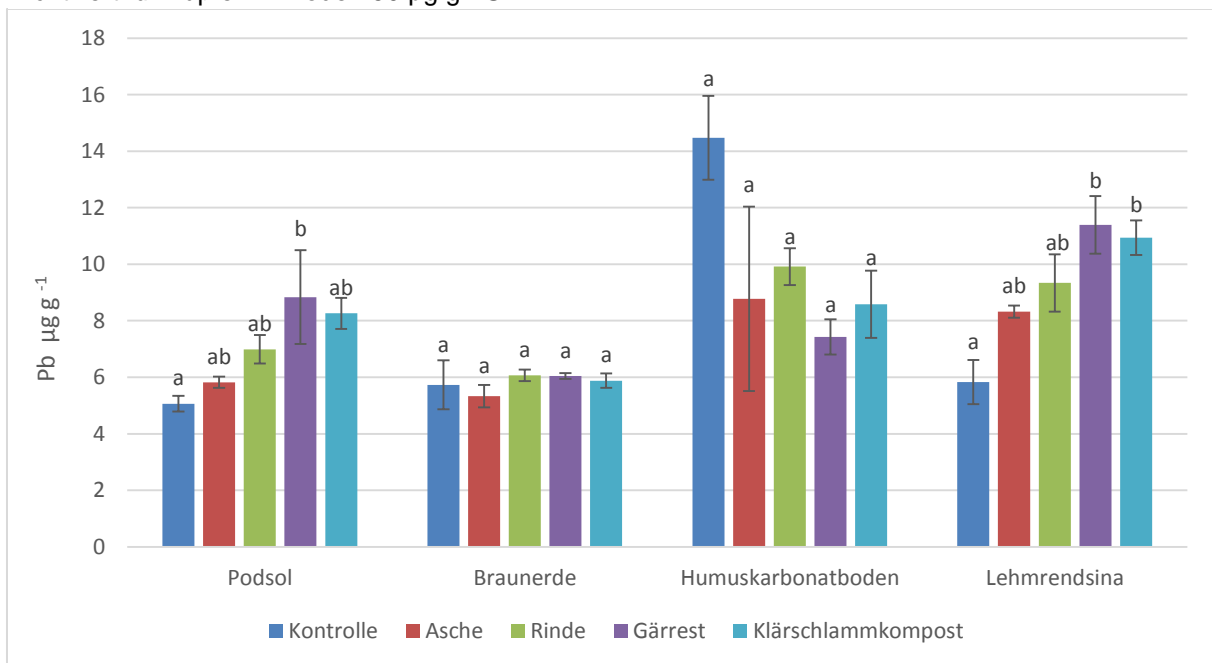


Abbildung 9: Bleigehalt der Böden - 22 Wochen nach der Behandlung. Mittelwerte (n=3) ± Standardfehler bezogen auf TS, verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (p<0,05). Richtwert für Blei im Boden 100 µg g TS<sup>-1</sup>

Als Trend lässt sich festhalten, dass in den Böden mit höheren pH-Werten die Schwermetallgehalte eher höher als in den sauren Böden waren, was sich mit dem größeren Retentionsvermögen erklären lässt. Die Pflanzenverfügbarkeit ist in den basischen Böden aber geringer als in den sauren Böden (vgl. Abb. 6). Um sicherzugehen, dass die bei den Humuskarbonatböden und bei Lehmrandsina gefundenen erhöhten Schwermetallgehalte nicht auf die Asche und anderen Bodenhilfsstoffe zurückzuführen sind, wurden die zugegebenen Frachten ermittelt (Tabelle 2), die tatsächlich so gering waren, sodass erhöhte Werte nur durch Messfehler oder die Inhomogenität des Bodenmaterials erklärt werden können

Tabelle 2: . Menge an zugegebenen Metallen pro Säule

Behandlung	Gesamte Zugabe (g)	Gesamte Zugabe an Schwermetallen in µg						
		As	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd
Asche	2,04	0	3,18	3,22	20,99	5,42	7,06	0
Rinde	2,70	1,94	8,04	9,31	29,80	2,86	7,86	0
Klärschlammkompost	2,51	3,34	15,24	12,35	27,70	4,52	8,84	0
Gärrest	2,05	2,28	4,76	3,18	18,41	1,23	5,58	0

Aus den Daten der Tabelle 2 und unter Zugrundelegung der Annahme einer Bodendichte von  $1,2 \text{ g cm}^3$ ), einer beeinflussten Tiefe von 10 cm, und dem Innendurchmesser der Versuchssäule von 108 mm, können wir die theoretische maximale Zunahme der Metallgehalte der Böden aufgrund der Pelletszugabe berechnen (Tabelle 3). Damit können wir, wie oben schon erwähnt, ausschließen, dass die Pellets die Ursache für die oben gefundenen Schwermetallzunahmen waren.

Tabelle 3: . Theoretische Zunahme und Metallgehalt des Bodens nach Pelletszugabe

Behandlung	Schwermetallen Zunahme in µg je g TS <sup>-1</sup>						
	As	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd
Asche	0	0,0029	0,0029	0,0191	0,0049	0,0064	0
Rinde	0,0018	0,0073	0,0085	0,0271	0,0026	0,0071	0
Klärschlammkompost	0,0030	0,0139	0,0112	0,0252	0,0041	0,0080	0
Gärrest	0,0021	0,0043	0,0029	0,0167	0,0011	0,0051	0

### 3.2. Ergebnisse der Eluatuntersuchungen:

Nur zwei der gemessenen Proben überschritten die Grenzwerte der Abwasserverordnung (Klärschlammkompost „KK“ und Kontrolle „K“) (vgl. Tabelle 2). Beide Überschreitungen wurden für die Bodenart Braunerde gemessen, die, wie unter Punkt 3.1. schon erwähnt, eine niedrigere Pufferkapazität hat. Die Zinkwerte der zugegebenen Pellets waren sehr niedrig (max. 6 µg/g Pellets vgl. Tab 1). Daher kann darauf geschlossen werden, dass die erhöhten Werte aus dem Boden und nicht den Aschebehandlung stammt.

Tabelle 4: Versuchswertüberschreitung in Bezug zu Grenzwerten der Trink- und Abwasserverordnung

Metalle	TrinkwasserVO (µg L <sup>-1</sup> )	AbwasserVO (µg L <sup>-1</sup> )	Überschreitung	Probe
As	10	100	Ja (120 µg)	Br-KK-W4
Zn	-	2000	Ja (2068 µg, 2600 µg)	Br-K-W4 Br-KK-W4
Cu	2.000	500	Nein	
Cr (Cr IV)	50	500 (100)	Nein	
Pb	10	500	Nein	
Ni	20	500	Nein	
Cd	5	100	Nein	

### 3.3. Versuchsreihe Wasser-Eutrophierung (NO<sup>3-</sup> - Werte) durch die Pellets

Nach Absprache mit der Gruppe Forst wird mit den „End-Pellets“ (Cemtec, mit Klärschlammkompost bzw. nur Asche) ein weiterer Laborversuch durchgeführt (Abbildung 10). Dieser untersucht den Einfluss einer möglichen Wasser-Eutrophierung (NO<sup>3-</sup> - Werte) durch die Aschebehandlung. Der Versuch wurde unter gleichen Bedingungen wie die Versuche in Punkt 3.2. und 3.1. durchgeführt (gleiche Böden, gleiche Bedingungen und gleicher Versuchsaufbau). Im Zuge dieses Versuches werden monatlich die Nitratwerte des Eluats aus den Bodensäulen untersucht. Der Versuch wird so lange durchgeführt, bis sich die Granulien vollständig aufgelöst haben.



Abbildung 10: Pellet mit bzw. ohne Klärschlammkompost benutzt in den Zweite Laborversuch.



### **3.4. Conclusio**

Als Gesamtaussage kann man festhalten, dass die Bodenvariabilität eine höhere Auswirkung auf die Nährstoff- und Schwermetallgehalte hat als die Aschezugabe. Letztere zeigte, basierend auf den Laborversuchen, keine negativen Auswirkungen auf die untersuchten Bodentypen.

## 4. Verfahrenstechnik zur Herstellung des Holzascheproduktes (S. Waldhuber, M. Fernandez-Delgado, A. Knapp)

In Bezug auf eine sichere und praktikable Ausbringung der entwickelten Holzascheprodukte wurden die Granulierung und Pelletierung in Betracht gezogen. Die Möglichkeit einer Selbstaushärtung wurde auf Grund der langen Dauer von 6 Monaten, den Erfahrungen unseres Unternehmenspartner TIWAG aus anderen Projekten und dem großen Flächenbedarf, sowie der schwierigen Prozesssteuerung ausgeschlossen.

Auf Grund unserer bestehenden Kontakte zur Fa. Dettendorfer über unseren Unternehmenspartner DAKA konnten wir eine gebrauchte Pelletier Maschine HPT 08 (Jumbo Group GmbH, Deutschland) für halbtechnische Versuche erwerben.

Die Vorteile der Pelletierung liegen in einer einfachen Handhabung in Bezug auf Ausbringung und Lagerung. Es wurden aus den Ergebnissen von Kapitel 3 und wie dort erläutert drei verschiedene Zuschlagstoffe und eine Variante ohne Zuschlag getestet. Zusätzlich wurden verschiedene Feuchtigkeitsgrade, Aufbereitungsstufen der Rostasche, und Mischverhältnisse zwischen Zuschlagstoff und Rostasche mit der Pellet-Pressen hp08 (Jumbo Group GmbH, Deutschland) geprüft.

Für eine erfolgreiche Pelletierung muss die Rostasche wie in Abbildung 11 dargestellt vorbehandelt werden:

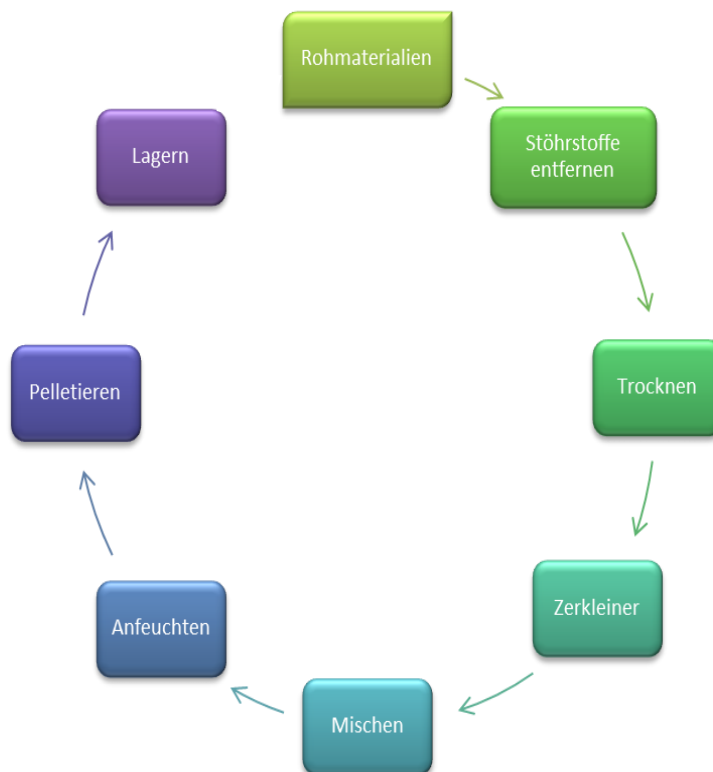


Abbildung 11: Prozesskette zur Pellet-Herstellung

Sind Störstoffe wie Steine oder Metalle in der Asche kann sie nicht durch die Matrize gedrückt werden und die Pellet-Pressen blockiert. Wird die Asche nicht getrocknet wird aufgrund des Pressvorgangs das Wasser ausgedrückt und die Matrize schmiert ab. Es können keine Pellets hergestellt werden. Ist allerdings der Wassergehalt zu gering blockiert die Matrize ebenfalls.

Der optimale Wassergehalt liegt bei 15%. Mit diesem Wassergehalt konnten alle Versuche gut durchgeführt werden. Eine Pellet-Herstellung ohne Trägerstoff ist nicht möglich.

#### 4.1. Laborversuche Pellet-Herstellung

Für die Pellet-Versuche wurden Aschen aus den Heizkraftwerken Kufstein, Götzis und Rankweil verwendet und mussten unterschiedlich vorbehandelt werden.

- Die Asche aus Kufstein musste auf Grund der nassentschlackten Asche getrocknet und zerkleinert werden (<2mm)
- Die Asche aus Götzis, Lech und Rankweil musste auf <2mm gesiebt werden (Überkorn bei beiden Aschen ca. 15%). Eine Trocknung war nicht notwendig.

Für die Zuschlagstoffe mussten ebenfalls Vorbereitung durchgeführt werden:

- Rinde (Fichtenrinde aus Flaurling): trocknen und zerkleinern (<2mm)
- Klärschlammkompost (aus Radfeld Fa. DAKA, TS 65%) : trocknen und zerkleinern (<2mm)
- Biokompost (Kompostieranlage Völs, TS 60%): trocknen und sieben
- Gärrest auf 4°C gelagert, keine weitere Vorbehandlung

In Tabelle 3 sind die Materialien für den Pelletierversuch charakterisiert.

Tabelle 5: Charakterisierung der Materialien für den Pelletierungsversuch

Material	Standort	Datum	TS (%)	oTS (%)	pH	EF mS cm <sup>-1</sup>	Ammonium µg N g TS <sup>-1</sup>	Nitrat µg N g TS <sup>-1</sup>
Asche_Kufstein	Kufstein	27.09.2012	91.06	12.70	11.32	0.50	6.57	9.21
			89.06	10.37	11.43	0.66	4.50	7.90
			90.42	10.86	11.98	0.81	3.11	9.47
Klärschlammkompost	Radfeld DAKA	27.09.2012	66.44	42.16	5.07	0.22	225.46	4125.92
			64.09	37.80	5.10	0.20	247.45	4235.81
			60.24	41.65	5.03	0.20	241.77	4791.85
Gärrest	Schlitters Biogasanlage	22.11.12	4.03	58.86	7.96	27.50	81883.45	3232.57
			4.03	58.73	7.98	27.60	48117.59	2286.15
			4.09	58.43	7.96	27.50	61576.14	2182.80
Asche_Rankweil	Rankweil (geschickt)		99.62	0.87	12.89	35.30	2.02	15.10
			99.68	0.45	12.90	31.60	2.13	14.44
			99.70	0.78	12.97	32.40	1.96	14.93
Asche_Götzis	Götzis (geschickt)		99.83	2.28	12.55	13.00	1.95	29.28
			99.82	4.32	12.56	13.60	2.19	27.53
			99.79	3.82	12.55	13.30	1.84	29.14
Asche_Lech	Lech (geschickt)		99.70	1.50	12.98	41.80	2.88	21.46
			99.83	1.62	12.93	35.70	2.33	23.16
			99.82	1.70	13.05	37.00	3.76	17.60
Rinde_Flaurling	Flaurling Fichtenrinde		51.53	95.43	6.12	0.15	0.31	3.38
			49.70	96.18	6.01	0.11	0.01	7.72
			51.59	95.08	6.03	0.11	0.15	4.30

Die Pelletier-Versuche wurden zunächst nach Anweisung der Fa. Dettendorfer hergestellt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten (Maschine blockierte oder schmierte ab) konnten aber die ideale Zusammensetzung der Inputstoffe zur Palettierung eingestellt werden. Für die Pellet-Versuche wurden folgende Asche-Trägerstoff-Mischungen getestet:

- Asche + Klärschlammkompost: 70:30 mit 5% und 10% Wassergehalt  
Problem: zu trocken → Matrize blockiert.
- Asche + Klärschlammkompost: 70:30 mit 20% Wassergehalt  
Problem: zu nass Matrize schmiert
- Asche + Klärschlammkompost: 70:30 mit 15% Wassergehalt  
Funktioniert gut mit allen Aschen

Weitere durchgeführte Versuche:

- 1x Asche + Klärschlammkompost (KK): 70:30 mit 15% mit Aschen aus Vorarlberg  
→ kein Unterschied zu Mono-Aschen
- 1x Mischung Asche + Klärschlammkompost: 80:20 mit 15% Wassergehalt  
→ Pellets kürzer und schwächer sonst gutes Ergebnis
- 1x Mischung Asche + Gärrest: 90:10 mit 15% Wassergehalt  
→ Pellets sehr gut, NH<sub>3</sub> Entweichung negativ
- 1x Mischung Asche + Rinde: 65:35 mit 10% Wassergehalt (Empfehlung Dettendorfer)  
→ viel zu trocken → erfolgreiches Ergebnis mit der Mischung Asche 47%,  
Rinde 26,5 % und Wasser 26,5%
- 1x Mischung Asche + Biokompost: 70:30 mit 15% Wassergehalt  
→ Einfache Herstellung, gutes Ergebnis

Die Pellets wurden nach Herstellung einen Tag auf Raumtemperatur abgekühlt und danach in Plastiktüten gelagert.

Kompost (Bio- und Klärschlammkompost) stellte sich als der optimale Trägerstoff heraus. Die Rinde wurde aufgrund wirtschaftlicher Gründe für weitere Versuche ausgeschlossen und die Gärrest wurde auf Grund von sehr starken Ammoniakbildung während des Pelletier Vorgangs ausgeschlossen.

Tabelle 6 zeigt nochmals die Eckdaten des Lagerungsversuches und weist auf die Struktur der Pellets nach zwei Wochen Lagerung. Einige Pelletproben haben ihre Struktur verloren (vgl. Abbildung 12).

Tabelle 6: Eckdaten zum Lagerungsversuch

Asche Herkunft	Zusatzstoff	Ratio Asche:Zusatzstoff	Wassergehalt (%)	Bild
Götzis	Klärschlamm Kompost (KK)	70:30	15	a
Kufstein	KK	70:30	15	b
Kufstein	Gärrest	90:10	9,5 (Wasser aus dem Gärrest)	c
Lech	KK	70:30	15	d
Lech/Götzis/Rankweil (Mischung)	Rinde	65:35	26,5	e
Lech/Götzis/Rankweil (Mischung)	Bioabfall Kompost	70:30	15	f
Rankweil	KK	70:30	15	g
Rankweil	KK	80:20	15	h

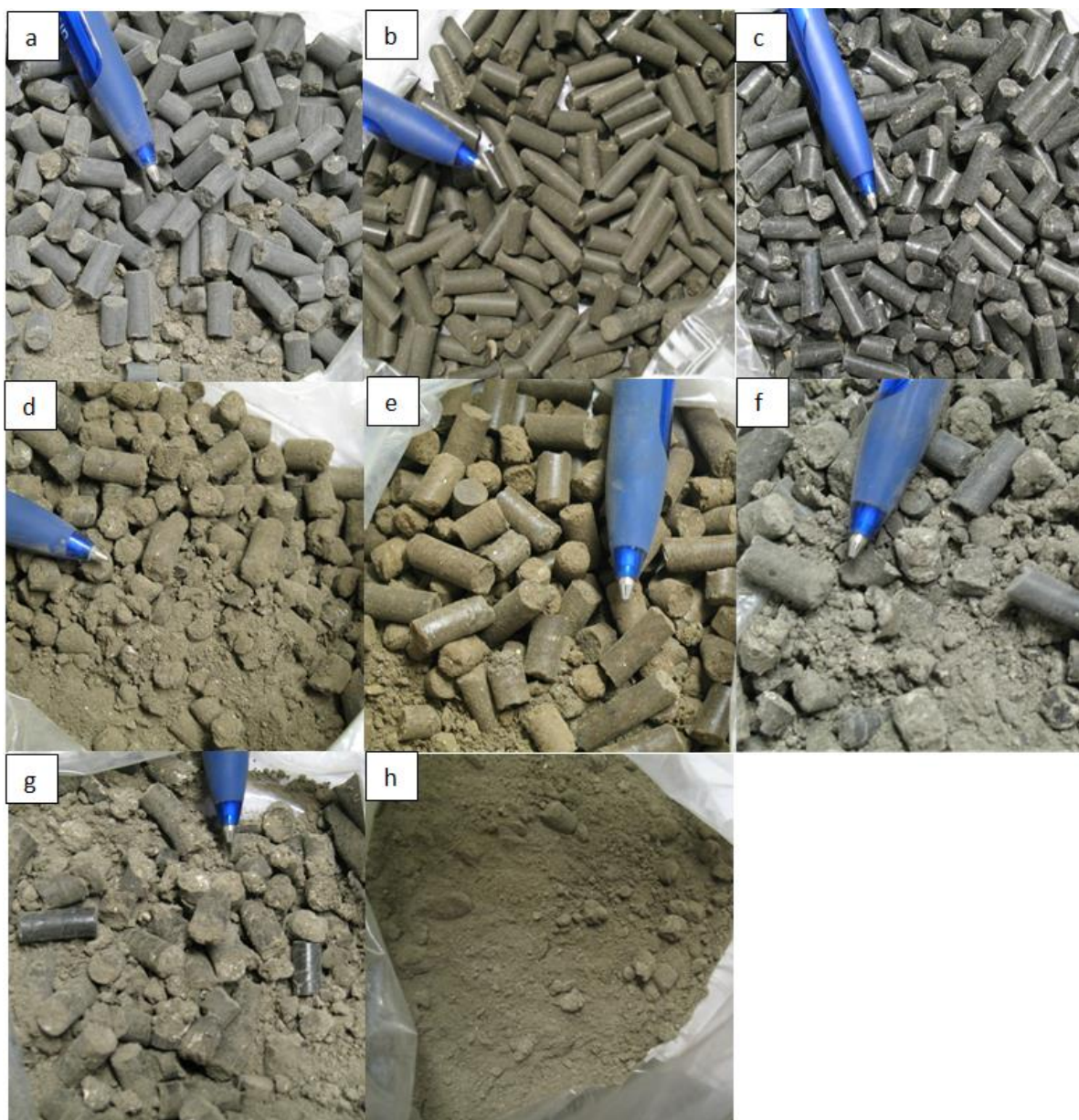


Abbildung 12: Pellets nach 2 Wochen Lagerung

## 4.2. Pellets-Lagerungsversuch

Da einige Pellet Varianten aus dem ersten Pellet-Versuch während der Lagerung zerfallen sind wurde beschlossen einen Lagerungsversuch von August 2013 bis November 2013 im Erdwerk der Fa. DAKA in Radfeld durchzuführen. In diesem Lagerungsversuch wurde der Einfluss unterschiedlich nasser Aschen und unterschiedlich alter Aschen auf die Stabilität der Pellets bestimmt.

Für diesen Versuch wurden 5 verschiedene Ascheproben aus dem Biomasseheizkraftwerk Lech (Vbg. Illwerke) (Abbildung 13) verwendet. Die als „Nass“ bezeichneten Aschen wurden vor der Lagerung mit 15% Wasser gemischt.

1. Asche von 28.08.2013. (Trocken)
2. Asche von 28.08.2013. (Nass)
3. Asche von 15.10.2013. (Trocken)
4. Asche von 15.10.2013. (Nass)
5. Asche von 27.11.2013. (Trocken)

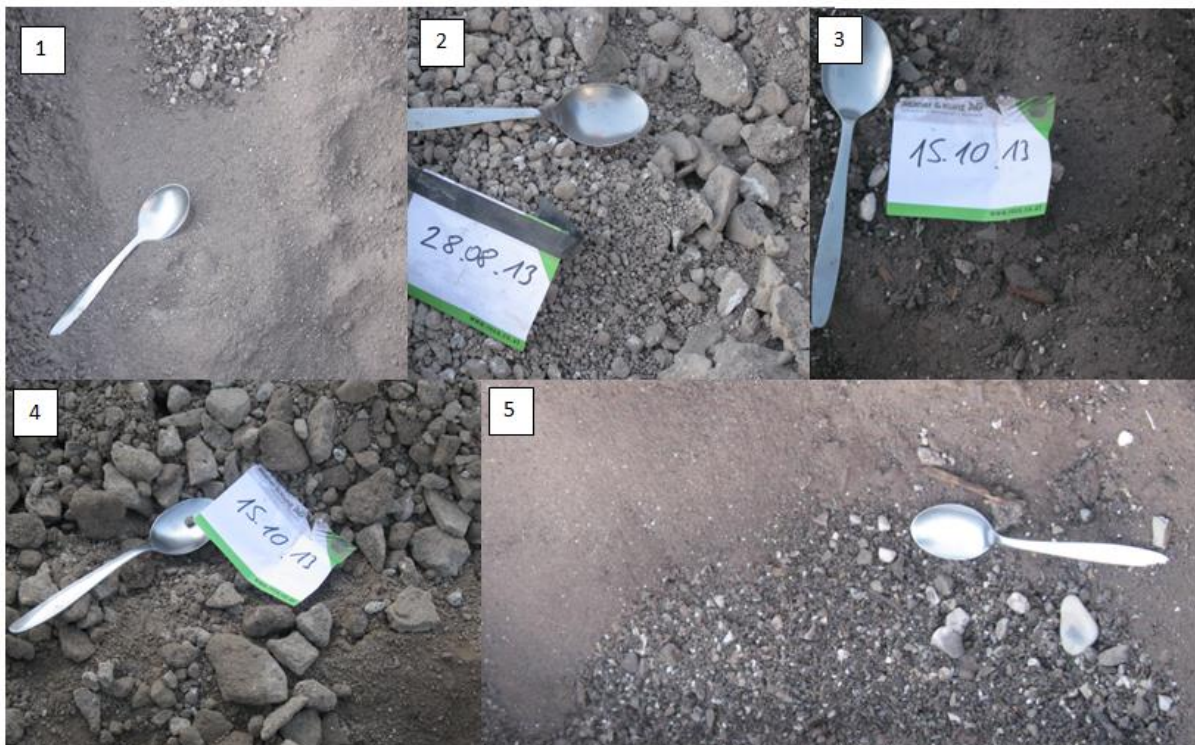


Abbildung 13: Fünf verschieden alte bzw. behandelte Aschen für den Lagerungsversuch.

Die fünf Aschesorten wurden gesiebt ( $\varnothing < 2 \text{ mm}$ ) und mit Klärschlammkompost ( $\varnothing < 2 \text{ mm}$ ), im Verhältnis 30:70 gemischt. Kurz vor der Pelletierung wurde die Mischung mit 15% Wasser angefeuchtet.

Es wurden 5 Mischungen vorbereitet mit einem Wassergehalt von 15% und einer Trockensubstanz von 85% Trockensubstanz (30:70; Klärschlammkompost: Asche):

Mischung 1: Asche Nass am 28.08.2013

Mischung 2: Asche Trocken am 28.08.2013

Mischung 3: Asche Trocken am 15.10.2013

Mischung 4: Asche Trocken am 27.11.2013

Mischung 5: Asche Nass am 15.10.2013

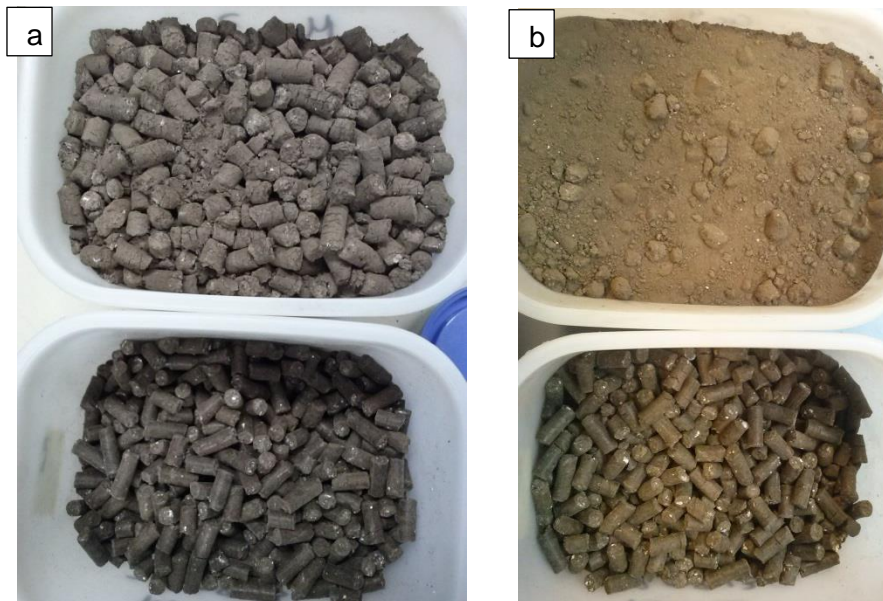


Abbildung 14: Pellets (a) aus Mischung 2 und 3 (3 ist oben) hergestellt am 13.02.2014 und (b) ca. 3 Wochen später am 04.03.2014 (Mischung 3 oben)

Aus Abb. 14 ist ersichtlich, dass die ältere Asche (Mischung 2 – in Abb. 14 unten) stabiler ist als die jüngere Asche (Mischung 3 – in Abb. 14 oben). Beide Mischungen waren „Trockenmischungen“. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Karbonatisierung der älteren Asche weiter fortgeschritten ist und dadurch stabiler ist.

Ein weiterer Einfluss auf die Lagerungsfähigkeit der Produkte kann auch der Verbrennungsprozess der Biomasse sein. (verschiedene Verbrennungstemperaturen bewirken unterschiedliche Mineralogie der Asche). Dieser Einfluss konnte im Rahmen dieses Projektes aber nicht untersucht werden.

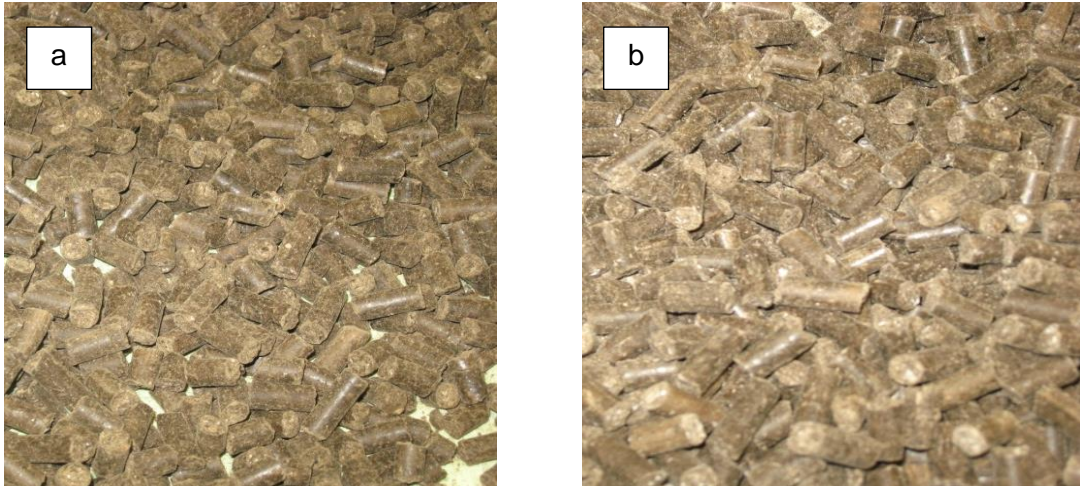


Abbildung 15: Pellets aus Mischung 1(a) und Mischung 5(b) am 20.03.2014.

Die Lagerungseigenschaften der Holzashpellets verbessern sich wenn die Asche nach dem Verbrennungsprozess angefeuchtet wird (vgl. Abb. 15). Das Alter der Aschen hat aufgrund der Karbonatisierung und der dadurch erfolgten Stabilisierung ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Stabilität der Produkte.

Aufgrund der Untersuchungen werden die Anfeuchtung der Asche nach dem Verbrennungsprozess und eine kurze Lagerung (ca. 4 bis 6 Wochen) der Holzasche zur Karbonatisierung empfohlen.



### 4.3. Industrielle Herstellung der Holzschepellets

Im dritten Projekttreffen (Bregenz am 12.06.2013) wurde beschlossen, dass für den Ausbringungsversuch mehrere Tonnen Pellets hergestellt werden. Des Weiteren sollten verschiedene Möglichkeiten der Ausbringung untersucht werden. Die weitere Vorgehensweise ist in Abbildung 16 zusammengefasst.

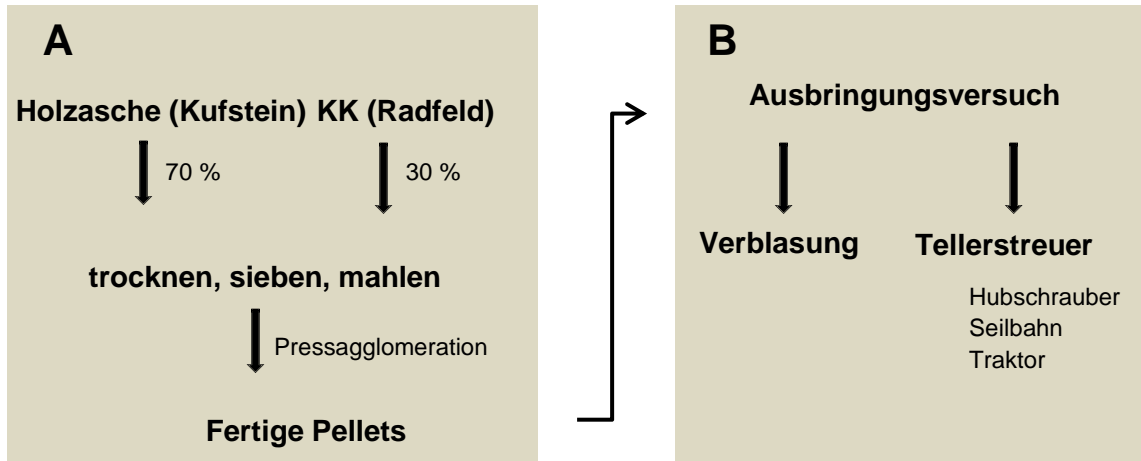


Abbildung 16: weitere Vorgehensweise zur Pellet-Produktion und zur Ausbringung (Darstellung: S. Waldhuber)

#### 4.3.1. Herstellung der Pellets

Aufbauend auf die Pelletversuche (siehe Kapitel 4.1) vom Frühjahr 2013 sollte Holzschlacke vom Biomasse-Fernheizwerk Kufstein (Nassentschlackung) und Klärschlammkompost (KK) von der Kompostieranlage Radfeld für die großtechnische Herstellung verwendet werden (Abbildung 17). In der linken Abbildung sind Schlackestücke und Störstoffe (Holz, Metall) zu erkennen und im rechten Bild Holzstücke im Klärschlammkompost der Kompostieranlage Radfeld.

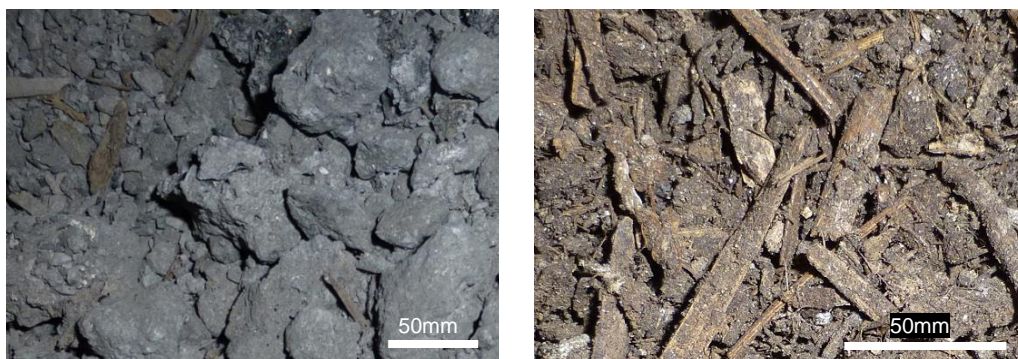


Abbildung 17: Holzschlacke vom Biomasse-Fernheizwerk Kufstein (Nassentschlackung) und KK von der Kompostieranlage Radfeld.

Die Pellets sollten auf der Versuchsanlage hpt 08 (Jumbo Group GmbH) hergestellt werden. Jedoch stellte die Herstellung mehrerer Tonnen Pellets mit dieser Anlage als sehr aufwendig dar. Daher wurden alternativ zwei Lohnpelletierer (Ländle Pellets, Dornbirn, Vorarlberg; Rauchfutter - Anton Rauch GmbH & Co KG, Hall in Tirol) in Betracht gezogen. Eine Ausfuhr zum Technikum des Pelletpressenherstellers Amando Kahl GmbH & Co. KG ist auf Grund des grenzüberschreitenden Verbringungsverbots der Asche nicht möglich. Aufgrund der örtlichen Nähe und aufgrund zweier getrennter Kreisläufe zur Pellet-Produktion (Futtermittel,

Düngemittel) wurde Rauchfutter (Abbildung 18 links) gewählt. Die Anlage zur Düngemittelproduktion steht seit einigen Jahren still (Düngemittelproduktion wurde eingestellt) und kann für die Pellet Herstellung herangezogen werden.

Die Aufarbeitung (trocknen, sieben, mahlen) der beiden Ausgangsmaterialien Asche und Klärschlammkompost musste jedoch vergeben werden, da dies die Fa. Rauchfutter nicht selbst durchführen kann. Beide Ausgangsmaterialien mussten kleiner 500 µm gemahlen werden, um die Abrasion der Pelletier-Matrize zu minimieren und pumpfähig zu sein (inklusive Silo-Fahrzeug da das Material in den sechsten Stock gepumpt werden musste).

Die Aufarbeitung der Ausgangsmaterialien (Holzasche, KK) war aufwendiger als anfangs gedacht. Vor allem die Vorgabe, dass die Korngröße maximal 500 µm seine dürfte erschwerte die Suche zunehmend. Schließlich wurde mit der Firma Cemtec, Cement and Mining Technology GmbH, in Enns, Oberösterreich ein kompetenter Partner gefunden (Abbildung 18 rechts). Cemtec zeichnet sich als Spezialist für Nass- und Trockenmahltechnologien für viele Arten von Schüttgütern, Steine/Erden und Erze aus. Ein hauseigenes Technikum ist angeschlossen.



Abbildung 18: Rauchfutter (links) und Cemtec (rechts).

Von Cemtec wurden in Vorversuchen die einzelnen Schritte festgelegt die notwendig sind um das Material auf Pelletier Feinheit zu mahlen. Neben einer vorgeschalteten Trocknung müssen auch die verschiedenen Störstofffraktionen entfernt werden. Diese Trocknung erfolgte für den KK durch die Kompostieranlage Radfeld (auf etwa 1 % Feuchtigkeit). Die Trocknung der Holzasche wurde im Biomasse-Fernheizwerk Kufstein durchgeführt (auf etwa 12 %). Nach mehreren Siebschnitten bei denen die Störstoffe entfernt wurden erfolgte bei Cemtec eine weitere Trocknung der Holzasche auf unter ein Prozent. Anschließend wurde sowohl der KK als auch die Holzasche mittels Kugelmühle „Doris“ auf Pelletier Feinheit gemahlen (Abbildung 19, Abbildung 20).

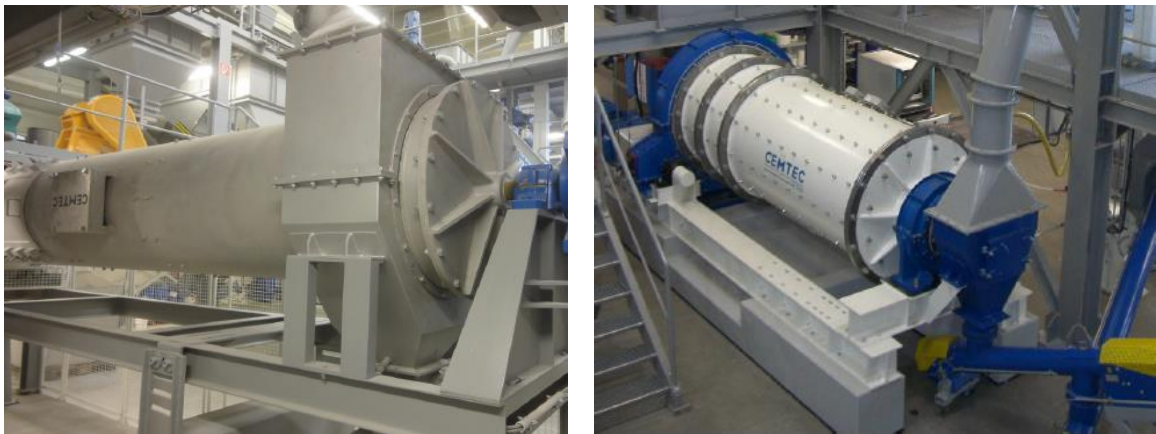


Abbildung 19. Trockner TT0950 (links). Kugelmühle „Doris“ (rechts) (Fotos: Fa. Cemtec).

Insgesamt wurden etwa 4.5 Tonnen Holzasche (feucht) und drei Tonne KK von Cemtec verarbeitet. Nach Trocknung und Entfernen der Störstoffe blieben etwa 1.5 Tonnen gemahlene Holzasche und etwa eine Tonne gemahlener KK zur weiteren Verwendung übrig.

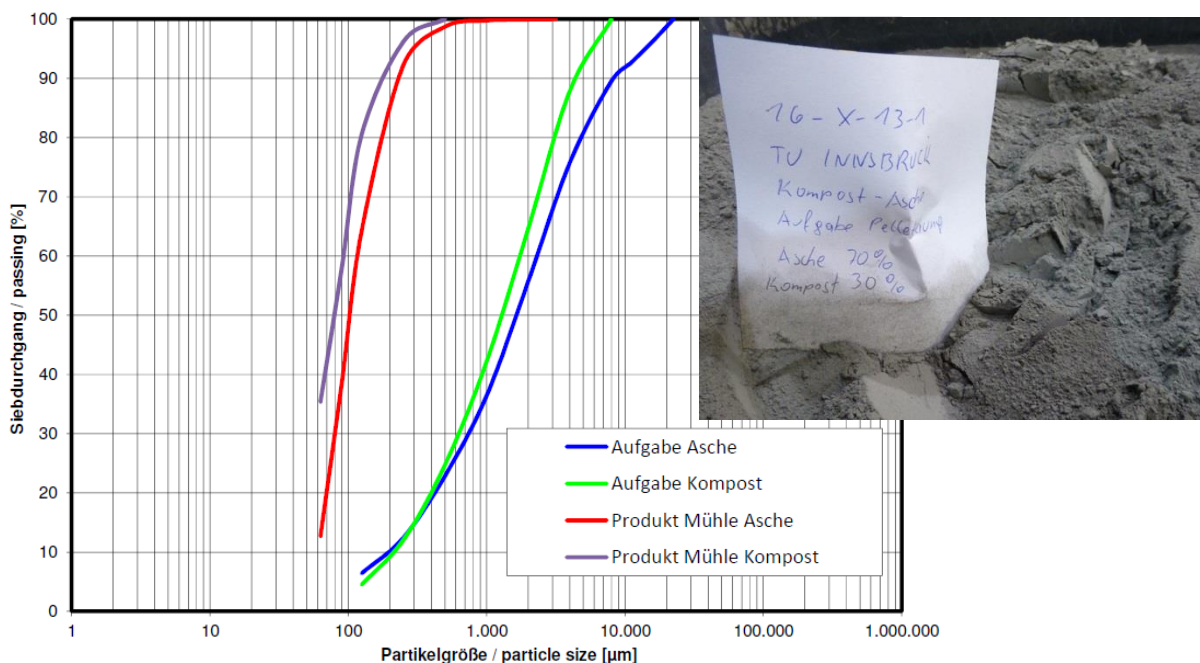


Abbildung 20: Partikelgröße Eingangsmaterial (Holzasche: blau; KK: grün) und Produkt (Holzasche: rot; KK: violett). Der P80 liegt zwischen 100 µm und 200 µm (Diagramm und Foto: Fa. Cemtec)

Nachdem bei Rauchfutter ein Verschleißteil kaputt gegangen ist verzögerte sich das Pelletieren mehrmals. Um die Herstellung eines weiteren Holzascheproduktes nicht weiter zu verzögern wurde in einem Projekttreffen beschlossen das Angebot der Fa. Cemtec anzunehmen und das gesamte Material mittels Aufbaugranulation in Ihrem Technikum herzustellen. Die Aufbaugranulierung hat auch Vorteile gegenüber der Presspelletierung (vgl. Kap. 4.3.2. und Kap. 6).

#### 4.3.2. Aufbaugranulat

Als zweites Verfahren für die Produktentwicklung wurde die Möglichkeit der Aufbaugranulierung geprüft (Abbildung 21). Im Gegensatz zur Pressagglomeration liegt der Vorteil im geringeren Energieverbrauch und im geringeren Materialverschleiß (Bsp.: Matrizenabrasion). Außerdem besteht die Möglichkeit nur Holzasche zu verwenden und es kann eine dem Verwendungszweck angepasste Größe der Granula hergestellt werden. Jedoch muss zusätzlich ein Bindemittel zugeben werden (Variabilität der Härte). Als Bindemittel bietet sich für die Ausbringung im Wald Melasse an, das nach Rücksprache mit der Forstbehörde als unbedenklich eingestuft wurde. Durch Zugabe unterschiedlicher Konzentrationen an Melasse kann die Härte reguliert werden. Auch können Granula beliebiger Größe hergestellt werden (vgl. Abb. 21).

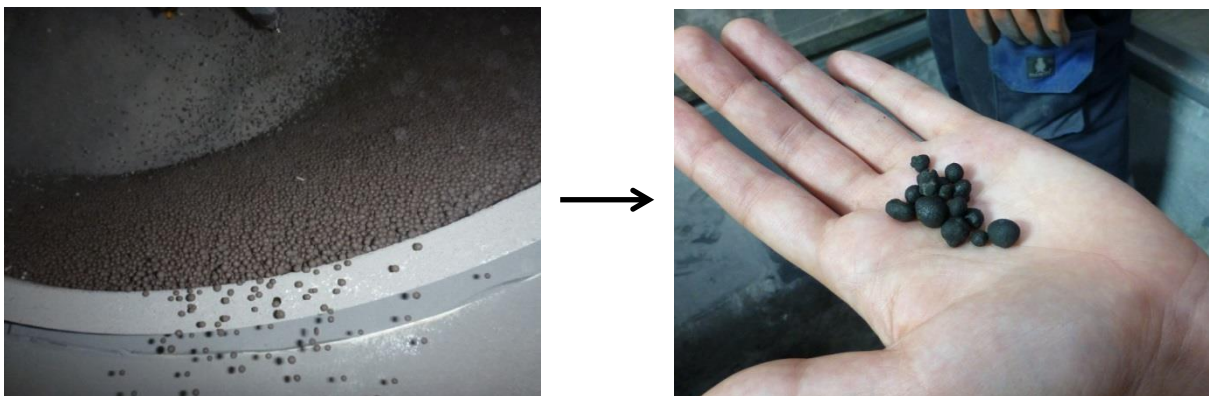


Abbildung 21: Von Cemtec hergestellte Holzasche-Granula (Foto: Fa. Cemtec)

In Abbildung 22 ist das Schema der einzelnen Prozessschritte zur Herstellung von Granula (nach Cemtec) zusammengefasst. An den einzelnen Prozessschritten lässt sich erkennen, dass die Aufarbeitung (trocknen, sieben, mahlen) der Ausgangsmaterialien (Holzasche, KK) der aufwendigere und umfangreichere Anteil der Prozesskette ist. Diese Aufarbeitung ist sowohl für Granula als auch für Presspellets dieselbe. Beide Prozesse unterscheiden sich erst beim eigentlichen Aufbaugranulationsschritt bzw. bei der Pressagglomeration.

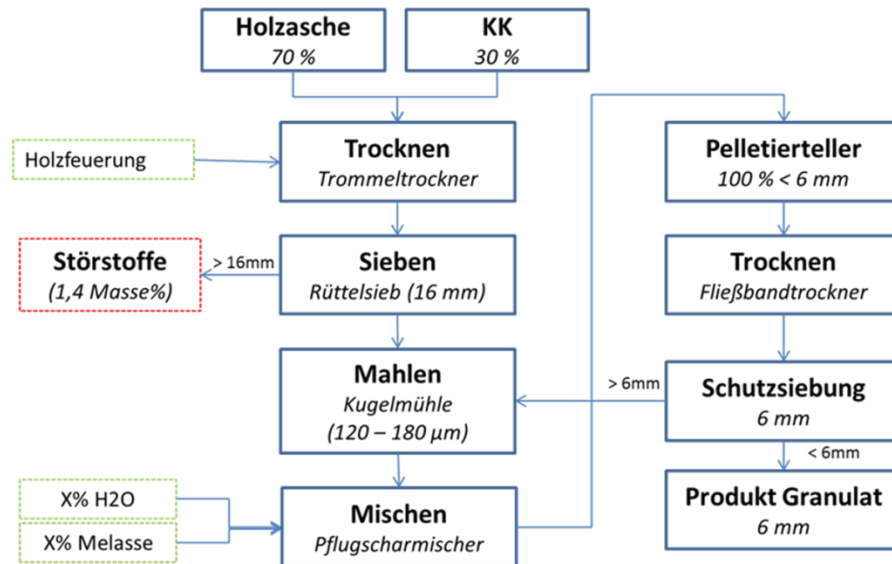


Abbildung 22: Die einzelnen Prozessschritte die für die Herstellung von Granula notwendig sind (nach Cemtec) (Darstellung: M. Ortner).

Insgesamt wurden 1.800 kg Granula hergestellt. Es wurden 1.250 kg Granula in der Mischung Asche, Wasser und Melasse im Verhältnis 84: 9: 7 hergestellt (=PA1) und 550 kg Granulat in der Mischung 70 % Holzasche, 30 % Klärschlammkompost (=PK1).

## 5. Ausbringungstechnik

(S. Waldhuber, A. Knapp)

Neben den Verfahrenstechniken zur Herstellung wurden in diesem Projekt auch die verschiedenen Ausbringungstechniken der entwickelten Produkte betrachtet. Parallel zum Arbeitspaket Verfahrenstechnik wurden verschiedene Ausbringungsverfahren durch Literaturstudium, Erfahrungen aus anderen Projekten und Ideen der Projektpartner in Betracht gezogen. Es wurden 29 Studien aus Finnland, Schweden, Deutschland, Österreich, Norwegen, England, Slowakei, Frankreich und Österreich verglichen. Aufbauend auf den Rechercheergebnissen wurde eine Ausbringung mittels Hubschrauber, Verblasen und Bringungsseilbahn in Erwägung gezogen.

- 1) Verstreuen mittels Tellerstreuer an Hubschrauber  
Seilbahn (für die Holzwirtschaft)  
Fahrzeug (z.B. Traktor)
- 2) Verblasen mittels Gebläse

Die Möglichkeit mittels Tellerstreuer an einem Fahrzeug wurde nach näherem Studium als ungeeignet betrachtet. Bei einer Streubreite von maximal 15 Metern (in Abhängigkeit vom Gelände) würde das meiste Material auf dem Forstweg landen. Im Gegensatz zu vielen Wäldern in Deutschland ist das Befahren selbiger in Tirol kaum möglich (zu steil, dicht, ...). Somit wurde die Möglichkeit eines Tellerstreuers an einem Hubschrauber bzw. Seilbahn und Verblasen weiter verfolgt.

Als vielversprechend stellte sich die Möglichkeit des Verblasens heraus. Zu diesem Zweck wurde die Firma Schneider Verblasetechnik e.K., in Wies, Deutschland kontaktiert. Diese hat ein patentiertes Verfahren zur Nassverblasung von Kalk (maximal 7 %) oder ähnlichem Material. Ihre Geräte können bis zu 90 m (unabhängig von Gelände und Vegetation) ausblasen (Abbildung 23 und 24).



Abbildung 23 und 24: Nassverblasung von Kalk mittels patentiertem Verfahren der Schneider Verblasetechnik e.K. (Quelle: Fa. Schneider)

Im weiteren Projektverlauf stellte sich jedoch heraus, dass diese Geräte hauptsächlich für das Verblasen von „Pulver“ verwendet werden. Pellets bzw. Granula können damit auch

ausgebracht werden, jedoch würden sie im Gerät pulverisiert werden. Entsprechend feste Pellets hätten ähnliche Eigenschaften auf die Vegetation wie abgefeuerte Schrotkugeln.

Auf Grund der verzögerten Herstellung der Aschepellets- bzw. Aschegranulien konnte ein Ausbringungsversuch während der Projektlaufzeit nicht mehr durchgeführt werden.

Die maschinelle großflächige Ausbringung der Holzascheprodukte wird auf Grund der uns vorliegenden Informationen als sehr schwierig beurteilt. Es wurde am 25.09.2014 ein kleiner Ausbringungsversuch mit unseren produzierten Holzaschegranulien bei der Tellerstreuerhersteller Firma Rauch, Rheinmünster, Deutschland mit folgendem Ergebnis durchgeführt:

Das Produkt Holzasche-Kompost-Granulat (=PK1) ist nicht streufähig, da eine Bruchfestigkeit von 1 (entspricht 10N) für die Ausbringung mit einem Scheibendüngerstreuer zu weich ist. Das bedeutet, dass das Einzelkorn bei der Übergabe in den Wurfflügel aufplatzen würde und dann somit nur noch Staub und Bruchkorn entstehen würde. Auch ein Schüttgewicht von 0,86 kg / l ist nicht ausreichend um auch größere Arbeitsbreiten streuen zu können

Das Produkt Holzasche-Granulat ohne Zuschlagstoff (=PA1) erzielte sehr gute Ergebnisse. Aufgrund der guten Bruchfestigkeit von 5 (entspricht 50N) und einem Schüttgewicht von 0,95 kg / l eignet sich diese Ware für die Ausbringung mit einem Scheibendüngerstreuer, auch für Arbeitsbreiten von ca. 36m.

Der Optimierungsvorschlag der Fa. Rauch lautet wie folgt:

*„Da die Ware sehr grob granuliert ist und somit gerade bei der Ware PK1 ein sehr hohes Einzelkorngewicht von bis zu 2,4gr. erreicht wird, sollte hier die maximale Korngröße auf ca. 5mm beschränkt werden und dafür ein breiteres Korngrößenspektrum (mehr Feinanteil) angestrebt werden. Grundsätzlich sollte ein mittlerer Korngrößendurchmesser (d50) von ca. 3,5– 4mm bei einem Schüttgewicht von ca. 1,00 kg / l erreicht werden, um eine gute Querverteilung beim Streuen bekommen. Bezüglich der Kornhärte hatten Sie erwähnt, dass es ihrem Granulathersteller möglich wäre diese auch noch zu erhöhen. Die von PA1 gemessene Kornhärte mit 5 ist schon gut, sollte wenn möglich auf ca. 8 erhöht werden, was dann eine annähernd staubfreie und Bruchkornarme Ausbringung der Ware ermöglicht.“*

Die Eigenschaften für das Granulat sind laut Fa. Cemtec alle erreichbar. Die Gruppe Forst wird in Zusammenarbeit mit der Fa. Rauch im Frühjahr 2015 einen Ausbringungsversuch mittels Seilbahn und Tellerstreuer im Gelände durchführen.

## 6. Ausbringungsflächen

(F. Guse, P. Stampfl)

### 6.1. Zielsetzung

Ein weiterer wesentlicher Baustein des Projektes war die Erstellung einer Flächenbilanz über die tatsächlich möglichen Ausbringungsflächen in Tirol und Vorarlberg. Dazu wurden im Rahmen einer Masterarbeit folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Flächen eignen sich aus naturschutzfachlicher und forstwirtschaftlicher Sicht für die Ausbringung von Holzascheprodukten und welche müssen gemieden werden?
- Wo liegen die tatsächlich nutzbaren Flächen für die Ausbringung in den Bundesländern Tirol und Vorarlberg?
- Wie groß ist der Anteil der Potenzialflächen an der gesamten Waldfläche?
- Wie groß ist die Menge an Holzasche, die nach RLP auf den ermittelten Flächen ausgebracht werden kann?
- Inwiefern verändert sich der Anteil an Ausbringungsflächen und -mengen wenn unterschiedliche Techniken der Ausbringung angewendet werden?

Für die Beantwortung der genannten Fragestellung wurde eine Flächenbilanz auf Grundlage eines definierten Kriterienkatalogs erstellt. Diese gibt Auskunft über die Eignung der einzelnen Waldflächen für die Ausbringung der Asche sowie deren Größe und Lage. Um Flächen als geeignet oder ungeeignet einzustufen wurden bestimmte Restriktionen definiert. Hierfür wurde sowohl die aktuelle Gesetzeslage als auch Expertenwissen aus den Bereichen Forst und Umweltschutz als Grundlage herangezogen. Eine lagegenaue Bestimmung und Einstufung der jeweiligen Waldflächen erfolgte in einem Geografischen Informationssystem (GIS). Als Ergebnis wurden die definierten Restriktionen und die Eignung der Flächen in einer Datenbank eingearbeitet. Zudem ermöglichte die kartografische Bearbeitung eine plangenaue Darstellung der Flächen inklusive der Eigenschaften aus der Datenbank. Diese potenziellen Grundflächen wurden in einem weiteren Schritt auf ihre Nutzbarkeit mittels verschiedener Ausbringungstechniken geprüft und separat berechnet. Dies ermöglicht eine weitere Eingrenzung der Potenzialflächen und eine Aussage darüber, auf welchen Flächen mit welcher Technik ausgebracht werden kann. Einbezogen wurden dabei folgende drei Varianten:

- Ausbringung per Helikopter
- Ausbringung durch Kreiselstreuer, welche an Seilbahnen der Holzbringung befestigt werden
- Ausbringung per Verblasegerät von Forstwegen



## 6.2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (UG) der Masterarbeit wurde durch das Forschungsprojekt AshTreaT definiert. Es handelt sich dabei um die gesamten bewaldeten Flächen der österreichischen Bundesländer Tirol und Vorarlberg. Im folgenden Kapitel wird das UG näher beschrieben und die aktuelle Situation der Wälder erläutert.

### 6.2.1. Waldzustand

Seit Beginn der österreichischen Waldinventur (1961) ist eine stetige Flächenzunahme des Waldes erkennbar. Aktuell liegt die gesamte Zunahme seit 1961 bei rund 300.000 ha (Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), 2012). Jedem Einwohner stehen somit umgerechnet 0,5 ha Wald, beispielsweise für Erholungszwecke, zur Verfügung. Dies sind deutlich höhere Waldanteile als in den benachbarten Staaten Deutschland (0,14 ha Wald pro Einwohner) oder der Schweiz (0,17 ha Wald pro Einwohner) (Russ, 2011). Nach Kartierungen ergibt sich eine Waldfläche von 3.960.000 ha, was einem Waldanteil von 47,6 % der Bundesfläche entspricht. Der Grund für die Zunahme der Waldflächen ist die Aufgabe der ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzung sowie die natürliche Ausbreitung auf z.B. Schuttfächen, Moorstandorten und Böschungen (Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), 2011).

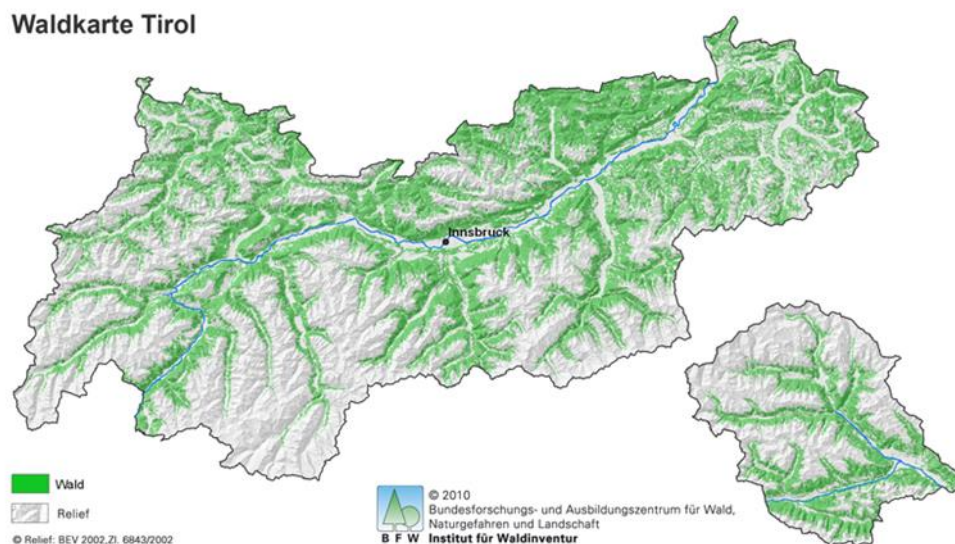


Abbildung 25: Waldkarte Tirol

Quelle: (BFW-Bundesforschungszentrum für Wald, 2010)

Der Waldanteil in Tirol liegt bei 41,2 % der gesamten Landesfläche (Amt der Tiroler Landesregierung, Gruppe Forst, 2012). Bei einer Landesfläche von 1,3 Mio. ha entspricht dies etwa 0,5 Mio. ha Wald (BFW - Bundesforschungszentrum für Wald, 2010). In Tirol werden ca. 48 % der Gesamtwaldfläche als Schutzwald kategorisiert (BFW - Bundesforschungszentrum für Wald, 2014)

### Waldkarte Vorarlberg

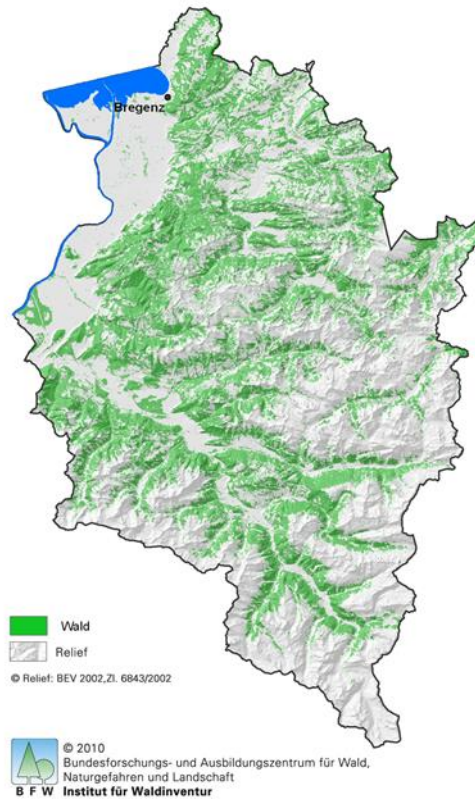


Abbildung 26: Waldkarte Vorarlberg

Quelle: (BFW-Bundesforschungszentrum für Wald, 2010)

Der Anteil von bewaldeten Flächen in Vorarlberg beträgt 37,4 % der Gesamtfläche. Abgeleitet von 0,26 Mio. ha Landesfläche beträgt die Waldfläche ca. 97.000 ha (BFW - Bundesforschungszentrum für Wald, 2010). Die Waldfläche setzt sich aus ca. 48.000 ha Wirtschaftswald und ca. 49.000 ha Schutzwald zusammen (Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Forstwesen, 2014)

## 6.3. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt gegliedert nach den ermittelten Restriktionen, den potenziellen Grundflächen sowie den Potenzialflächen der drei möglichen Ausbringungstechniken.

### 6.3.1. Restriktionen

Unter Restriktionen oder Ausschlusskriterien werden die Flächen verstanden, welche für die Ausbringung der angefallenen Holzasche nicht geeignet sind. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich bei diesem Projekt lediglich um forstwirtschaftlich genutzte Flächen handelt. Somit sind Flächen außerhalb des Waldes grundsätzlich auszuschließen. Als erste Grundlage zur Ermittlung der nicht nutzbaren Flächen wurde die Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen (RLP), welche vom Bundesministerium für Land – und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

herausgegeben wurde, herangezogen (Holzner Heinrich, 2011, S. 26). Die sich dadurch ergebenden Tabuflächen (Tabelle 7) sind im Weiteren durch Expertengespräche ergänzt und mit Abstandsflächen versehen worden.

Tabelle 7: Kriterien nach Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen

<b>Ausschlusskriterien</b>
Moore, magere Primärstandorte, Felsfluren und andere schutzwürdige Sonderbiotope
Naturschutzgebiete und Naturdenkmäler
Wasserschutzgebiete (Zone I)
Ufer von Oberflächengewässern
Naturwaldreservate
Versuchs- und Beobachtungsflächen (ausgenommen Düngeversuche)
Seichtgründige, trockene, sehr durchlässige Böden (z.B. Rendzinen)
Schotter ohne Feinbodendecke, insbesondere Kalkschotter, Kalkschutt, Dolomitgrus
Steilhänge, extreme Sonnhänge, Kuppen
Grundwasserbeeinflusste und staunasse Böden
Eutrophe, nitratreiche Waldböden
Stark aufgelichtete Bestände mit unzulänglicher Vegetationsdecke
Wildwintergatter

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Ausbringungen von Ascheprodukten ähnliche Auswirkungen auf den Standort haben wird wie Kalkungen. Allgemein sind Flächen auszuschließen, die aufgrund ihrer Standortseigenschaften auch für Kalkungen ungeeignet sind und/oder durch bestimmte Vorschriften geschützt sind oder für andere Nutzungen vorgesehen sind (Holzner Heinrich, 2011). Neben diesen geschützten Landschaftsbestandteilen sowie den Vorgaben durch die Richtlinie sind daher Standorte mit einer hohen Basizität und ausreichender Nährstoffversorgung auszuschließen (Mutsch, 2009, S. 15).

### 6.3.2. Kriterienkatalog

Unter Berücksichtigung der definierten Ausschlusskriterien durch die RLP wurden im Zuge des Projektes weitere Kriterien bestimmt bzw. die vorgegebenen Restriktionen weiter detailliert. Das Ergebnis ist ein Kriterienkatalog mit allen relevanten Restriktionsstandorten. Für diese Feinabstimmung haben Expertengespräche in Form von Diskussionsrunden an der Abteilung Umweltschutz der Tiroler Landesregierung stattgefunden<sup>1</sup>.

Diese Kooperation ermöglichte eine übergreifende Betrachtungsweise der Umwelteinflüsse und der Abschätzung der möglichen Auswirkungen. Um eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Kriterien zu ermöglichen werden diese im Folgenden in Gruppierungen dargestellt. Zusammengefasst sind die Restriktionen nach der Datengrundlage sowie der Größe ihrer Abstandsdistanzen. Unterschieden werden dabei maximale (1000 m), große (200 m), mittlere (100 m), geringe (50 m) und keine Abstände (0 m). Die Auflistung erfolgt geordnet nach den jeweiligen Datengrundlagen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich einige Datengrundlagen

<sup>1</sup>Expertengespräche: Dr. Michael Haupolter, Mag. Walter Michaeler (Abteilung Umweltschutz); Dr. Dieter Stöhr (Abteilung Forstorganisation)

decken. Wenn beispielsweise einige Aufnahmen der Biotopkartierung unter einem bestimmten Schutzstatus stehen, so werden diese auch unter der Kartierung der Schutzgebiete dargestellt.

Ausgenommen aus den Datengrundlagen ist die Waldbiotopkartierung, da diese nicht flächendeckend vorhanden ist. Die wertvollen Bereiche der Waldbiotopkartierung finden sich zudem in den abgegrenzten Naturwaldreservaten wieder.

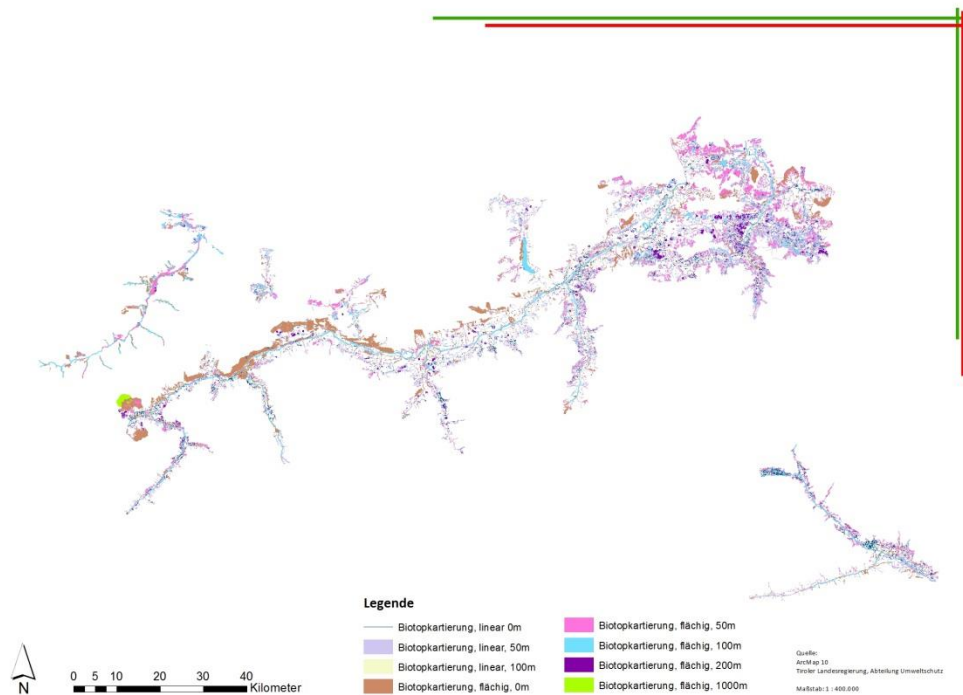


Abbildung 27: Exemplarische Darstellung der Restriktionsbereiche

In Abbildung 27 werden die Restriktionen der Biotopkartierung für alle getroffenen Tabuflächen exemplarisch für Tirol dargestellt. Zu sehen sind die Flächen der Biotopkartierung inklusive der angewendeten Puffer.

Die folgende Auflistung der Kriterien soll keine detaillierte Lebensraumtypisierung darstellen, sondern einen Überblick über die herangezogenen Daten und deren Verwendung geben. Die inhaltliche Beschreibung dient dabei der Veranschaulichung der verschiedenen Standorte sowie der möglichen Auswirkungen durch die Ausbringung der Holzasche.

Als Grundlage für die Ermittlung der potenziellen Grundflächen dienen die einzelnen Tabuflächen. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich viele der Flächen überschneiden. Aufnahmen der Biotopkartierung können also aufgrund ihres Schutzstatus auch in der Schutzgebietskartierung aufgenommen sein. Die aufgelisteten Flächengrößen berücksichtigen dies allerdings nicht. Berechnet sind die absoluten Flächen jeder Restriktion. Die Summe der einzelnen Flächen gleicht somit nicht der Größe der aus dem Wald ausgeschlossenen Gebiete.

Die angewandten Restriktionen wurden in drei Untergruppen gegliedert. Sortiert sind die Tabubereiche nach ihrem flächigen Auftreten. Die größten Kartierungen werden dabei zuerst genannt und die flächenmäßig am geringsten vertretenen erscheinen zuletzt. Nachfolgend

wird auf die Flächenverteilung sowie die sonstigen dargestellten Eigenschaften der Kriterien eingegangen. Die grafischen Darstellungen der besagten Flächen beziehen sich auf die berechneten Ergebnisse.

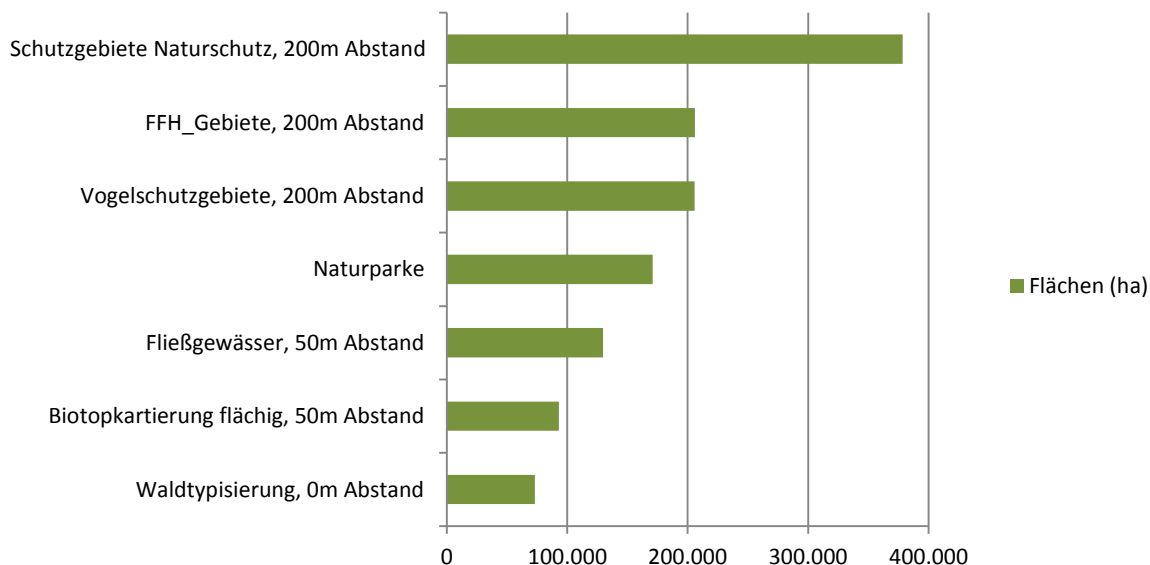


Abbildung 28: Flächengrößen der Restriktionen in Tirol (I)

Die in Abbildung 28 dargestellten Flächen stellen die sieben größten Restriktionskategorien dar. In Tirol am meisten vorkommende Ausschlussbereiche werden mit über 378.000 ha durch die Schutzgebiete nach Naturschutzgesetz gebildet. Die darauf folgenden Restriktionsflächen sind mit jeweils knapp über 200.000 ha durch Natura 2000 Gebiete vertreten. Bei den beiden letztgenannten ist festzustellen, dass die maximalen Flächengrößen identisch sind. Generell ist in dieser Rubrik der am größten vertretenen Restriktionen festzustellen, dass der Hauptanteil durch geschützte Landschaftsteile eingenommen wird.

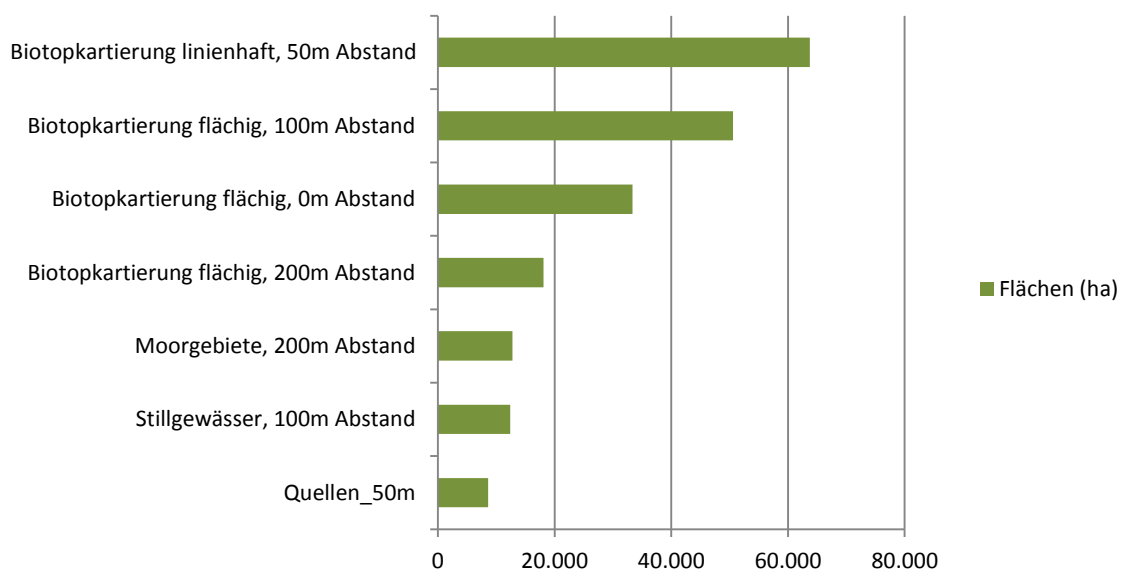


Abbildung 29: Flächengrößen der Restriktionen in Tirol (II)

Im weiteren Verlauf der Restriktionsauswertung ist eine stetige Reduktion der Flächengrößen festzustellen (Abbildung 29). Die größten Flächen werden in dieser Kategorie II durch weitere Einheiten der Biotopkartierung dargestellt. An oberster Stelle stehen mit 63.751 ha die Flächen der Biotopkartierung, welche mit einem Abstand von 50 m versehen wurden. Darauf folgen die flächigen Biotopkartierungen mit 100 m Abstand mit einer Gesamtfläche von 50.579 ha. Mit einem wesentlich geringeren Anteil sind darauf folgend die kartierten und ausgeschlossenen Feuchtgebiete aufgelistet.

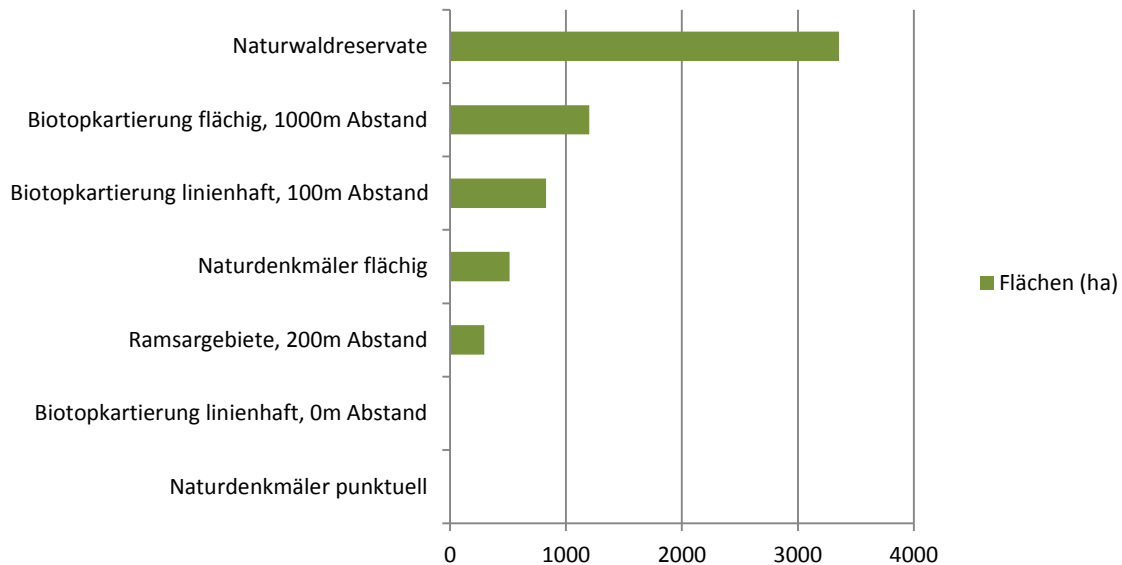


Abbildung 30: Flächengrößen der Restriktionen (III)

Die letzte Kategorie (Abbildung 30) ist durch sehr geringe Flächengrößen geprägt. Die größte vertretene Einheit stellt dabei die der Naturwaldreservate, welche allerdings auch nur mit knapp über 3.000 ha vertreten ist. Ein Extrem stellt hierbei die Einheit der linienhaften Biotopkartierung dar. Diese ist mit über 11.000 Einzelflächen aufgenommen, nimmt dafür lediglich eine Gesamtgröße von ca. einem Hektar ein. Die aufgenommenen Naturdenkmäler sind punktuell aufgenommen und nehmen aus diesem Grund keine nennenswerte Fläche in Anspruch.

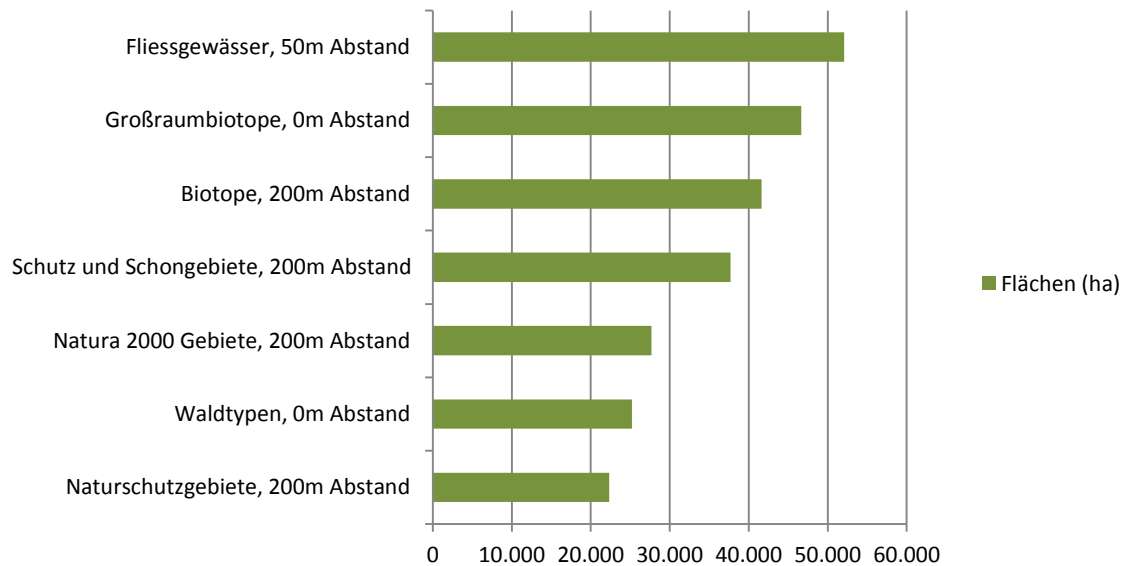


Abbildung 31: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (I)

Die in Vorarlberg am meisten auftretenden Restriktionen werden durch die kartierten Fließgewässer gebildet (Abbildung 31). Diese stellen mit einem Abstand von 50 m eine Gesamtfläche von über 52.000 ha. Die darauffolgenden Tabuflächen werden durch ausgewiesene Schutzgebiete dargestellt. Am geringsten vertreten ist in dieser ersten Rubrik der Vorarlberger Restriktionsflächen die Kartierung der Naturschutzgebiete mit 200 m Puffer und einer Gesamtflächen von 22.356 ha.

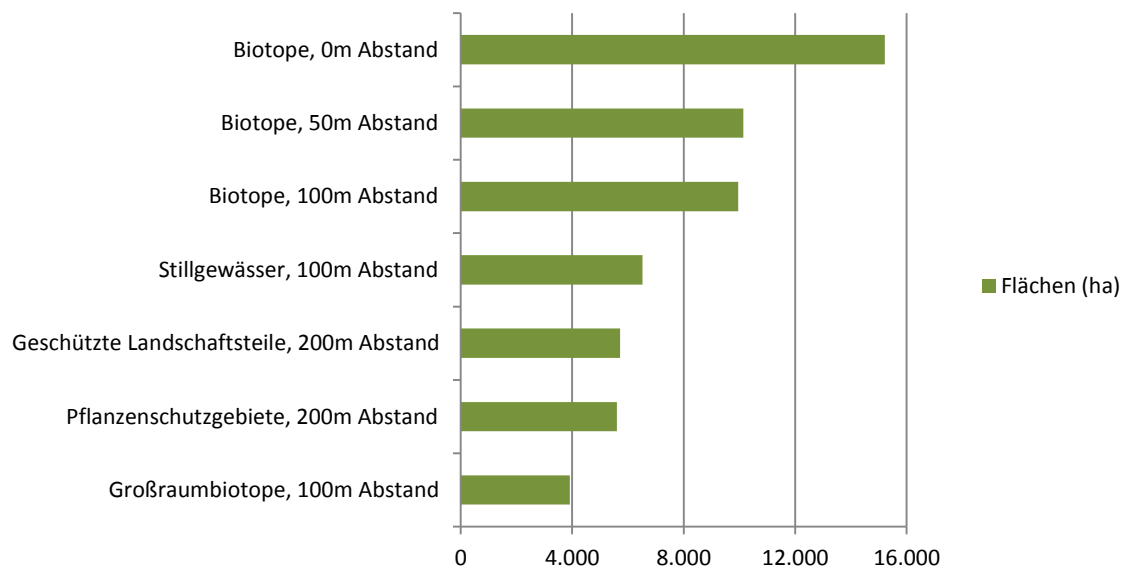


Abbildung 32: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (II)

In der vorliegenden Kategorie II ist eine stetige Reduktion der Flächengröße festzustellen (Abbildung 32). Die größte Einheit bilden die Biotop ohne Abstände mit einer Fläche von

15.220 ha. In dieser Gruppierung sind des weiteren Biotope, Schutzgebiete und Stillgewässer vertreten.

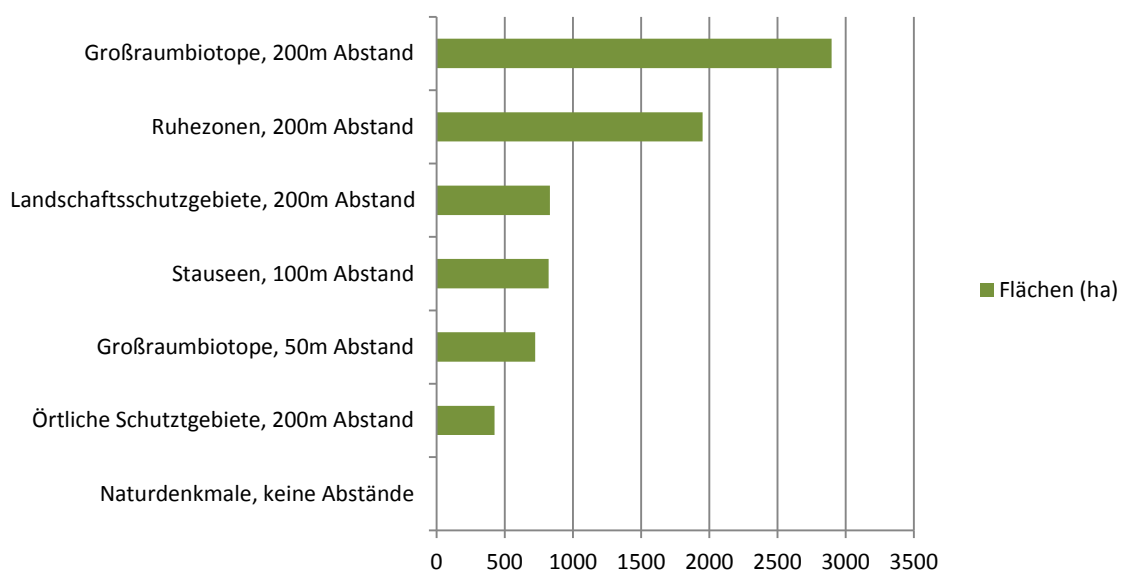


Abbildung 33: Flächengrößen der Restriktionen in Vorarlberg (III)

Etwa 2.900 ha nehmen die Großraumbiotope mit einem Abstand von 200 m in Anspruch. Die sieben aufgenommenen künstlichen Gewässer haben eine Größe von 821 ha. Die am kleinsten vertretenen Restriktionseinheiten in Vorarlberg werden durch Großraumbiotope mit einem Abstand von 50m (723 ha) und den örtlichen Schutzgebieten mit 200 m Puffer (426 ha) gebildet. Die 223 vorkommenden Naturdenkmäler sind, wie in Tirol, punktuelle Aufnahmen und nehmen keine nennenswerten Flächen in Anspruch.

### 6.3.3. Potenzielle Grundflächen

Tabelle 8: Potenzielle Grundflächen in Tirol

Datengrundlage	Grundfläche (ha)	Nutzbare Fläche (ha)	Nutzbare Fläche im Ertrag (ha)
WALD_TIROL	515.216	294.081	204.782

Nach Abzug der definierten Restriktionen ergeben sich für Tirol potenzielle Grundflächen von 204.782 ha. Dabei handelt es sich um die Waldflächen, welche tatsächlich im Ertrag stehen und somit forstwirtschaftlich genutzt werden. Die als nutzbare Fläche benannten Waldbereiche von 294.081 ha sind diejenigen, die nicht unter die Restriktionsbereiche fallen, jedoch auch nicht forstwirtschaftlich genutzt werden. Diese werden somit ausgeschlossen und in der weiteren Bearbeitung nicht als nutzbar betrachtet.

Auf den ermittelten Flächen, welche nutzbar sind und im Ertrag stehen können laut der RLP in einem Zeitraum von 20 Jahren 409.564 t Asche ausgebracht werden.

In Abbildung 34 wird die Verteilung der Waldflächen sowie derer, die für die Holzascheausbringung nutzbar sind, dargestellt. Rot gekennzeichnet sind dabei die Flächen, welche nach Abzug der Restriktion für die Ausbringung geeignet sind. Die grün dargestellten Areale sind die als Wald kartierten Grundflächen Tirols. Abbildung 35 zeigt diese Ergebnisse



in Form eines Diagramms. Berücksichtigt sind dabei zudem die Ergebnisse der nutzbaren Flächen, welche sich nicht im Ertrag befinden.

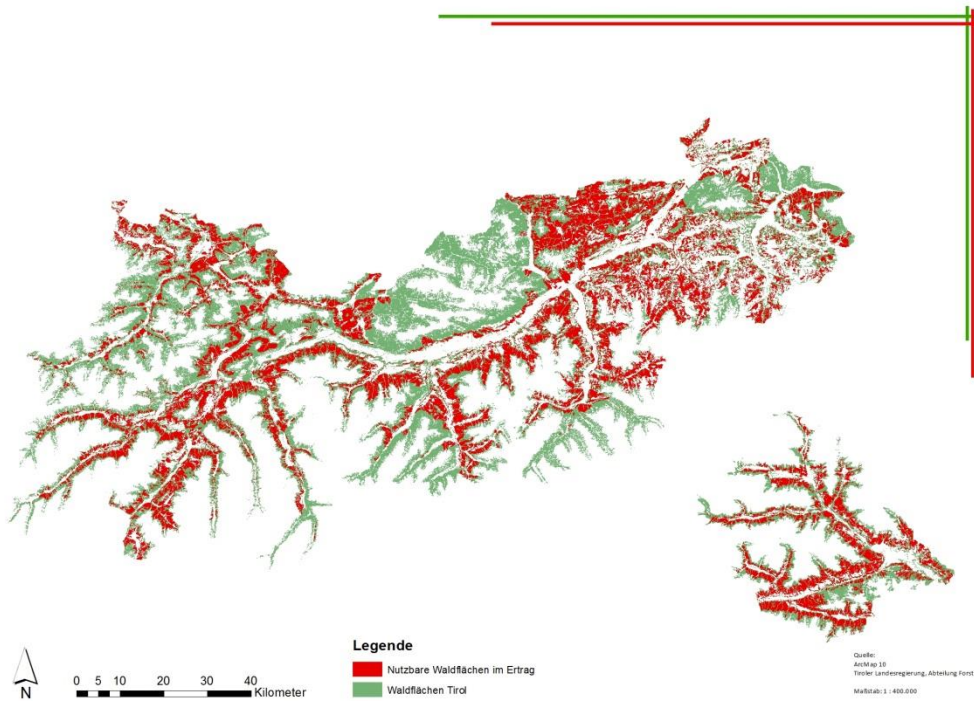


Abbildung 34: Potenzielle Grundflächen in Tirol

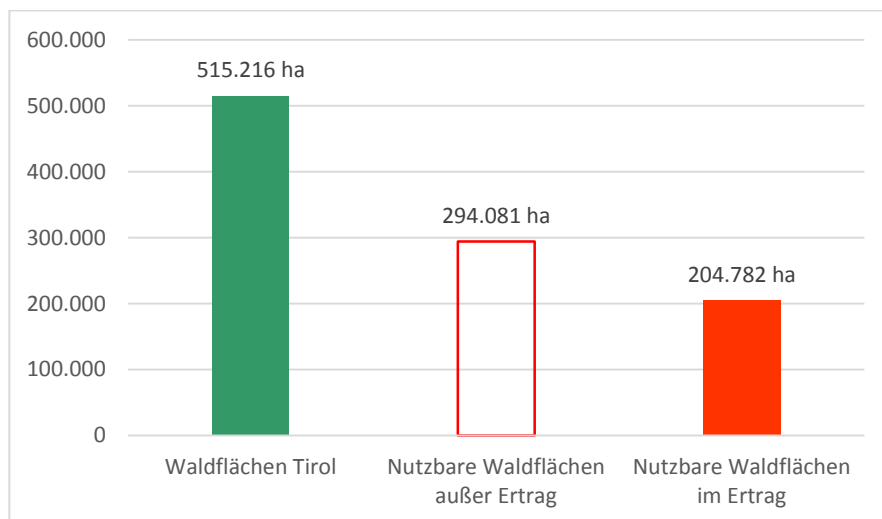


Abbildung 35: Diagramm der Potenzialflächenverteilung in Tirol

Tabelle 9: Potenzielle Grundflächen in Vorarlberg

Datengrundlage	Grundfläche (ha)	Nutzbare Fläche (ha)
vlbg_wald_pg01	96.203	30.507

Für die Vorarlberger Wälder liegt keine konkrete Unterteilung der Ertragswälder vor. Aus diesem Grund konnte hier keine detaillierte Differenzierung wie in Tirol durchgeführt werden. Als nutzbare Waldflächen konnten nach Abzug der Restriktionen 30.507 ha ermittelt werden.

Innerhalb dieser nutzbaren Bereiche können, gerechnet auf 20 Jahre, 61.014 t Holzrasche ausgebracht werden.

Die, in Abbildung 36 dargestellten Flächen zeigen die Waldflächen (grün) sowie die nutzbaren bewaldeten Areale (rot) des Bundeslandes Vorarlberg. Abbildung 37 zeigt dieselben Ergebnisse in Form eines Diagrammes.

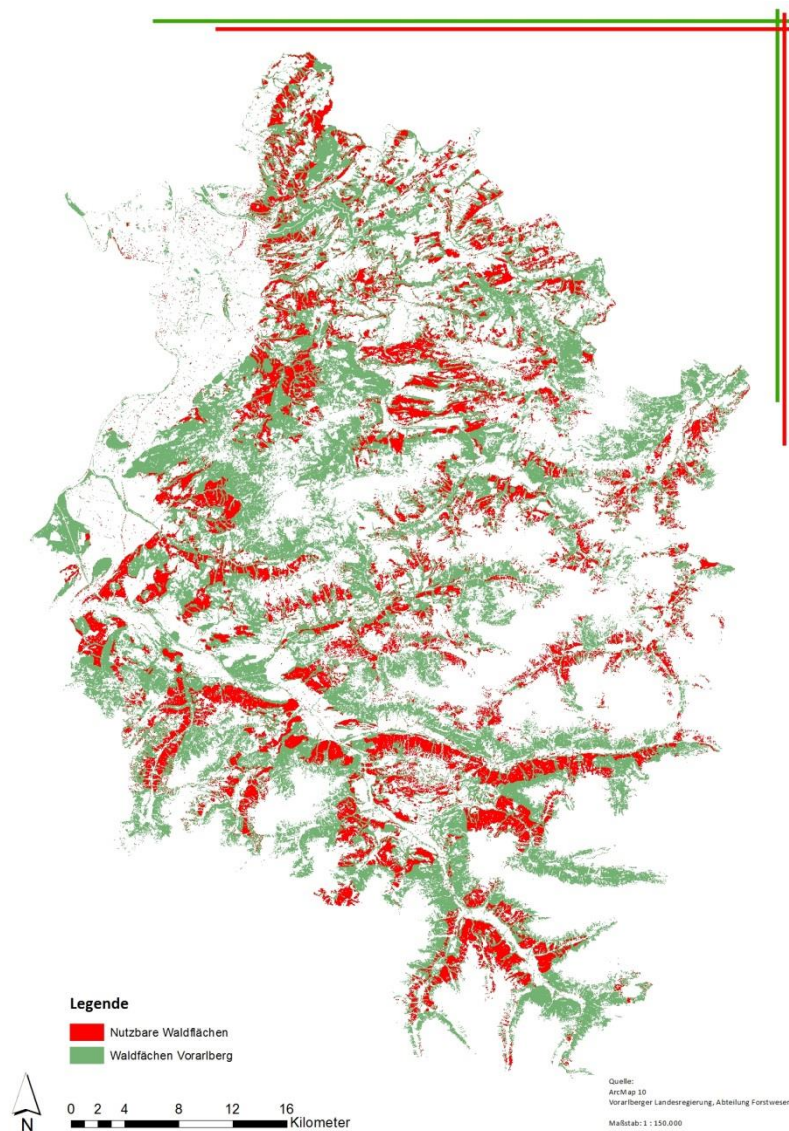


Abbildung 36: Potenzielle Grundflächen Vorarlberg

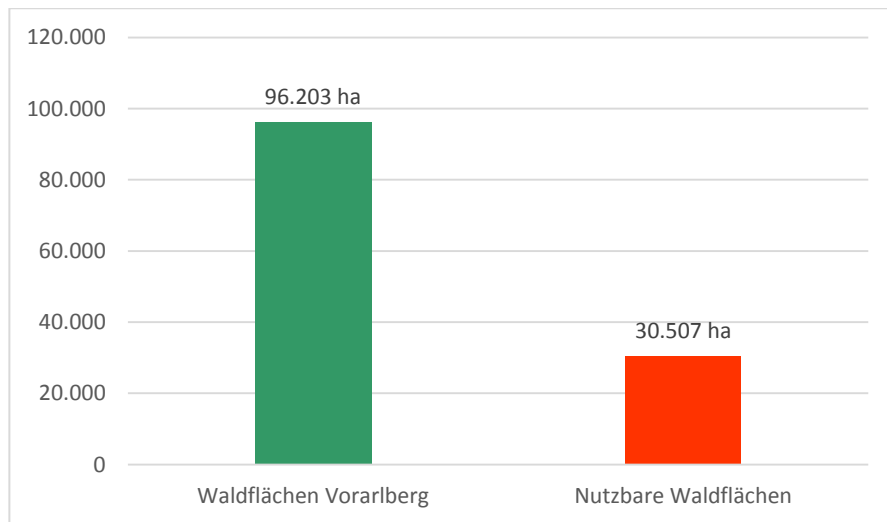


Abbildung 37: Diagramm der Potenzialflächenverteilung in Vorarlberg

#### 6.3.4. Technische Varianten

##### Variante I – Befliegen

Tabelle 10: Potenzialflächen für die Befliegung in Tirol

Größe der Einzelflächen	Anzahl	min. (ha)	max. (ha)	Flächen (ha)	Anteil an der potenziellen Grundfläche (%)
<100ha	123.175	0	99	137.045	67
100-200ha	210	100	199	29.349	14
200-300ha	60	201	299	14.393	7
300-400ha	24	303	392	8.264	4
400-500ha	13	403	486	5.845	3
500-600ha	5	520	580	2.734	1
600-700ha	3	613	686	1.954	<1
700-800ha	1	769	769	769	<1
800-900ha	2	849	857	1.707	<1
900-100ha	1	999	999	999	<1
>1000ha	2	1.039	1.541	2.581	<1

Der größte Teil der ermittelten Potenzialflächen für die Ausbringung per Luftweg setzt sich aus Einzelflächen mit einer Größe von weniger als 100 ha auf. Diese Größenordnung nimmt mit über 137.000 ha einen Anteil von 67 % ein. Über 123.000 dieser kleinen Grundstücksparzellen treten im Bundesland Tirol auf. Einzelflächen mit einer Größe zwischen 100 ha und 200 ha nehmen 14 % der gesamten Potenzialflächen ein. Diese haben eine Gesamtfläche von 29.349 ha. Mit lediglich 7 % und somit der Hälfte der zuletzt genannten Kategorie nehmen die Flächen mit einer Größe von 200-300 ha eine Gesamtfläche von 14.393 ha ein. Mit stark abnehmender Flächengröße und -anzahl folgen die Parzellen mit 300-400 ha (8.264 ha), 400-500 ha (5.845 ha) sowie die mit Größen von 500 ha bis 600 ha (2.7.34 ha). Anteilig sind diese noch mit 4, 3 % und 1% vertreten. Die Flächen mit Größen zwischen 600 und über 1.000 ha

nehmen jeweils unter 1% der gesamten Potenzialflächen ein. Abbildung 38 zeigt die potenziellen Flächen welche in Tirol mittels Befliegung genutzt werden könnten. Dargestellt sind dabei alle zuvor eingeteilten Kategorien und deren Verteilung.

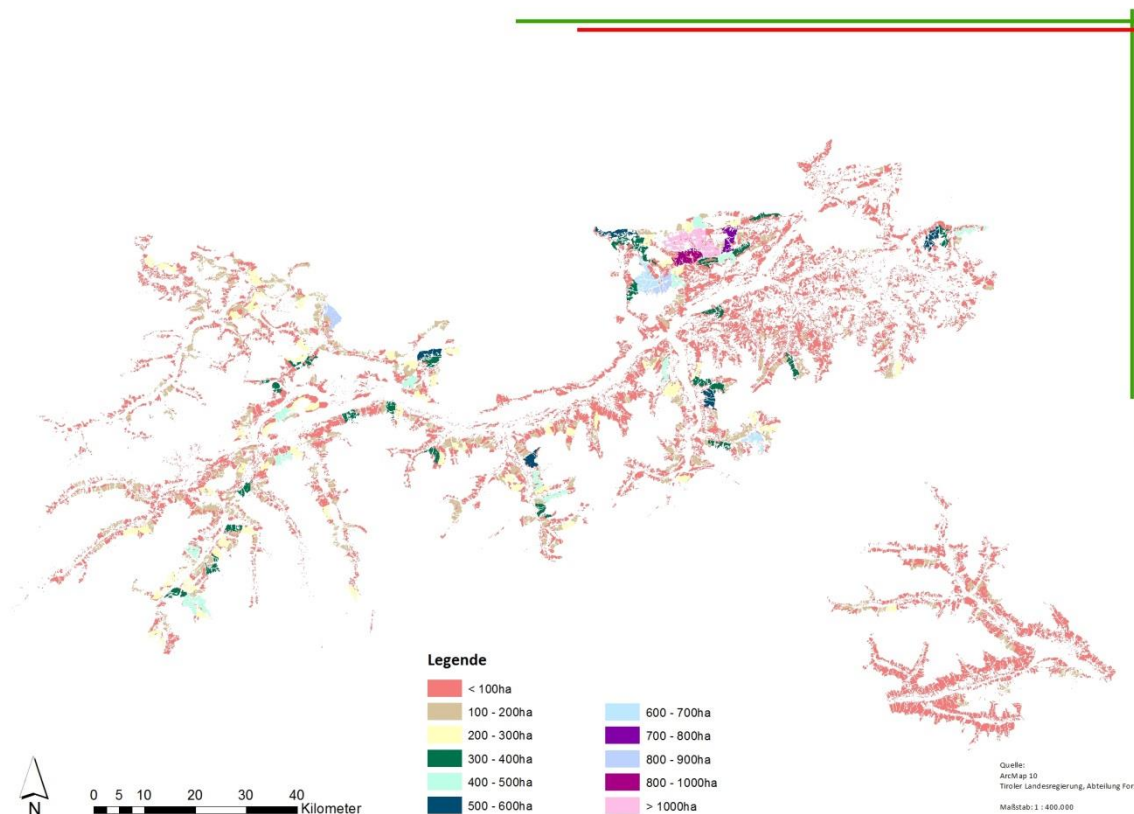


Abbildung 38: Potenzialflächen für Befliegetechnik in Tirol

Tabelle 11: Potenzialflächen für die Befliegung in Vorarlberg

Größe der Einzelflächen	Anzahl	min. (ha)	max. (ha)	Flächen (ha)	Anteil an der potenziellen Grundfläche (%)
<100ha	80.996	0	96	26.580	87
100-200 ha	21	103	183	2.902	10
200-300 ha	3	217	240	680	2
300-400 ha	1	344	344	344	1

Für die Befliegetechnik in Vorarlberg können vier Kategorien dargestellt werden. Die am häufigsten auftretenden Flächen sind der Kategorie unter 100 ha Einzelflächengröße zuzuordnen. Diese sind mit über 26.000 ha (87 %) vertreten. Die weiteren auftretenden Parzellengrößen treten in einer wesentlich geringeren Anzahl auf. Ca. 10 % der potenziellen Grundflächen nehmen mit 2.902 ha die Flächen mit einer Größe zwischen 100 und 200 ha ein. Grundstücke von 200 ha – 300 ha haben einen Anteil von 2%. Die größte Kategorie bildet die mit Flächen zwischen 300 ha und 400 ha. Das einzige vorkommende Grundstück bildet hier eines mit 344 ha Fläche und einem Anteil von 1 % an der potenziellen Gesamtfläche.

Die nachfolgende Abbildung 39 stellt die beschriebenen Grundstücke, eingeteilt in die jeweiligen Kategorien, dar.

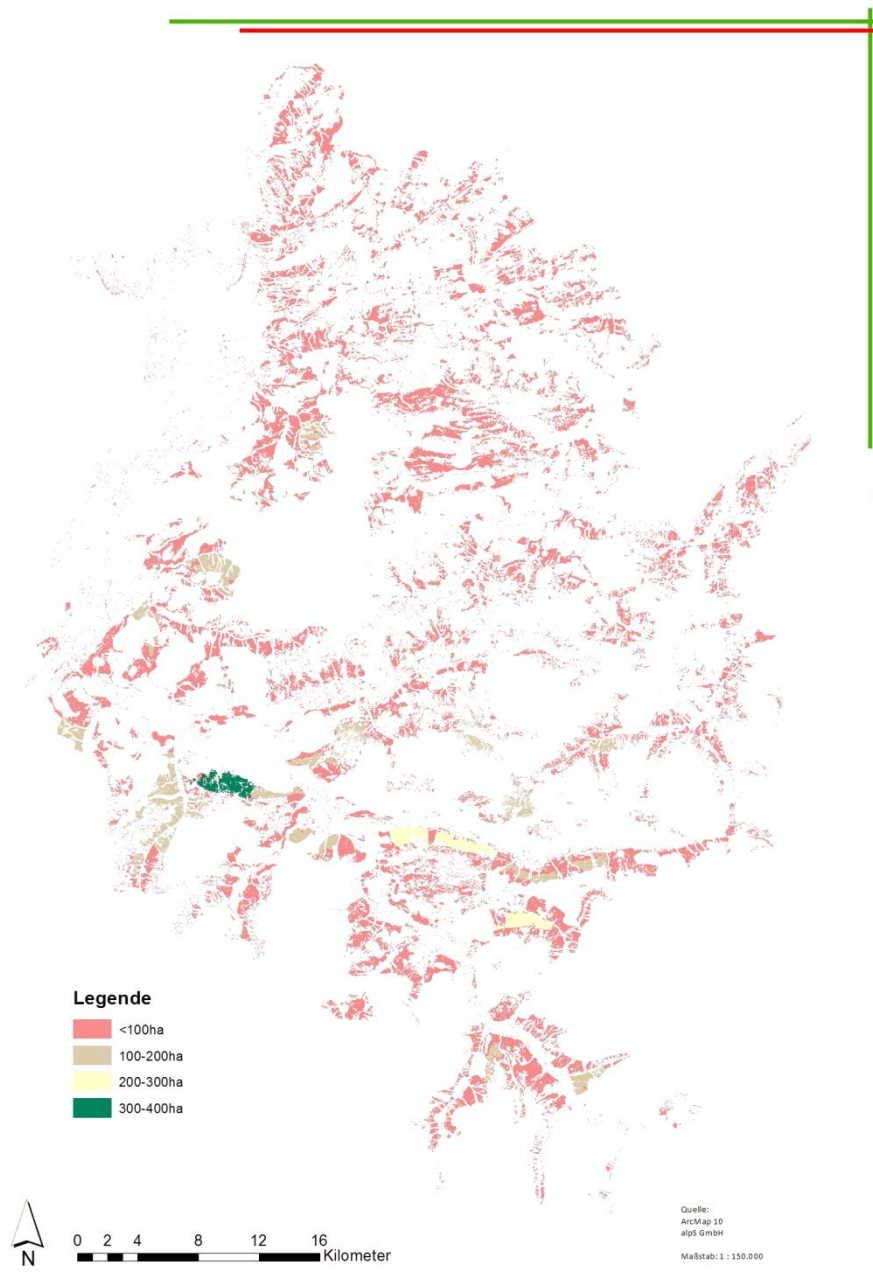


Abbildung 39: Potenzialflächen für Befliegetechnik in Vorarlberg

## Variante II – Streuen

In dieser Berechnung wird zwischen den verschiedenen Arten der Seilkräne unterschieden. Wie bereits erwähnt handelt es sich dabei um Kurzstreckenseilkräne (bis 300 m Länge) sowie Mittel- und Langstreckenseilkräne (ab 300 m Länge). Bezogen auf die Flächen mit Bringungspotenzial ergeben sich folgende Potenzialflächen zur Ausbringung der Holzrasche mittels forstlichen Seilbahnen und Kreiselstreuern in Tirol.

Tabelle 12: Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol

Art des Seilkranes	Potenzialfläche (ha)	Anteil an der potenziellen Grundfläche (%)
Kurzstreckenseilkran	172.787	84
Mittel- und Langstreckenseilkran	153.898	75

In einem direkten Vergleich der Potenzialflächen der Streutechnik mit den potenziellen Grundflächen ist festzustellen, dass durch diese Technik ein flächenmäßiger Großteil des Bundeslandes Tirol genutzt werden kann. Die potenziellen Nutzflächen durch einen Kurzstreckenseilkran nehmen dabei einen Anteil von rund 84 % ein. Auch bei den Mittel- und Langstreckenseilkränen nehmen die potenziellen Nutzflächen einen hohen Anteil ein. Diese liegen bei rund 75 % der ermittelten potenziellen Grundfläche.

Daraus ergibt sich für die Flächen der Kurzstreckenseilkräne eine Ausbringungsmenge von 345.574 t und für die der Mittel- und Langstreckenseilkräne 307.796 t.

Die nachfolgenden Kartenausschnitte (Abbildung 40 und 41) zeigen die Potenzialflächen für die Nutzung der Streutechnik. Die gelb dargestellten Flächen zeigen die nutzbaren Areale durch Kurzstreckenseilkräne und die blauen die der Mittel- & Langstreckenseilkräne. Die rot gekennzeichneten Bereiche sind die grundsätzlich nutzbaren Waldflächen, welche durch diese Technik allerdings nicht verwendbar sind.

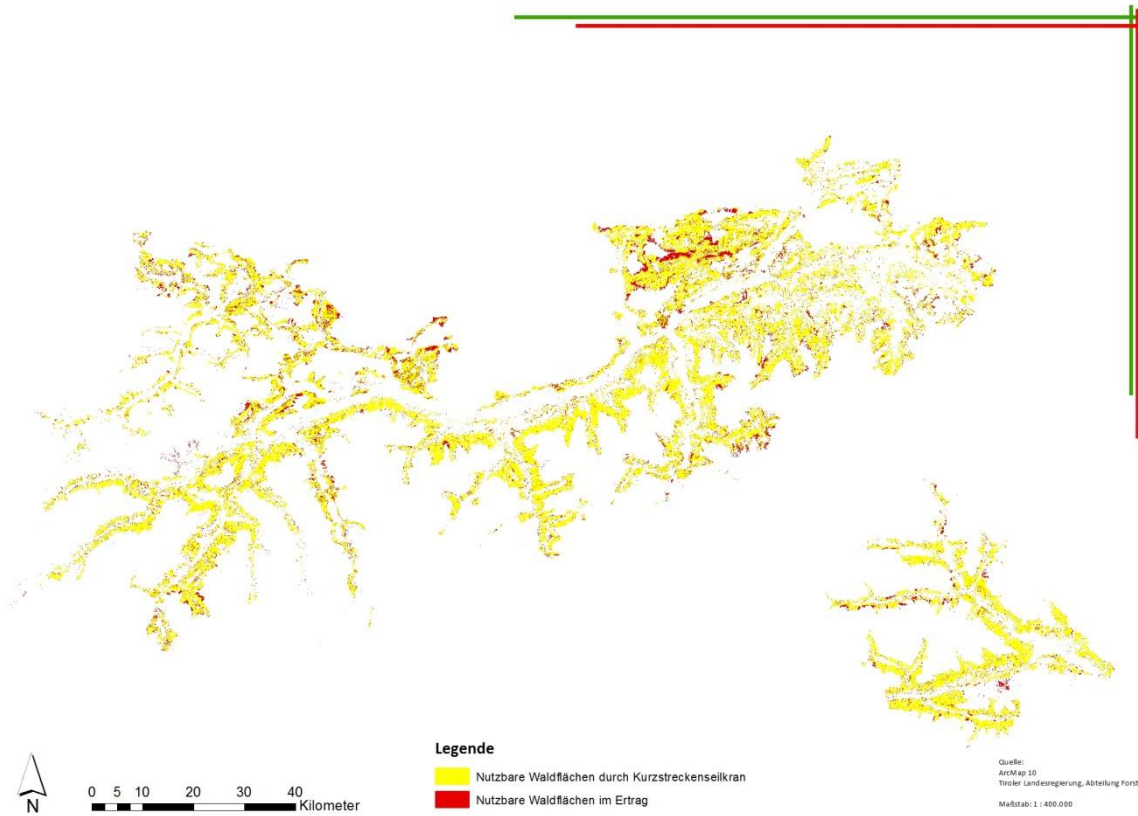


Abbildung 40: Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol (Kurzstreckenseilkran)

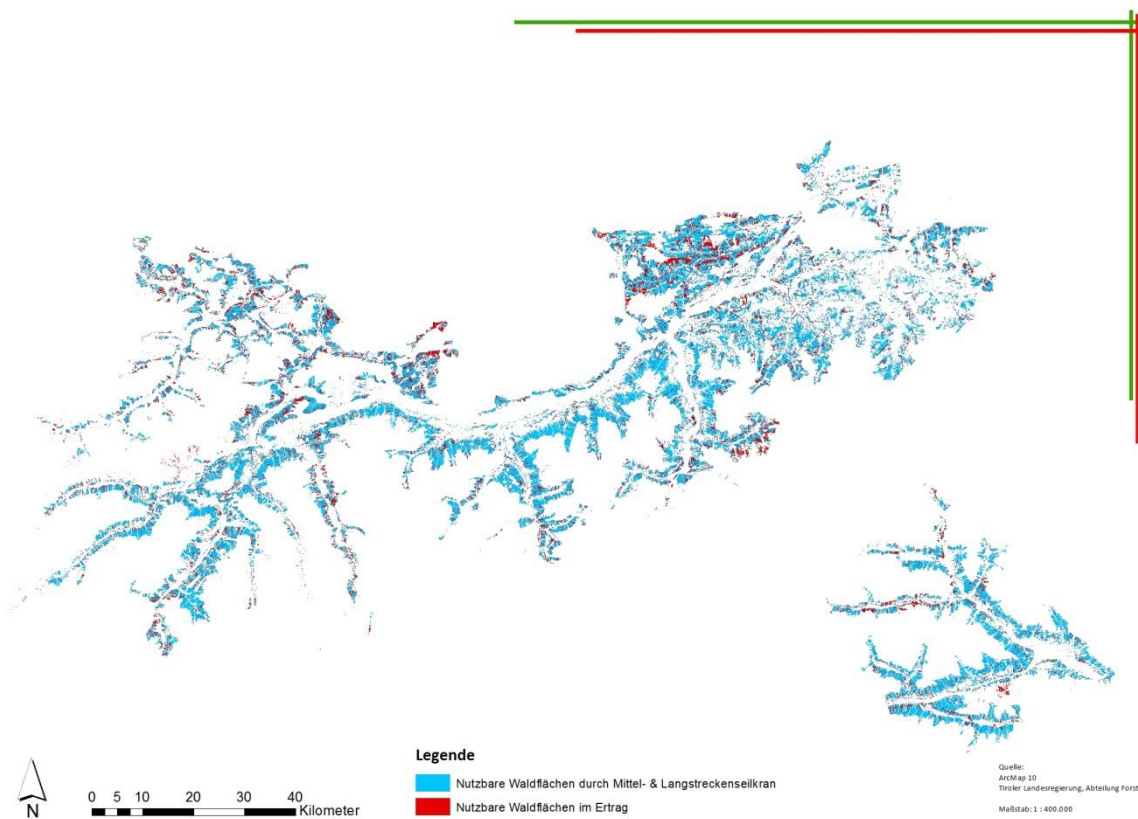


Abbildung 41: Potenzialflächen für Streutechnik in Tirol (Mittel-, & Langstreckenseilkran)

Für das Bundesland Vorarlberg können bezüglich dieser Ausbringungstechnik keine genauen Berechnungen durchgeführt werden da die dafür benötigten Datengrundlagen nicht existent sind.

### Variante III – Verblasen

Für die Berechnung der nutzbaren Flächen mittels Verblasegeräten von Forstwegen, wurden drei Varianten getestet. Somit soll ein besserer Zusammenhang über die Abweichung der möglichen Verblaseweite mit der Flächengröße dargestellt werden. Für diese Technik ergeben sich folgende nutzbare Flächen:

Tabelle 13: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Tirol

Gebblasene Entfernung (m)	Potenzialfläche (ha)	Anteil an der potenziellen Grundfläche (%)
30	49.786	24
50	88.279	43
70	131.522	64

Durch die Anwendung verschiedener Weiten der Verblasetechnik ergibt sich in den Ergebnissen eine hohe Varianz. Wird nach Expertenmeinung<sup>2</sup> von einer sicheren Entfernung von 50 m ausgegangen, so können mit 88.279 ha weniger als die Hälfte der potenziellen Grundflächen genutzt werden. Bei einer noch geringeren Entfernung von 30 m wären mit 49.786 ha lediglich 24 % der potenziellen Grundfläche genutzt. Bei einer Erhöhung der Verblaseweite um 20 m, also von 50 m auf 70 m würde dies eine Steigerung auf 64 % der potenziellen Grundflächen bedeuten. Festzustellen ist somit, dass die Steigerung und Minderung der möglichen Weite der Verblasegeräte eine nennenswerte Änderung mit sich bringen.

Bezogen auf die Ausbringungsmengen der Holzasche können bei einer Weite von 50 m 176.558 t erreicht werden. Verringert sich die Weite auf 30m so liegt die auszubringende Menge bei 99.572 t. Sollte sich die auszubringende Entfernung allerdings auf 70 m erhöhen, so könnten 263.044 t in einem Zeitraum von 20 Jahren ausgebracht werden.

Die nachfolgende Karte (Abbildung 42) stellt die Potenzialflächen in 50 m Entfernung dar. Die somit nutzbaren Bereiche sind grün gekennzeichnet.

<sup>2</sup> mdl. Mitt.: Rudolf Schneider (Firma Schneider-Verblasetechnik)



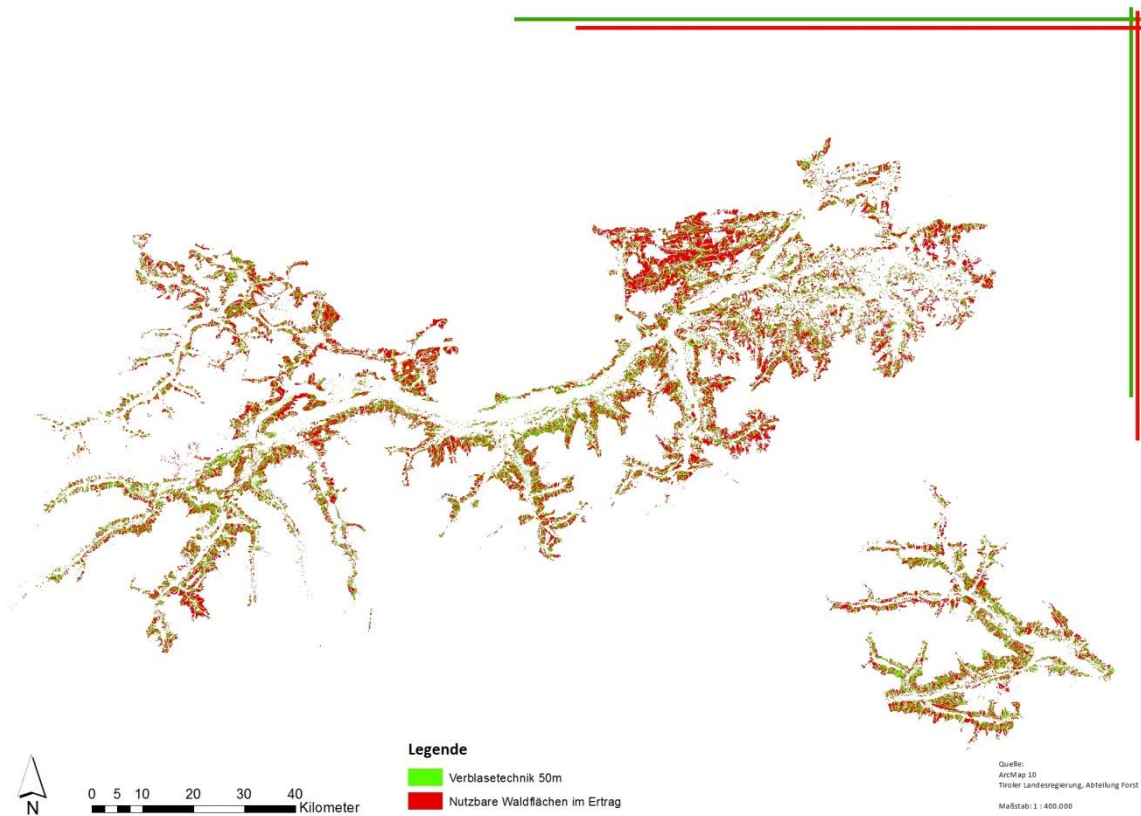


Abbildung 42: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Tirol. Entfernung 50m

Tabelle 14: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Vorarlberg

Geblasene Entfernung (m)	Potenzialfläche (ha)	Anteil an der potenziellen Grundfläche (%)
30	5.581	18
50	9.906	32
70	14.639	48

In Vorarlberg ergeben sich für diese Technik wesentlich geringeren Flächenanteile als im Bundesland Tirol. Bei einer Verblase-Entfernung von 50m ergeben sich 9.906 ha und somit 32 % der potenziellen Grundfläche. Verringert sich diese Weite auf 30m, so wären lediglich 5.581 ha nutzbar. Der berechnete Maximalwert bei einer Entfernung von 70m liegt mit 48 % der potenziellen Grundfläche bei 14.639ha.

Daraus ergeben sich 19.812 t Holzasche bei einer Entfernung von 50 m, 11.162 t bei 30 m sowie 29.278 t bei maximalen 70 m.

Abbildung 43 zeigt die geografische Verteilung der nutzbaren Flächen bei einer Verblaseweite von 50 m. Verwendbare Bereiche sind dabei grün dargestellt.

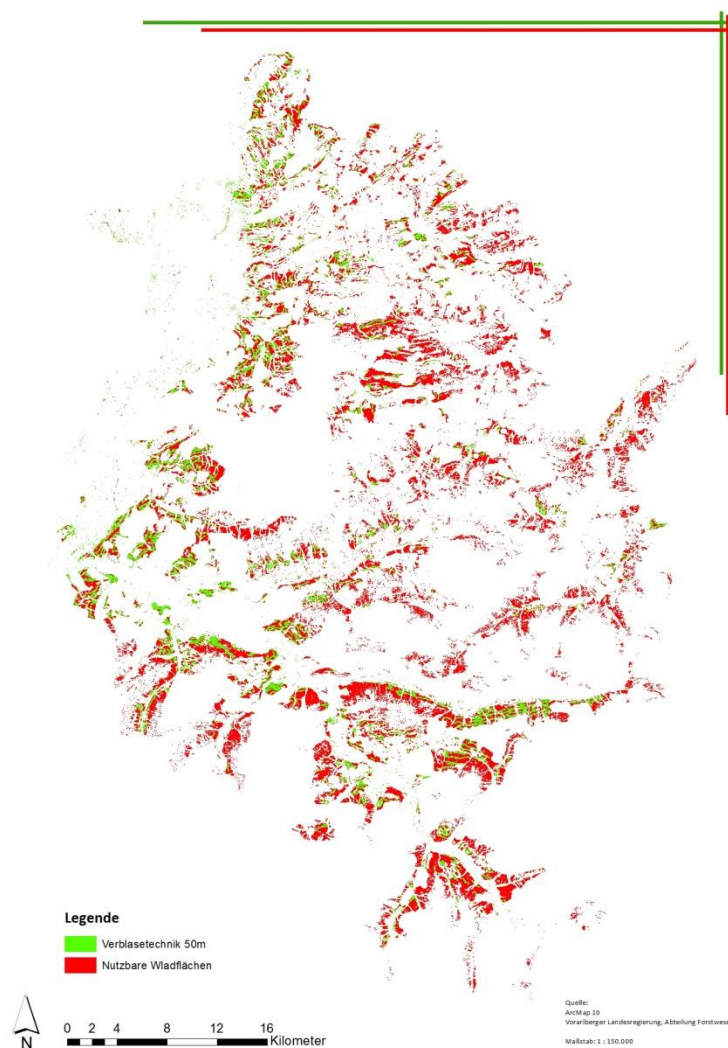


Abbildung 43: Potenzialflächen für Verblasetechnik in Vorarlberg. Entfernung 50m

### 6.3.5. Bedarfsabdeckung

Für die beiden Bundesländer ergibt sich folgendes jährliches Aufkommen von Rostasche:

Tabelle 15: Jährliches Aufkommen von Rostasche in Tirol und Vorarlberg

	<b>Tirol</b>	<b>Vorarlberg</b>
<b>Aufkommen Rostasche (t/a)</b>	17.500	1.200

Diesem Aufkommen gilt es die Mengen gegenüber zu stellen, welche auf den ermittelten Flächen und den verschiedenen Techniken ausgebracht werden können (Tab. 15 und Tab. 16). Berücksichtigt werden dabei die Techniken Streuen und Verblasen. Die Ausbringungstechnik der Befliegung wird hier außer Acht gelassen, da hierfür keine konkreten Potenzialflächen ermittelt werden konnten. Zu berücksichtigen gilt es, dass die Flächen der Seilkranerausbringung zeitlich variieren und nicht alle Flächen jährlich nutzbar sind. Dies begründet sich dadurch, dass diese Areale nur dann genutzt werden können wenn Holzernte betrieben wird und auch tatsächlich ein Seilkran vor Ort installiert ist.

Tabelle 16: Jährliche potenzielle Ausbringungsmenge in Tirol

	<b>Fläche (ha)</b>	<b>Ausbringungsmenge (t/a)</b>
Nutzbare Fläche	204.782	40.956
Streuen		
Kurzstreckenseilkran	172.787	34.557
Mittel- und Langstreckenseilkran	153.898	30.780
Verblasen (50 m)	88.279	7.656

In Tirol fallen jährlich rund 17.500 t Rostasche an. Bei Betrachtung der allgemein nutzbaren Flächen könnte diese Menge problemlos ausgebracht werden. Auch über die Technik des Streuens von Seilbahnen kann diese entstandene Menge an Asche ausgebracht werden. Lediglich die Ausbringungsmenge auf Potenzialflächen der Verblasetechnik unterschreitet die Menge.

Tabelle 17: Jährliche potenzielle Ausbringungsmenge in Vorarlberg

	<b>Fläche (ha)</b>	<b>Ausbringungsmenge (t/a)</b>
Nutzbare Fläche	88.279	17.656
Verblasen (50m)	9.906	1.981

In Vorarlberg ist die Menge an Rostasche mit 1.200 t/a wesentlich geringer als in Tirol. Die potenzielle Ausbringungsmenge übersteigt die Menge an real angefallener Asche sowohl bei den nutzbaren Flächen als auch bei der Technik des Verblasens.

## 7. Bilanzierung

(M. Ortner, W. Müller)

### 7.1. Holzascheaufkommen in Tirol und Vorarlberg

In Zusammenarbeit mit dem Amt der Tiroler Landesregierung und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung wurde eine Potenzialschätzung des jährlichen Holzascheaufkommens in diesen beiden Bundesländern vorgenommen. Von besonderem Interesse war hierbei der Anteil an Rostasche aus naturbelassenem und unbehandeltem Holz. Darunter versteht man den im Verbrennungsteil der Feuerungsanlage anfallenden überwiegend mineralischen Rückstand der eingesetzten Biomasse. Hier finden sich auch die im Brennstoff enthaltenen Verunreinigungen (z.B. Sand, Erde, Steine) sowie bei Wirbelschichtfeuerungen Teile des Bettmaterials (meistens Quarzsand) wieder (Lebensministerium, 2011). Flug- und Filteraschen werden auf Grund ihrer erhöhten Schwermetall- und Schadstoffanteile im Rahmen dieser Analyse nicht berücksichtigt.

#### 7.1.1 Rostaschepotenzial

Das Rostaschenpotenzial für Tirol wurde aufbauend auf der Erhebung des Aschemengenaufkommens in Biomasseheizwerken in Tirol durch das Amt der Tiroler Landesregierung (2013) in den Jahren 2002 bis 2009, berechnet. In Vorarlberg diente die Brennstoffstatistik 2012 als Grundlage der Berechnungen (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2013). Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial von rund 18.700 Tonnen Rostasche pro Jahr (Tabelle 18).

Tabelle 18: Rostaschepotenzial in Tirol und Vorarlberg\*

	Rostascheaufkommen (t/a)
<b>Tirol</b>	17.500
<b>Vorarlberg</b>	1.200
<b>Gesamtaufkommen</b>	<b>18.700</b>

\*Bezugsjahr 2013 für Tirol und 2012 für Vorarlberg

#### 7.1.2. Ausbringungspotenzial

In Zusammenarbeit mit und aufbauend auf den Ergebnissen des Kapitels 6 „Ausbringungsflächen“ (= AP 6) wurden in weiterer Folge potenzielle Ausbringungsmengen per Ausbringungstechnik definiert (Vgl. Kapitel 4 „Ausbringungstechnik“ und Tabelle 19).

#### **Verblasetechnik**

Bei der Ausbringungstechnik des Verblasens wurde hier in Abstimmung mit der Abteilung Forst eine fast 100% Nutzung des vorhandenen Forstwegesystems angesetzt. Da laut der Fa. Schneider Verblasetechnik (2014) sicher von einer Streudistanz von 50 Metern ausgegangen werden kann, wurde das Ergebnis von AP 6 für diese mittlere Distanz angesetzt (Vgl. Kapitel 6 „Ausbringungsflächen“)

Tabelle 19: Ausbringungspotenzial pro Ausbringungstechnik in Tirol und Vorarlberg

	<b>Einheit</b>	<b>Tirol</b>	<b>Vorarlberg</b>
<b>Nutzbare Fläche</b>	(ha)	<b>204.782</b>	<b>30.507</b>
<b>Rostascheaufkommen</b>	(t/a)	<b>17.500</b>	<b>1.200</b>
	Ausbringungsmenge (t/ha/a)	0,1	0,1
	lt.		
	RL		
<b>Verblasetechnik</b>	Bestreuende Fläche (ha)	88.000	9.000
	Ausbringungsmenge (t)	8.800	900
<b>Seilbahnbringung</b>	Bestreuende Fläche (ha)	28.000	3.000
	Ausbringungsmenge (t)	2.800	300
<b>Summe</b>	<b>Bestreuende Fläche (ha)</b>	<b>116.000</b>	<b>12.000</b>
	Anteil der gesamten nutzbaren Fläche (%)	<b>57</b>	<b>39</b>
	<b>Ausbringungsmenge (t)</b>	<b>11.600</b>	<b>1.200</b>
	Anteil des Holzascheaufkommens (%)	<b>66</b>	<b>100</b>

### Seilbahnbringung

Bei der Seilbahnausbringung ist zu berücksichtigen, dass das Ergebnis von AP 6 ein Gesamtpotenzial an Nutzflächen angibt, welches sich jedoch nicht statisch im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren verhält. Die Strecken der Seilbahnen verändern sich dynamisch mit der Forstwirtschaft mit. Daher kann unter der Berücksichtigung einer durchschnittlichen Umtriebszeit von 120 Jahren (Holzernte) und Abzug der Überschneidungsflächen (ca. 50 Meter) mit dem Waldwegenetz von einer Ausbringungsfläche von rund 28.000 ha ausgegangen werden.

Da für Vorarlberg keine Daten der Seilbahnstrecken vorhanden sind, wurde ein mittleres Verhältnis (Faktor 8) der Nutzflächen von Tirol und Vorarlberg aus den anderen Ausbringungstechniken angesetzt.

### Hubschrauber

Der Rest der Asche kann mit Hubschrauber ausgebracht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei dieser Ausbringungstechnik Probleme mit der Akzeptanz in der Bevölkerung und der Tourismusverbände sowie bei der Umsetzbarkeit auftreten können.

## 7.2. Kostenkalkulation

Ziel der Kostenkalkulation ist die Erfassung der ökonomischen Aufwendungen die mit der Errichtung einer großtechnischen Anlage zur Pelletierung bzw. Granulierung des Rostaschejahresaufkommens in Tirol und Vorarlberg geeignet ist. Für die Berechnungen wurde das Holzaschejahresaufkommen beider Bundesländer auf 20.000 t gerundet (Vgl. Kapitel 7.1. Holzascheaufkommen in Tirol und Vorarlberg).

Für die Auslegung der Pelletieranlage wurden folgende Fachbetriebe zurate gezogen:

- Firma Rauchfutter (Hall i.T.)
- Firma Dettendorfer (Projekt Riad)
- Firma Amandus Kahl (Pelletpressenhersteller)
- Firma Dorset Green Machines B.V. (Trocknerhersteller)

Die Granulierungsanlage wurde in enger Zusammenarbeit mit der Firma Cemtec (Enns, OÖ) ausgelegt. Grundlegende Annahmen, die beide Anlagen gleichermaßen betreffen:

- Zentrale Lagerung, Aufbereitung und Produktion im Raum Kufstein
- Kontinuierlicher Betrieb (5 Tage im Zwei-Schicht-Betrieb)
- Durchsatz: 20.000 Tonnen Holzasche pro Jahr
- Gleichmäßig über das Jahr verteilte Ausbringung

In Abbildung 44 wird der Ablauf der Aufbereitung und Weiterverarbeitung des Eingangsmaterials schematisch für die Granulierung dargestellt. Die Aufbereitung für die Pelletierung unterscheidet sich vorwiegend darin, dass das Mischen mit Klärschlammkompost, anstelle von Melasse und Wasser stattfindet.

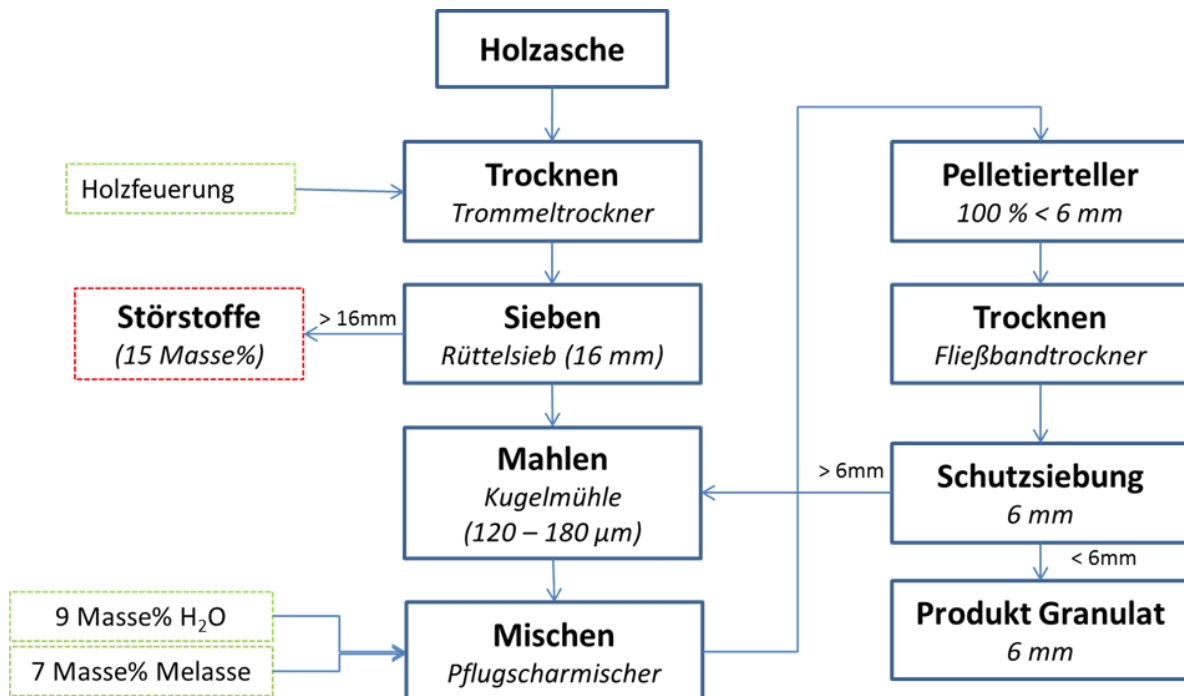


Abbildung 44: Verfahrensfließbild der Aufbereitung und Granulierung der Holzasche

### 7.2.1. Kostenvergleich von Pelletierung und Granulierung

Im Folgenden werden die einzelnen Kostenpositionen im Detail vorgestellt, um sie in weiterer Folge zu einer Gesamtkostenbilanz zusammenzuführen und den derzeitigen durchschnittlichen Deponierungskosten gegenüberzustellen.

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten umfassen die Planungskosten, Bauteil und Hallen, Tiefbau, Maschinen- und Elektrotechnik sowie mobile Geräte (Radlader). Diese Kostenposition beläuft sich bei der Pelletierung auf rund € 3,4 Millionen und bei der Granulierung auf € 3,2 Millionen (Tabelle 20). Der Unterschied liegt am Preisunterschied zwischen der Pellet presse (rund € 400.000,- lt. Fa. Amandus Kahl, 2013) und dem Granulierteller (rund € 150.000 lt. Fa. Cemtec, 2014b).

Tabelle 20: Vergleich der Investitionskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage (Gesamtkosten)

Investitionskosten	Pelletierung	Granulierung
Planungskosten, Erschließung, Gutachten	200.000 €	200.000 €
Bauteil, Hallen, Tiefbau, Behälter	1.000.000 €	1.000.000 €
Maschinen- und Elektrotechnik	2.150.000 €	1.900.000 €
Mobiles Gerät (Radlader)	100.000 €	100.000 €
<b>Summe</b>	<b>3.450.000 €</b>	<b>3.200.000 €</b>

#### Personalkosten

Beide Anlagen wurden mit 4 Facharbeitern, die im Schichtbetrieb arbeiten, 1 Meisterarbeiter und 0,5 Anlagenleiter kalkuliert (Tabelle 21). Daraus ergeben sich für beide Produktionsformen Personalkosten von 13,- €/t.

Tabelle 21: Vergleich der Personalkosten der Pelletier- und Granulierungsanlage (absolute Kosten auf Jahresdurchsatz bezogen)

Personalkosten	Anstellung	Pelletierung	Granulierung
Anlagenleiter	0,5	27.500 €/a	27.500 €/a
Meister	1	60.000 €/a	60.000 €/a
Facharbeiter, z. B. Elektriker, Mechaniker	4	176.000 €/a	176.000 €/a
<b>Summe</b>		<b>263.500 €/a</b>	<b>263.500 €/a</b>

#### Unterhaltungskosten

Für die Variante der Holzschepelletierung ergeben sich höhere Reparatur- und Wartungsaufwände (Tabelle 22). Dies liegt daran, dass Flachmatrizen von Pelletpressen im Schnitt Standzeiten von 200 - 300 Stunden und die dazugehörigen Kollerrollen rund 600 Stunden haben (lt. Fa. Amandus Kahl, 2013).

Tabelle 22: Vergleich der Unterhaltungskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage (absolute Kosten auf Jahresdurchsatz bezogen)

Unterhaltungskosten	Zinssatz	Pelletierung	Granulierung
RWU (Anteil an den Baukosten)	1,0% v. Invest.	12.000 €/a	12.000 €/a
RWU (Anteil M + E-Technik)	7,0% v. Invest	150.500 €/a	133.000 €/a
RWU (Anteil mobiles Gerät)	7,0% v. Invest	7.000 €/a	7.000 €/a
<b>Summe</b>		<b>169.500 €/a</b>	<b>152.000 €/a</b>

## Kapitaldienst

Die Tilgungs- und Zinsaufwände die mit den Investitionen verbunden sind, zeigen ein gleiches Verhältnis der zwei Produktvarianten wie die Investitionskosten (Tabelle 23).

Tabelle 23: Vergleich der Unterhaltungskosten der Pelletier- und Granulierungsanlage (absolute Kosten auf Jahresdurchsatz bezogen)

Kapitaldienst	Zinssatz	Pelletierung	Granulierung
Bauteil u. Planungskosten	5,5%, 20 Jahre	100.415 €/a	100.415 €/a
M + E-Technik	5,5%, 10 Jahre	285.236 €/a	252.069 €/a
Mobiles Gerät	5,5%, 7 Jahre	17.596 €/a	17.596 €/a
<b>Summe</b>		<b>403.247 €/a</b>	<b>370.080 €/a</b>

## Ver- und Entsorgungskosten

In Tabelle 24 werden die Unterschiede in den Ver- und Entsorgungskosten zwischen den beiden Produktvarianten Holzschepellet und –granulat verdeutlicht.

Der höhere thermische Energieaufwand bei der Pelletierung erklärt sich auf Grund der benötigten Dampfzugabe während der Pelletierung. Da bei der Pelletierung von 20.000 t Holzschepellet im Jahr noch rund 8.500 Tonnen Klärschlammkompost beigemischt werden, ergibt sich auch ein höherer Trocknungsbedarf. Der Unterschied im elektrischen Energieverbrauch ergibt sich auf Grund der energieintensiveren Pelletierung.

Auffallend ist der hohe Kostenpunkt bei der Melasse, welcher sich laut Fa. Cemtec auf 300,- €/t belaufen. Der ursprüngliche Beimengungssatz von 1% hatte sich im Endbericht der Fa. Cemtec (2014a) auf 6,6 Masse% erhöht. Somit stiegen die Kosten von 3,- €/t auf 20,- €/t, sodass sich die Gesamtkosten der beiden Produktvarianten auf ein ähnliches Größenverhältnis belaufen.

Tabelle 24: Vergleich der Ver- und Entsorgungskosten der zwei Produktvarianten Holzschepellet und –granulat (absolute Kosten auf Jahresdurchsatz bezogen)

	Kalk.Satz	Verbräuche	Pelletierung	Granulierung
Thermischer Energieaufwand	0,06 €/kWh	1.000 kWh/t*	257.143 €/a	180.000 €/a
Thermischer Energieaufwand (Dampfzugabe Pelletierung)	0,06 €/kWh	50 kWh/t	60.000 €/a	--
Elektrischer Energieaufwand	0,09 €/kWh	66 kWh/t	144.578 €/a	116.358 €/a
Transportkosten	1,10 €/t/km	150 km	204.969 €/a	143.478 €/a
Störstoffentsorgung	80,00 €/t		166.286 €/a	144.000 €/a
Klärschlammkompost/Melasse	300,00 €/t	6,6Ma%	171.429 €/a	396.000 €/a
<b>Summe</b>			<b>1.004.404 €/a</b>	<b>979.836 €/a</b>

\*Verbrauch an thermischer Energie pro Tonne Wasserentzug



## Ausbringungskosten

Tabelle 25 zeigt das Ergebnis eines Kostenvergleichs der Ausbringung von 1 Tonne Holzasche mittels Verblasetechnik oder Hubschrauber. Bei der Ausbringung mit Verblasetechnik ist laut Fa. Schneider (2014) mit Kosten von 30 - 50 €/t/ha und laut dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV, NRW) zwischen 35 und 65 €/t/ha zu rechnen (Asche, 2003). Die Ausbringung mit Helikopter ist ebenfalls einer breiten Streuung unterworfen. Gemäß der Fa. Schneider (2014) ist mit 18 - 80 €/t/ha und laut dem MUNLV, NRW mit 50 – 70 €/t/ha zu kalkulieren. Es konnten keine konkreten Kostensätze für die Ausbringung mittels Seilbahn erhoben werden. Diese Ausbringungstechnik ist jedoch mit hohem logistischem Aufwand verbunden, da im Schnitt nur 1-3 ha pro Seilbahn bedient werden können (Raab et al., 2002).

Tabelle 25: Vergleich der Ausbringungskosten von 1 Tonne Holzasche

	Bandbreite	Möglicher Kostensatz
Verblasetechnik	Fa. Schneider (2014) 30 - 50 €/t/ha	45 €/t/ha
	MUNLV, NRW (Asche, 2003) 35 – 65 €/t/ha	
Helikopter	Fa. Schneider (2014) 18 - 80 €/t/ha	65 €/t/ha
	MUNLV, NRW (Asche, 2003) 50 – 70 €/t/ha	

## Gesamtkosten

Die Gesamtkosten beider Produktvarianten werden stark von den Ver- und Entsorgungskosten bestimmt (Tabelle 26). Würde man die Kosten der Melassezugabe bei der Granulierung durch eine preiswertere Alternative ersetzen, könnte sich der Preisvorteil des Granulats gegenüber den Pellets noch erhöhen.

Die Deponierungskosten in den einzelnen Bundesländern variieren stark und liegen in Tirol und Vorarlberg in einer Spanne von 50,- €/t bis 150,- €/t. Die untenstehenden 112,- €/t geben die durchschnittlichen Deponierungskosten des Partnerkonsortiums wieder. Unter Einbeziehung der Ausbringungskosten ergibt sich somit ein höherer Preis als der durchschnittliche Deponierungspreis. Um eine für die BMHKW-Betreiber kostenneutrale Holzascheausbringung zu ermöglichen, wäre beispielsweise eine Förderung durch die jeweiligen Landesregierungen denkbar.

Tabelle 26: Zusammenfassung und Vergleich aller Kostenpositionen pro Tonne für die zwei Produktvarianten (ohne Ausbringungskosten)

	Pelletierung	Granulierung
Personalkosten	13 €/t	13 €/t
Unterhaltungskosten	8 €/t	8 €/t
Ver- und Entsorgungskosten	51 €/t	49 €/t
Verwaltungsgemeinkosten, Versicherung	2 €/t	2 €/t
Kapitaldienst	20 €/t	18 €/t
<b>Kosten (ohne Ausbringung)</b>	<b>94 €/t</b>	<b>90 €/t</b>
Durchschn. Deponierungskosten	112 €/t	112 €/t
<b>Differenz</b>	<b>18 €/t</b>	<b>22 €/t</b>

## 7.2.2. Fazit Kostenkalkulation

Die ökonomische Bewertung der Errichtung einer großtechnischen Anlage zur Pelletierung bzw. Granulierung des Holzraschejahresaufkommens in Tirol und Vorarlberg hat gezeigt, dass für beide Varianten Kosten in einer ähnlichen Größenordnung entstehen. Diese belaufen sich bei der Pelletierung auf rund 94 €/t und bei der Granulierung auf rund 90 €/t. Unter Einbeziehung der Ausbringungskosten ergeben sich vermutlich höhere Kosten als der durchschnittliche Deponierungspreis. Das bedeutet, dass sich im Durchschnitt keine klaren ökonomischen Vorteile gegenüber einer Deponierung der Holzrasche ergeben. Diese Situation könnte sich bei der Etablierung einer Förderung der jeweiligen Landesregierung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder durch Kreislaufführung der Holzrasche, ändern.

## 7.3. Ökologische Bewertung

### 7.3.1. Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der ökologischen Bewertung ist die Analyse und der Vergleich der Umweltwirkungen der Produktion von Holzraschegranulat, sowie dessen Ausbringung zur Bodenmelliorierung in alpinen Wäldern. Die Beschränkung der ökologischen Bewertung auf das Holzrascheprodukt Granulat hat sich auf Grund von Veränderungen im Projektverlauf ergeben, durch welche nur für den Prozess der Granulierung verlässliche Sachbilanzdaten generiert werden konnten.

Die ökologische Bewertung des Projektvorhabens erfolgt in Anlehnung an die ISO 14040 ff unter Anwendung der Ökobilanzsoftware „GaBi“ (PE-International AG). Im Rahmen des Vorhabens werden insbesondere das Treibhausgaspotential (ausgedrückt in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sowie der Primäre Energieverbrauch (ausgedrückt in kWh) untersucht. Die Ergebnisse sollen als Entscheidungshilfe für BMHKW-Betreiber und Forstbesitzer, als Information für die Öffentlichkeit, und als wissenschaftliche Basis für konkrete Umsetzungsprojekte dienen.

### Systemgrenzen

Bei der Erstellung einer ökobilanziellen Bewertung wird eine sogenannte „funktionelle Einheit“ definiert, die als Bezugsgröße für alle Prozesse im zu untersuchenden System dient. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurde die Verarbeitung von 1 Tonne Holzrasche als funktionelle Einheit definiert. Die Systemgrenzen legen fest welche Prozessmodule im zu untersuchenden System berücksichtigt werden und welche nicht. Für die ökologische Bewertung wurden die in Abbildung 45 dargestellten Prozessschritte und die jeweils damit verbundenen Vorketten berücksichtigt:

- Die Aufbereitung von Holzrasche
- Die Weiterverarbeitung zu Granulat
- Die Ausbringung der jeweiligen Produkte in die Wälder
- Die dazugehörigen Transport und Lagerungsschritte

Bei der eingesetzten Holzrasche wird von Feuerraum- oder Rostaschen aus den automatischen Feuerungen von naturbelassenem und unbehandeltem Holz ausgegangen. Aschen von Altholz und Holzabfällen kommen für eine Rückführung in den Wald nicht in Frage, da sie zu stark mit Schwermetallen und anderen giftigen Stoffen belastet sein können. Um den pH-Wert, die Reaktionsfähigkeit und Löslichkeit der Holzrasche herabzusetzen und

negative Einflüsse auf Flora und Fauna zu vermeiden, ist eine Karbonatisierung der Asche notwendig (Zimmermann et al., 2010).

Die Aufbereitung der Inputmaterialien umfasst die Trocknung, Siebung, die Entfernung von Störstoffen (z.B. Sand, Steine, Erde die bei der Holzernte haften geblieben sind), und das Mahlen und das Vermischen mit Melasse und Wasser.

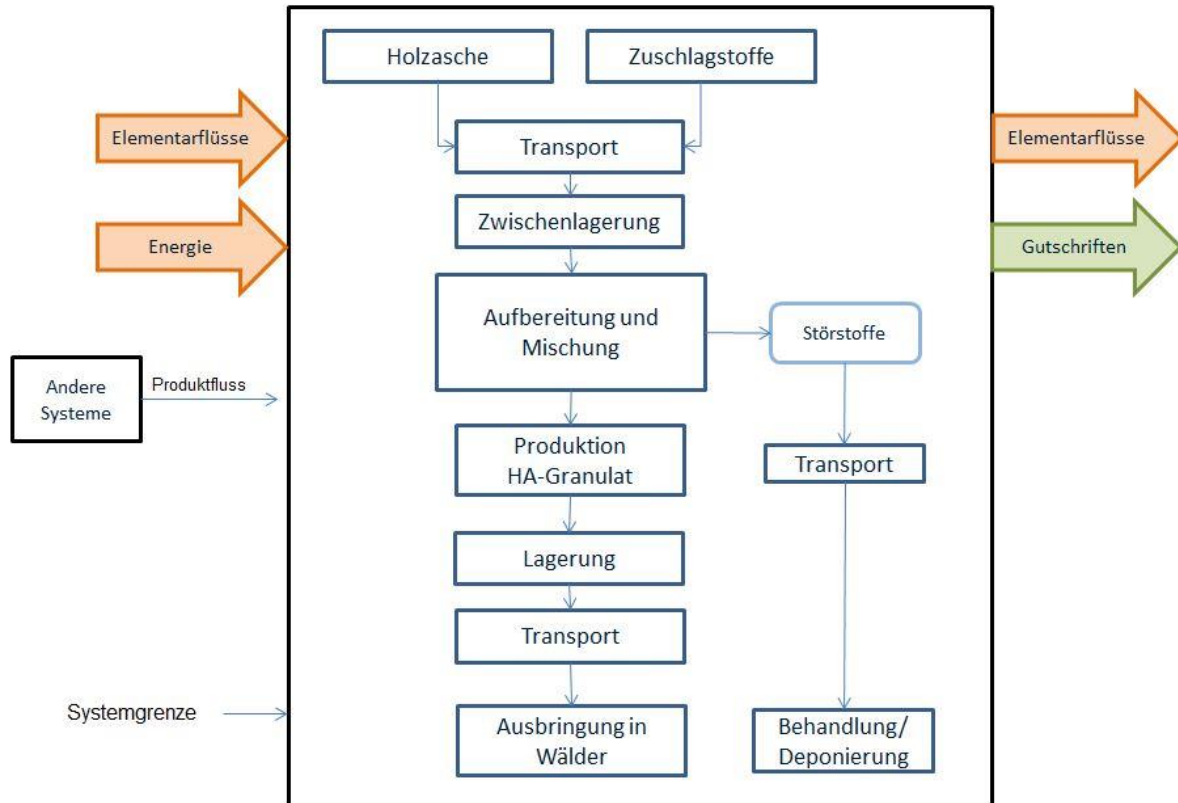


Abbildung 45: Verfahrensfliessbild der Holzascheverwertung zu Granulat

## Äquivalenzprozesse

Grundannahme für die Festlegung der Äquivalenzprozesse war die Forderung der Abteilung Forst des Amtes der Tiroler Landesregierung nach einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Waldes. Sowohl bei der Vollbaum- als auch bei der Sortimentsnutzung der Forstwirtschaft kommt es zu einem Nährstoffentzug aus dem Stoffhaushalt des Bodens (Vgl. 7.3.6 Nährstoffflussbilanzen). Für eine nachhaltige Waldnutzung sollte dieser Entzug langfristig ausgeglichen werden. Daher wird im Rahmen dieses Projektes von einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder ausgegangen. Dies bedeutet, dass die entnommenen Nährstoffe zurückgeführt werden. Folgende Äquivalenzprozesse wurden im Rahmen der ökologischen Bewertung angesetzt.

- Substitution der Primärproduktion von mineralischen Einzeldüngern (Ca, P, K). Die vermiedenen Aufwendungen für die Herstellung der Mineraldünger (Primärenergie, Rohstoffe, etc.) werden als Gutschrift in der Bilanz verbucht.
- Einsparung an Umweltwirkungen der derzeitigen Deponierung von Holzasche.

### 7.3.2. Sachbilanz

Aufbauend auf dem Verfahrensfliessbild in Abbildung 45 wurde die nachstehende Massenbilanz für einen Jahresdurchsatz von 20.000 Tonnen an Rostasche berechnet.

Tabelle 27: Massenbilanz der Granulierungsprozesskette

		<b>Granulierung Frischsubstanz (t/a)</b>
<b>Input</b>	Holzasche	20.000
	Melasse (9,15 Masse%)	1.066
	Wasser (6,6 Masse%)	1.478
	<b>Summe</b>	<b>22.544</b>
<b>Output</b>	Störstoffe (15 Masse%)	2.400
	Granulat	12.227
	<b>Summe</b>	<b>14.627</b>

Aufbauend auf dem Verfahrensfliessbild der Holzaschegranulierung in Abbildung wurden die Energieverbräuche entlang der Prozesskette mit Hilfe der Messdaten der Fa. Cemtec (2014) berechnet (Tabelle 28).

Tabelle 28: Energieverbräuche bei der Aufbereitung des Eingangsmaterials und dessen Granulierung

		<b>Granulierung (kWh/t)</b>	
<b>Aufbereitung</b>	Trommeltrockner	Thermische Energie	150
	Rüttelsieb (16 mm)	Elektrische Energie	1,72
	Kugelmühle (120-160 µm)	Elektrische Energie	36,55
	Pflugscharmischer	Elektrische Energie	3,7
	<b>Summe</b>	<b>Thermische Energie</b>	<b>150</b>
		<b>Elektrische Energie</b>	<b>41,93</b>
<b>Granulierung</b>	Granulierteller	Elektrische Energie	1,74
	Fließbandtrockner	Thermische Energie	150
	Rüttelsieb	Elektrische Energie	1,55
	<b>Summe</b>	<b>Thermische Energie</b>	<b>150</b>
		<b>Elektrische Energie</b>	<b>3,28</b>

### 7.3.3. Wirkungsabschätzung

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wird mit Hilfe der Software GaBi das Treibhausgaspotenzial (ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) sowie der Primärenergiebedarf (ausgedrückt in kWh) für die Produktion des Holzaschegranulats, basierend auf den Ergebnissen der Sachbilanz, berechnet.

Des Weiteren wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung Forst des Amtes der Tiroler Landesregierung das Potenzial der Nährstoffbedarfsdeckung von Waldböden durch Ausbringung von Holzasche untersucht.

### 7.3.4. Energiebilanz

Die Ergebnisse der Energiebilanz der Granulierung von 1 Tonne Holzasche zeigen im Gesamtergebnis eine ökologische Entlastung von 124 kWh an Primärenergiebedarf.

Auf der Seite der Energieverbräuche (positiver Bereich der Skala in Abbildung 46) entsteht der größte Verbrauch im Rahmen der Aufbereitung und Granulierung durch den thermischen Energieverbrauch mit 377 kWh/t. Demgegenüber beläuft sich der elektrische Energieverbrauch auf nur 25 % von jenem der thermischen. Bei der thermischen Energie wurde die Verfeuerung von Erdgas zugrunde gelegt und bei der elektrischen Energie der österreichische Strom-Mix (GaBi, 2014). Abhängig vom Standort könnte für die Bereitstellung der thermischen Energie auch Biomasse angesetzt werden oder sonstige ungenutzte Abwärme, welche anderwärtig nicht genutzt werden kann. Dies würde die Energie-Bilanz deutlich verbessern. Die Zugabe an Melasse als Zuschlagsstoff trägt mit rund 100 kWh/t auch maßgeblich zu den Energieverbräuchen bei. Wohingegen der Wasserverbrauch und die Entsorgung an Störstoffen vernachlässigbar sind.

Gutschriften (negativer Bereich der Skala in Abbildung 46) ergeben sich einerseits durch das Einsparen an Umweltauswirkungen durch die Deponierung. Der weitausgrößere Anteil ergibt sich aus der Substitution der Ausbringung von Mineraldünger, zur Bereitstellung der Nährstoffe, die dem Wald durch forstwirtschaftliche und natürliche Prozesse entzogen werden (Vgl. 7.3.6.3 Nährstoffflussbilanzen). Die Energieverbrauchsfaktoren der Mineraldünger wurden der JEC E3-database entnommen.

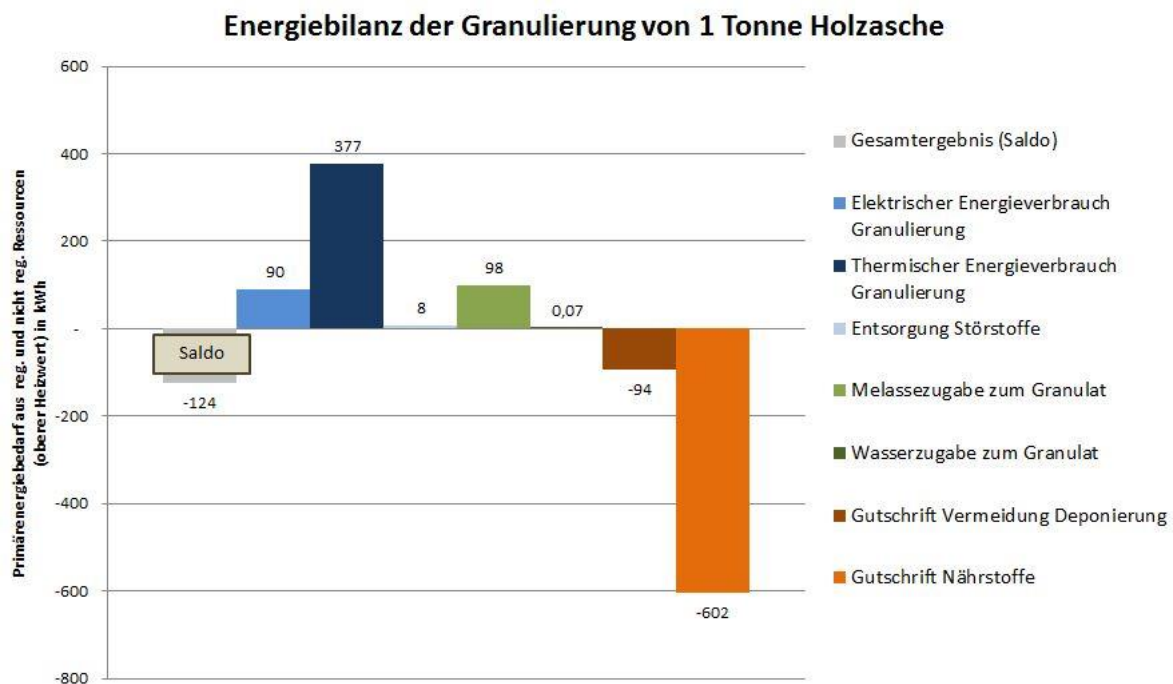


Abbildung 46: Energiebilanz der Granulierung ausgedrückt in kWh/t Holzasche (Die obere Skala von 0 bis 500 zeigt die Umweltbelastungen; die untere Skala von 0 bis – 400 die Umweltentlastungen; bei positivem Vorzeichen des Saldos entsteht eine Gesamtbelastung, bei negativem Vorzeichen eine Gesamtentlastung)

Die Ausbringung von Mineraldünger erfolgt in einem ähnlichen bis gleichen Stil wie die Ausbringung des Holzaschegranulats (Hubschrauber, Verblasen, etc.). Da somit gleiche Aufwendungen für beide Produkte auftreten, wurden sie im Rahmen dieser Analyse als vernachlässigbar definiert, da sich die ökologischen Effekte gegenseitig aufheben. Die

Gutschrift für Nährstoffe verdeutlicht wie energieintensiv die Primärproduktion der Mineraldünger ist.

### 7.3.5. Treibhausgasbilanz

Die Ergebnisse der Treibhausgasbilanz zeigen ebenfalls ein ökologisch positives Endergebnis (Abbildung 47).

Wie in der Energiebilanz trägt der thermische Energieverbrauch wesentlich zu den Umweltbelastungen bei. Während der elektrische Energieverbrauch und die Verwertung von Melasse, welche ein Nebenprodukt der Zuckerherstellung aus Zuckerrüben darstellt, zu einer geringeren Umweltbelastung führen. Eine vernachlässigbare Rolle spielen das Prozesswasser sowie die Entsorgung der Störstoffe.

Auf Seiten der Gutschriften und umweltentlastenden Wirkungen trägt die Substitution der Primärproduktion von Mineraldüngern das Siebenfache der eingesparten Umweltwirkung durch die vermiedene Deponierung bei. Die Treibhausgasemissionsfaktoren der Mineraldünger wurden der JEC E3-database entnommen.

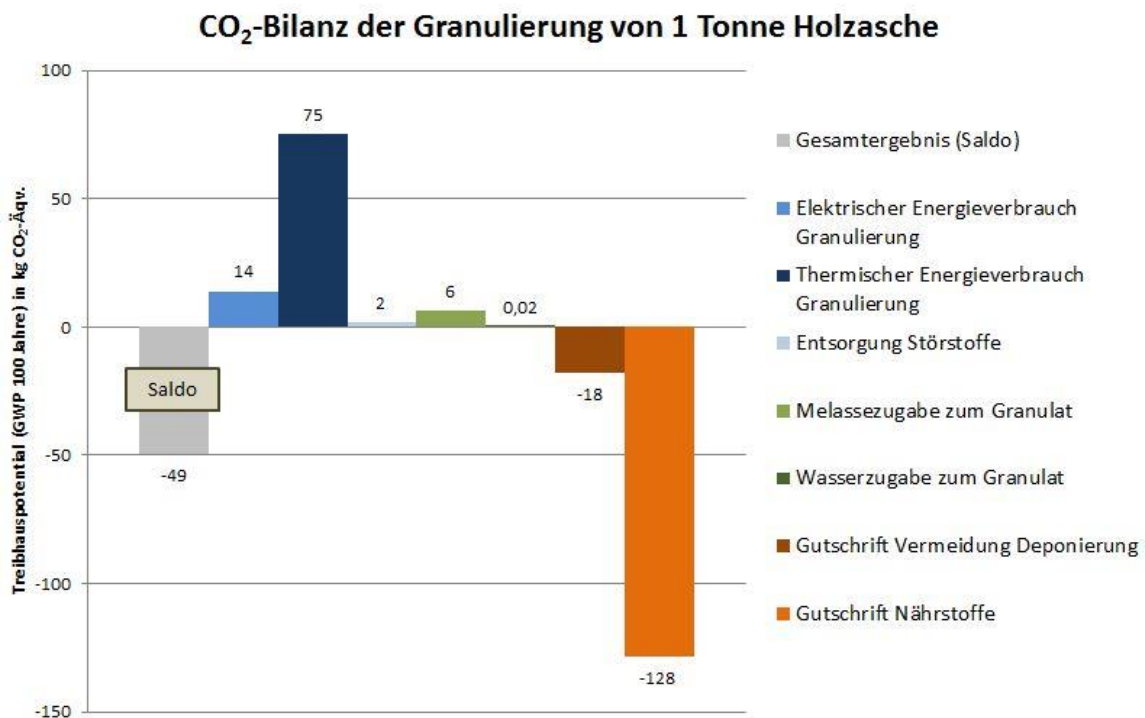


Abbildung 47: CO<sub>2</sub>-Bilanz der Granulierung dargestellt in kg CO<sub>2</sub>-Äqv./t Holzasche (Die obere positive Skala steht für Umweltbelastungen; die untere negative Skala für Umweltentlastungen)

### 7.3.6. Nährstoffflussbilanzen

In Anlehnung an Wilpert et al. (2011) werden in diesem Abschnitt Nährstoffflussbilanzen für drei charakteristische Waldbodentypen in Tirol und Vorarlberg (Podsol, Braunerde, karb. Braunlehm) dargestellt. Dabei werden die natürlichen Nährstoffeinträge aus der Atmosphäre und durch mineralische Verwitterung den Austrägen durch Auswaschung und Holzernte gegenübergestellt. Dies soll eine Definition der limitierenden Nährstoffe ermöglichen und als Orientierung für die Ascheausbringungsmengen dienen.

#### Podsol

Beim Bodentyp Podsol tritt sowohl bei Vollbaum- als auch bei Sortimentsnutzung Nährstoffnachlieferungsbedarf auf (Abbildung 48 – Differenz im negativen Bereich). Kalzium stellt in beiden Fällen den limitierenden Nährstoff dar.

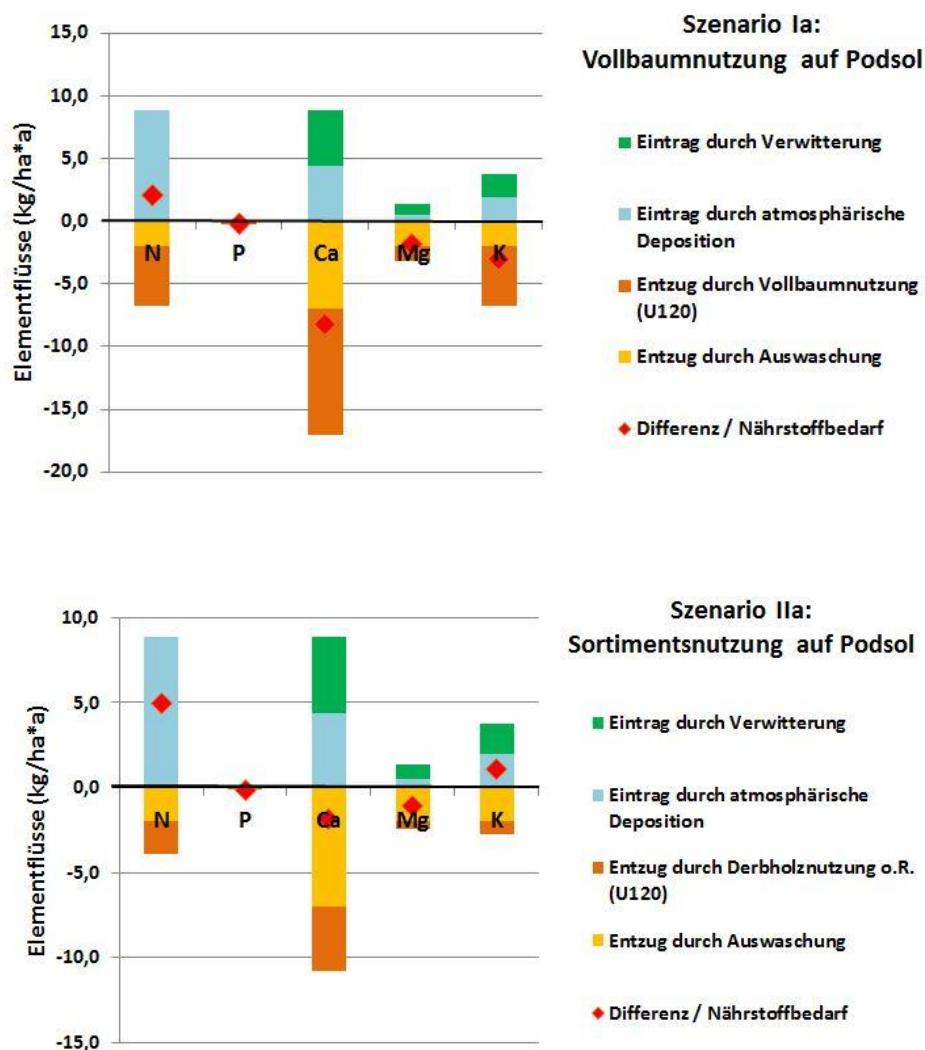


Abbildung 48: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp Podsol: Einträge durch Verwitterung und atmosphärische Deposition abzüglich Entzüge durch Vollbaumnutzung/ Sortimentsnutzung i.d. Forstwirtschaft und natürliche Auswaschung (Die obere positive Skala steht für Nährstoffeinträge; die untere negative Skala für Nährstoffentzüge; befindet sich die Differenz in der oberen positiven Skala besteht kein Nährstoffbedarf)

Wie in Abbildung 49 dargestellt können die Nährstoffmängel jedoch durch eine Ausbringung von Holzasche (mit 2 t/ha/20 a lt. Lebensministerium, 2011) ausgeglichen werden.

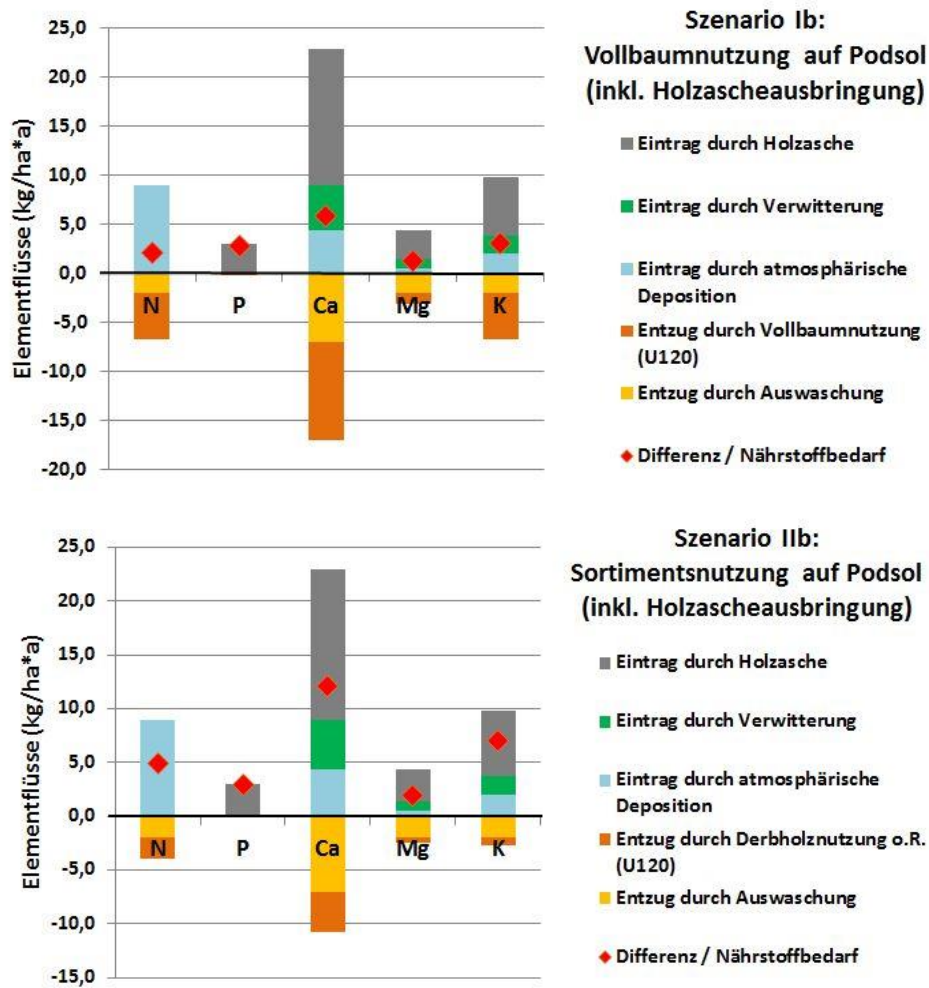


Abbildung 49: Ausgleich des Nährstoffbedarfs des Bodentyp Podsol durch Ausbringung von Holzasche (Die obere positive Skala steht für Nährstoffeinträge; die untere negative Skala für Nährstoffentzüge; befindet sich die Differenz in der oberen positiven Skala besteht kein Nährstoffbedarf)



## Saure Braunerde

Beim Bodentyp der sauren Braunerde übersteigen sowohl bei einer Vollbaum- als auch bei einer Sortimentsnutzung in der Forstwirtschaft die Nährstoffeinträge aus Verwitterung und atmosphärischer Deposition die Austräge (Abbildung 50). Dies bedeutet, dass kein Bedarf an einer Nährstoffnachlieferung auftritt.

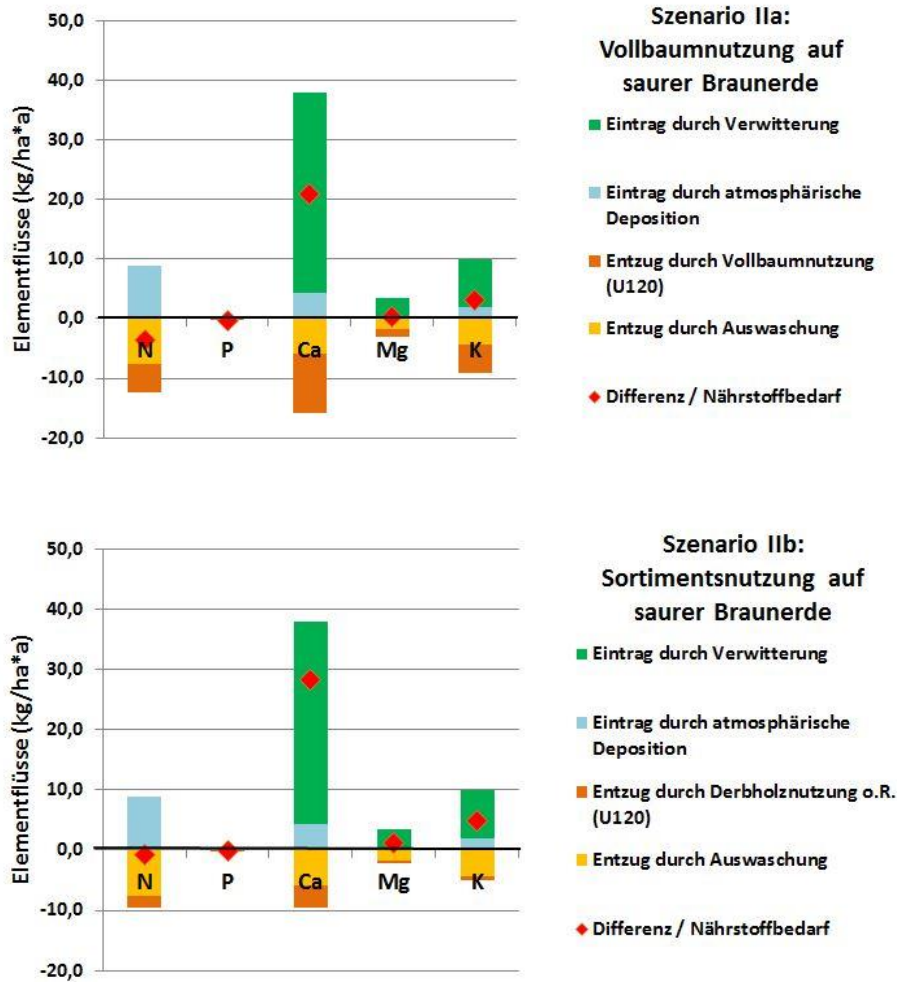


Abbildung 50: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp saure Braunerde: Einträge durch Verwitterung und atmosphärische Deposition abzüglich Entzüge durch Vollbaumnutzung/Sortimentsnutzung i.d. Forstwirtschaft und natürliche Auswaschung (Die obere positive Skala steht für Nährstoffeinträge; die untere negative Skala für Nährstoffentzüge; befindet sich die Differenz in der oberen positiven Skala besteht kein Nährstoffbedarf)

## Karbonatischer Lehmboden

Die Nährstoffflussbilanz für den Bodentyp karbonatischer Lehmboden zeigt das gleiche Ergebnis wie die saure Braunerde (Abbildung 51). Es werden mehr Nährstoffe natürlich in den Boden eingetragen als entzogen.

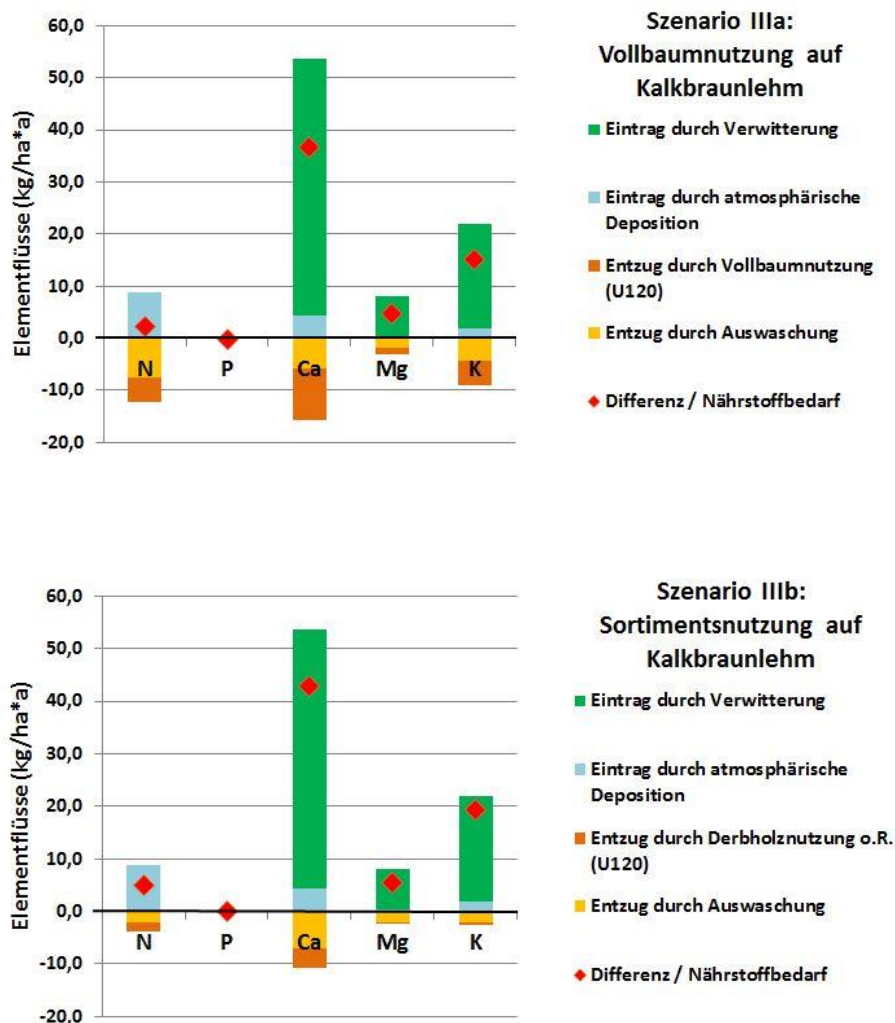


Abbildung 51: Vergleich der Nährstoffflüsse im Bodentyp Kalkbraunlehm: Einträge durch Verwitterung und atmosphärische Deposition abzüglich Entzüge durch Vollbaumnutzung/Sortimentsnutzung i.d. Forstwirtschaft und natürliche Auswaschung (Die obere positive Skala steht für Nährstoffeinträge; die untere negative Skala für Nährstoffentzüge; befindet sich die Differenz in der oberen positiven Skala besteht kein Nährstoffbedarf)

## Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufbauend auf der zugrundeliegenden Datenbasis eine erste Einschätzung der natürlichen und forstwirtschaftlich beeinflussten Nährstoffflüsse für drei Bodentypen im alpinen Raum vorgenommen wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass nur bei Podsol Nährstoffmängel auf Grund von Holzentnahme festgestellt werden konnten. Bei Braunerde und karbonatischen Lehmboden waren keine Nährstoffmängel ersichtlich. Dies lässt zu einem ersten Schluss kommen, dass diese beiden Bodentypen bei einer Ausbringung mit dem Ziel der nachhaltigen Schließung der Nährstoffkreisläufe in alpinen Wäldern, nicht von vorrangiger Relevanz sind.

Podsol deckt gemeinsam mit dem Bodentyp Rendzina rund 40-50% der Tiroler Waldböden ab. Zu Projektende lagen für Rendzina noch keine fundierten Daten vor. Allerdings ist laut einer

Experteneinschätzung des Landes Tirols zu erwarten, dass auch bei diesem Bodentyp Nährstoffmängel auf Grund der Baumernte auftreten. Dies sollte in weiteren Studien Berücksichtigung finden.

#### 7.3.7. Fazit ökologische Bewertung

Unter den getroffenen Annahmen und den zugrunde liegenden Daten führt eine erste Einschätzung der Analyse zu dem Schluss, dass die Aufbereitung und Verarbeitung von Holzasche ökologische Vorteile entlang der Prozesskette erzielt. Sowohl die Energie- als auch die Treibhausgasbilanz zeigen ein ökologisch positives Gesamtergebnis.

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass der Fokus der vorliegenden Analyse auf einer Einschätzung der Energieverbräuche und Emission von klimawirksamen Gasen lag. Andere wichtige Umweltwirkungsbereiche, wie beispielsweise das mit der Grundwasserverunreinigung verbundene Eutrophierungspotenzial, waren nicht Gegenstand der Analyse. Diese könnten jedoch beispielsweise bei den positiven Effekten der Einsparung von Deponievolumen sehr wohl eine wesentliche Rolle spielen. Für eine vollständige Analyse müssen weitere Umweltwirkungsbereiche miteinbezogen werden.

Auf der zugrunde liegenden Datenbasis der Nährstoffflüsse, welche für eine tiefgreifende Analyse verifiziert werden müsste, lässt sich in einer ersten Annäherung sagen, dass nicht auf allen Waldbodentypen Nährstoffmängel auf Grund der Holzentnahme durch die Forstwirtschaft entstehen. Im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen, sollten daher diese Waldböden mit den Nutzflächen des AP 6 abgeglichen werden, um somit eine Aussage treffen zu können, auf welchen Flächen die Ausbringung der Holzasche mit dem Ziel der Schließung von Nährstoffkreisläufen, sinnvoll erscheint.

## 8. Zusammenfassung

Im Sinne des Kreislauf- und Recyclinggedankens untersucht das Projekt „AshTreaT“ im Rahmen des Förderprogramms COMET- das Ausbringungspotential von unbehandelter Holzasche in alpinen Wäldern.

Eine Rückführung der Holzaschen ist entsprechend der „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenasche zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“ (BMLFUW, 2011) möglich. Ziel des Projektes war ein Holzascheprodukt für silikatische und karbonatische Waldböden zu entwickeln und das tatsächliche Ausbringungspotential von Holzaschen in Tiroler und Vorarlberger Wäldern zu ermitteln. Für das Projekt wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Entwicklung von geeigneten Holzascheprodukten
- Verfahrenstechnik
- Ausbringungstechnik
- Definition geeigneter Ausbringungsflächen in Tirol und Vorarlberg
- Ökonomische und ökologische Bilanzierung

In der Produktentwicklung wurden Pellets aus Holzasche und unterschiedlichen Zuschlagstoffen hergestellt. Dabei wurde die Eignung von Kompost, Gärresten und Holzabfallprodukten (Lignin) als Trägerstoffe für die Pelletherstellung getestet. Die unterschiedlich zusammengesetzten Holzascheprodukte wurden mit einem Äquivalent von 2 t Asche/ha auf vier charakteristische Waldböden (für Tirol und Vorarlberg) ausgebracht. Um den bestmöglichen Trägerstoff zu identifizieren, wurde der Einfluss der Holzascheprodukte auf die Bodenchemie und Bodenmikrobiologie sowie deren Auswaschung untersucht. Die Qualität der benutzten Asche entspricht der Richtlinie zur Verwertung von Biomasseaschen. Es wurde festgestellt, dass bei allen getesteten Produkten die Bodenvariabilität eine höhere Auswirkung auf die Nährstoff- und Schwermetallgehalte hat als die Aschezugabe. Diese zeigte, basierend auf den Laborversuchen, keine negativen Auswirkungen auf die untersuchten Bodentypen.

Neben dem Produktdesign wurden auch mit verfahrenstechnischen Versuchen insbesondere die Möglichkeiten zur Pelletierung der Holzasche getestet. Die Pelletierung wurde als erstes Verfahren gewählt, da diese mit einer einfachen Handhabung in Bezug auf Ausbringung und Lagerung verbunden ist. Als zweites Verfahren für das Produktdesign wurde die Möglichkeit der Aufbaugranulation geprüft. Es stellte sich heraus, dass sich für die Holzaschepellets bzw. das Holzaschegranulat ca. 4 – 6 Wochen gelagerte und feuchte Aschen besser für ein dauerhaftes Produkt eignen. Trockene „junge“ Aschepellets zerfielen nach ein paar Wochen Lagerung und waren instabiler als ältere, auf grund der Lagerung schon karbonatisierte Aschen. Die Vorbehandlung zur Pellets- oder Granulatherstellung der Asche ist ident und recht aufwendig. Die Asche muss von Störstoffen befreit und sehr fein gemahlen werden. Bei der Presspelletierung entsteht großer Verschleiß (Matrizenabrasion) bei der Pelletiermaschine und die Zuschlagstoffe für die Granulierung (Rinde oder Kompost) müssen ebenfalls vorbehandelt werden. Für die Aufbaugranulation hingegen kann eine kleine Menge Melasse als Trägerstoff verwendet werden und bei der Herstellung des Granulats tritt kein Verschleiß an der Maschine auf (geringere Betriebskosten).

Für eine optimale Ausbringungstechnik der Holzascheprodukte in alpinen Wäldern wurden die Möglichkeiten der Ausbringung mittels Seilbahnen nach Holzarbeiten, als auch maschinelle Verfahren mit Hilfe eines Gebläses geprüft. Das Ausblasen der Asche ist auch mit Pellets und Granulat nicht zufriedenstellend möglich, da sich die Produkte entweder wieder pulverisieren

oder wenn sie hart genug sind wie Wurfgeschosse Schäden an der Vegetation hervorrufen. Ein Ausbringungsversuch mit Tellerstreuern wird noch dieses Jahr bei der Fa. Rauch (Tellerstreuerhersteller in Deutschland) durchgeführt.

Ein weiterer wesentlicher Baustein des Projektes war die Erstellung einer Flächenbilanz über die tatsächlich möglichen Ausbringungsmengen in Vorarlberg und Tirol. Dazu wurden vorhandene Geofachdaten integriert und Tabubereiche (zum Beispiel Vogelschutzgebiete oder Naturwaldreservate), Abstandsflächen (zum Beispiel zu Wasserschutzgebieten oder Fleißgewässern) und nutzbare Flächen definiert. In die Flächenbilanzierung wurden auch die verschiedenen Ausbringungsmöglichkeiten miteinbezogen, um unter Berücksichtigung des aktuellen Waldwegenetzes und der existierenden Hangneigungen die optimale Ausbringungstechnik für unterschiedliche Standorte zu definieren. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt, dass nach Abzug der Abstandsflächen und Tabubereiche eine nutzbare Waldgrundfläche zur Ascheaufbringung von 204.782 ha für Tirol und 41.107 ha für Vorarlberg zur Verfügung steht. Berücksichtigt man die maximale Ausbringungsmenge von 2t/ha in 20 Jahren ergibt sich eine potenzielle Ausbringungsmenge von 409.564 t und 82.214 t jeweils für Tirol und Vorarlberg innerhalb von 20 Jahren.

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen wurden in einer ganzheitlichen Bilanzierung bewertet. Die ökonomische und ökologische Bilanzierung hat das Ziel die ökologisch schonendste und ökonomisch sinnvollste Variante des Produktes „Holzasche“ für den Einsatz zur Bodenmelioration in alpinen Wäldern zu erheben. Dazu wurde einerseits eine Kostenanalyse der gesamten Prozesslinie von der Produktherstellung bis zur Ausbringung erstellt und den gegenwärtigen Deponierungskosten gegenüber gestellt. Andererseits wurde mithilfe einer ökobilanziellen Bewertung, in Anlehnung an die ISO 14040 ff, Umweltwirkungen entlang der genannten Prozesslinie erhoben und bewertet. Hierbei wurde vor allem die Wirkung der Nährstoffrückführung in den alpinen Wald als Substitution einer Anwendung von Mineraldüngern vergleichend bewertet.

Die ökonomische Bewertung der Errichtung einer großtechnischen Anlage zur Pelletierung bzw. Granulierung des Holzschäljahresaufkommens in Tirol und Vorarlberg hat gezeigt, dass für beide Varianten Kosten in einer ähnlichen Größenordnung entstehen. Diese belaufen sich bei der Pelletierung auf rund 94 €/t und bei der Granulierung auf rund 90 €/t. Unter Einbeziehung der Ausbringungskosten ergeben sich vermutlich höhere Kosten als der durchschnittliche Deponierungspreis. Das bedeutet, dass sich im Durchschnitt keine klaren ökonomischen Vorteile gegenüber einer Deponierung der Holzschäljahresaufkommens ergeben. Diese Situation könnte sich bei der Etablierung einer Förderung der jeweiligen Landesregierung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder durch Kreislaufführung der Holzschäljahresaufkommens, ändern.

Unter den getroffenen Annahmen und den zugrunde liegenden Daten führt eine erste Einschätzung der Analyse zu dem Schluss, dass die Aufbereitung und Verarbeitung von Holzschäljahresaufkommens ökologische Vorteile entlang der Prozesskette erzielt. Sowohl die Energie- als auch die Treibhausgasbilanz zeigen ein ökologisch positives Gesamtergebnis.

Nach Abschluss des zweijährigen Forschungsprojektes stellen sich folgende interessante Fragen für weitere Forschungsarbeiten:

- ➔ Aus Sicht der Produktherstellung: Konkrete Analyse der Ausbringung und damit verbundenen Logistikkette.
- ➔ Aus Sicht der Naturschutzbehörden: Wie reagieren Raufußhühner, Amphibien u.ä. auf die Holzschäljahresaufkommensprodukte?

- Wie können die Berufsgruppen Forst- und Landwirtschaft am besten die Bevölkerung über den Bedarf einer nachhaltigen Nährstoffrückführung in den Wäldern aufklären?

Des Weiteren sollen die Ergebnisse des Projekt AshTreat als Entscheidungshilfe für Behörden, Forstbesitzer, Biomasseheizkraftwerksbetreiber und als wissenschaftliche Basis für konkrete Umsetzungsprojekte dienen.

Obwohl mit Abschluss des Projektes nicht alle Fragen zu einer nachhaltigen Nährstoffkreislaufführung in alpinen Wäldern beantwortet werden konnten, so stellen die Ergebnisse einen wichtigen Meilenstein für die Einführung eines ganzheitlichen Konzeptes zur Wiederverwertung von Pflanzenaschen dar.

## 9. Literatur

Amt der Tiroler Landesregierung (2013). Persönliches Gespräch mit Frau Erika Schubert vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Umweltschutz am 26. November 2013

Amt der Vorarlberger Landesregierung (2013). Brennstoffstatistik 2012. Abteilung VIa – Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten, Bregenz

Asche N. (2003). Bodenschutzkalkung in Nordrhein-Westfalen. Hsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Referat III-5, Düsseldorf

DIN EN ISO 14040 (2006) Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework

Firma Amandus Kahl (2013). Telefonat mit Herrn Bender am 13. November 2013.

Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH (2013). Treffen und persönliches Gespräch mit Plochberger Thomas, Gleissenberg Jürgen, Freinhofer Elisabeth am 19. November 2013 im Firmenhauptsitz in Enns.

Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH (2014a). Untersuchungsbericht über Mahlung und Pelletierung von Asche und Kompost; 24. März 2014, Enns.

Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH (2014b). Richtangaben für Pelletierkreislauf; 24. März 2014, Enns.

Firma Rauchfutter (2013). Treffen und persönliches Gespräch mit Stefan Pickl, Herbert Nagl am 11. September 2013 im Firmenhauptsitz in Hall i.T.

Firma Schneider Verblasetechnik e.K. (2014). Telefonat mit Herrn Rudolf Schneider am 19. März 2014

GaBi (2014). GaBi – Ganzheitliches Bilanzieren, Ökobilanzierungs-Software und Ökobilanz-Datenbank; PE-International AG, Leinfelden-Echterdingen

Guse F. (2014), GIS-gestützte Potenzialflächenanalyse für die Ausbringung von Holzascheprodukten in forstwirtschaftlich genutzten Gebieten, Masterarbeit

JEC E3 database (2008) Life-Cycle Assessment Tool: <http://www.e3database.com/> (version 31-7-2008)

Lebensministerium (2011). Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Raab S., Feller S., Uhl E., Schäfer A., Orhner G. (2002). Aktuelle Holzernteverfahren am Hang. Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Nummer 36, Freising

Wilpert, K.v.; Bösch, B.; Bastian, P. et al. (2011). Biomasse-Aufkommensprognose und Kreislaufkonzept für den Einsatz von Holzaschen in der Bodenschutzkalkung in

Oberschwaben. Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 87. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Boden und Umwelt, Freiburg.

Zimmermann, S.; Hässig, J.; Landolt, W. (2010): Literaturreview Holzasche – Wald. Nährstoffentzug durch Holzernte, Aschrückführung in den Wald, abiotische und biotische Wirkungen. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.