



Umweltinstitut des Landes Vorarlberg

Umweltanalytik

Einfluss der Klärschlamm-Düngung auf den Schadstoffgehalt von Energiewald-Bäumen

Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes der Kläranlage Dornbirn

Christoph Scheffknecht

Inhalt

Kurzfassung	2
1. Einleitung	2
2. Auswahl der Parameter	3
3. Probenahme und Probenvorbereitung	3
3.1 Holz	3
3.2 Laub	4
3.3 Boden	4
4. Untersuchungsmethoden	5
5. Ergebnisse	5
6. Interpretation der Ergebnisse	6
6.1 Holz	6
6.1.1 Vergleich des Versuchsfelds mit dem Referenzfeld	6
6.1.2 Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten	6
6.2 Laub	7
7. Literatur	8

Einfluss der Klärschlamm-Düngung auf den Schadstoffgehalt von Energiewald-Bäumen

Kurzfassung

Es wurden Holz- und Laubproben einer mit Klärschlamm gedüngten Fläche, sowie einer nicht gedüngten Referenzfläche untersucht. Die Analysenwerte zeigen, dass bezüglich der untersuchten Parameter die Klärschlamm Düngung keinen negativen Einfluss auf den Schadstoffgehalt im Holz oder Laub der Bäume nimmt. Ein Vergleich der gemessenen Werte mit Literaturdaten bestätigt diesen Befund.

1. Einleitung

Biomasse ist ein nachwachsender Rohstoff und gewinnt daher als erneuerbarer Energieträger zunehmend an Bedeutung. Die Energiegewinnung aus Biomasse ist weitgehend CO₂-neutral und liefert daher im Gegensatz zu den fossilen Brennstoffen nur einen geringen Beitrag zum Treibhauseffekt [8].

Eine leicht realisierbare Möglichkeit der Energiegewinnung aus Biomasse stellt die thermische Verwertung von Holz von schnell nachwachsenden Bäumen aus Energiewäldern dar. Durch Düngung kann ein schnelleres Wachstum erreicht werden. Klärschlamm Dünger kommt hierfür in Frage, da er ohnehin zur Verfügung steht und nicht wie andere Dünger synthetisch mit hohem Energieaufwand hergestellt wird. Allerdings muss gewährleistet sein, dass kein Schadstofftransfer vom Klärschlamm in das Holz stattfindet. Weiters sollte die Qualität des Brennholzes bezüglich des Brennwertes natürlich gewachsenem Holz gleichwertig sein.

Das „geerntete“ Holz soll in herkömmlichen Biomasseheizwerken verwendbar sein. Dies vor allem in Bezug auf die Technik der Abgasreinigung (Filter) als auch die spätere Verwertung der Pflanzenaschen. Ein Hauptproblem sind hierbei die Schwermetalle.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Klärschlammvererdung BA06“ der Kläranlage

Dornbirn wurde im Jahr 1989 das Teilprojekt „Versuchspflanzung Energieholz“ gestartet.

Hierzu wurden 6000 m³ gepresster Klärschlamm (25 Gew. % Trockenmasse) vermischt mit 1450 m³ Naturboden, 1800 m³ Ton/Schluffgemisch und 3500 m³ verrottetem Häckselgut auf eine ca. 1 Hektar große Fläche aufgebracht. Die Schütthöhe betrug ca. 1 m. Die verwendete Klärschlammmenge war dabei bewusst überdimensioniert um auch den „worst case“ abzudecken. Im Herbst 1992 erfolgte die Bepflanzung mit diversen heimischen Baumarten. Nach einer Wachstumsperiode von 10 Jahren wurde das Holz und das Laub von den Bäumen (Grauerlen) der Versuchsfläche analysiert. Bei den zum Vergleich herangezogenen Grauerlen konnte gegenüber dem natürlich belassenen Standort etwa das Dreifache an Holzzuwachs festgestellt werden [9].

Für die Beurteilung der Schadstoffgehalte sind Referenzwerte erforderlich. Daher wurden auch Bäume einer nahe gelegenen Vergleichsfläche, die nicht mit Klärschlamm behandelt wurde, untersucht.

Die vorliegenden Untersuchungen sollen zeigen, ob eine Düngung des Energiewaldes mit Klärschlamm zu einer Schadstoffanreicherung in den Bäumen führt.

In diesem Bericht wird ausschließlich auf den Schadstofftransfer vom Klärschlamm in das Holz und Laub eingegangen. Die Interpretation der gleichzeitig durchgeführten Boden- und Holzwachstumsuntersuchungen sowie die detaillierte Darstellung des Gesamtprojekts erfolgt im Gesamtbericht der ARA Dornbirn. Für die Beurteilung der Ausgangssituation der Bodenbelastung sind jedoch die Untersuchungsergebnisse der Bodenuntersuchungen notwendig. Diese Werte sind daher in [Tabelle 5](#) angeführt.

2. Auswahl der Parameter

Für die Beurteilung einer allfälligen Schadstoffanreicherung wurden die Schwermetalle gemäß Vorarlberger Klärschlammverordnung ausgewählt [\[1\]](#). Diese Metalle sind im Klärschlamm enthalten und finden sich im Falle einer thermischen Verwertung im Gegensatz zu den meisten organischen Verbindungen in der Rostasche sowie in den Filterstäuben (z.B. Zyklonasche) wieder [\[7\]](#).

Zusätzlich wurde der Gesamtstickstoffgehalt in das Messprogramm aufgenommen, da ein zu hoher Stickstoffanteil bei Verbrennungsprozessen zu höheren Stickoxidemissionen führen kann [\[7\]](#).

Zur Beurteilung der Düngeeigenschaft der Folgeprodukte des Holzes (Kompostzuschlagstoff, Asche etc.) wurden auch die Gehalte der Elemente Phosphor, Natrium und Kalium untersucht.



Abbildung 1: Energiewald-Versuchsfläche auf dem Gelände der ARA Dornbirn

3. Probenahme und Probenvorbereitung

3.1 Holz

Für die nachfolgenden Messungen wurden ca. 3 cm dicke Holzscheiben aus gefällten Bäumen (Grauerle) herausgesägt. Zur Vermeidung von Kontaminationen wurde eine Handsäge verwendet. Die Probenahme wurde von Mitarbeitern der ARA Dornbirn gemeinsam mit der Forstabteilung der Bezirkshauptmannschaft Dornbirn durchgeführt.

Je Baum wurden drei Holzscheiben gefriergetrocknet, gemahlen und zu einer Mischprobe vereinigt.

Die Proben wurden jeweils von der Versuchs- und der Referenzfläche in gleicher Weise gewonnen.



Abbildung 2: Gefriergetrocknete Holzproben

3.2. Laub

Das Laub wurde als repräsentative Mischprobe aller gefällten Bäume gesammelt, gefriergetrocknet und gemahlen.

3.3 Boden

Zur Feststellung der Standortbelastung und für die Interpretation der Holzwerte wurden an den beiden Untersuchungsflächen auch Mischproben aus dem Wurzelraum der Bäume gezogen. In zwei Kreisen mit 1,5 bzw. 3m Radius wurden um den Baumstrunk jeweils 6 – 10 Einstiche mit der Pürkhauer-Sonde vorgenommen, die zu Mischproben vereinigt wurden. Die Mischproben wurden jeweils getrennt für die Tiefenstufe 0 – 20 cm und 20 – 40 cm genommen und im Umluftofen bei 30° C getrocknet und bei 2 mm Maschenweite abgesiebt.



Abbildung 2: Untersuchte Grauerlen vor der Fällung

4. Untersuchungsmethoden

In der **Tabelle 1** sind die verwendeten Untersuchungsmethoden tabellarisch zusammengefasst. Diese Methoden sind im Rahmen der Qualitätssicherung des Umweltinstituts validiert worden und haben sich bereits bei mehreren Holz- und Bodenuntersuchungen bewährt [\[5\]](#).

Parameter	Abk.	Methode	Norm
Zerkleinern < 6 mm		Schneidrotor	
Mahlen < 0.25 mm		Ultrazentrifugalmühle	
Stickstoff	N-ges	Elementaranalyse	
Glührückstand	GR	Tiegelofen 550°C	DIN 38414-S3
Aufschluss Holz		HNO ₃ /H ₂ O ₂ Mikrowelle	
Aufschluss Boden		Königswasserextrakt	DIN 38414-S7
Phosphor	P	ICP	EN ISO 11885
Chrom	Cr	ICP	EN ISO 11885
Kupfer	Cu	ICP	EN ISO 11885
Nickel	Ni	ICP	EN ISO 11885
Zink	Zn	ICP	EN ISO 11885
Cadmium	Cd	ICP	EN ISO 11885
Blei	Pb	ICP	EN ISO 11885
Quecksilber	Hg	Kaltdampf-AAS	ISO 5666
Kalium	K	ICP	EN ISO 11885
Natrium	Na	ICP	EN ISO 11885

Tabelle 1: Verwendete Untersuchungsmethoden

5. Ergebnisse

Die Analysenergebnisse der Holzuntersuchungen sind in der [Tabelle 3](#) zusammengefasst. Dargestellt sind jeweils die Ergebnisse der Mischproben (je 3 Holzscheiben) der untersuchten Bäume. Im oberen Tabellenbereich finden sich die Werte für das Holz von Bäumen der Referenzfläche, die nicht mit Klärschlamm gedüngt wurde. Im unteren Tabellenbereich sind die Ergebnisse des mit Klärschlamm gedüngten Versuchsfelds dargestellt. Für die einzelnen Parameter bei jeder Fläche wurde jeweils noch der Mittelwert berechnet. In der letzten Zeile ist noch die Differenz und der prozentuale Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Felder dargestellt. Analog hierzu wurden die Werte der Laubanalysen in der [Tabelle 4](#) aufbereitet.

Die Untersuchungsergebnisse der Bodenanalysen des Wurzelraums der Bäume der Referenz- und der Versuchsfläche sind in [Tabelle 5](#) zusammengefasst.

6. Interpretation der Ergebnisse

6.1 Holz

Betrachtet man die Ergebnisse aller Holzanalysen ([Tabelle 4](#)), so ist zunächst die vergleichsweise geringe Streuung der Werte zwischen den einzelnen Bäumen innerhalb des Referenz- und des Versuchsfeldes auffällig. Da ausschließlich Grauerlen untersucht wurden, ist diese homogene Verteilung der untersuchten Parameter plausibel.

6.1.1 Vergleich des Versuchsfelds mit dem Referenzfeld

Die Unterschiede zwischen den Holzproben der Versuchs- und der Vergleichsfläche sind gering und spiegeln nicht die Situation beim Boden wider, wo die deutlich höheren Gehalte der Versuchsfläche fast stöchiometrisch berechenbar sind.

Einzelne Bäume könnten auf Grund ihrer Schwermetallgehalte nicht eindeutig einem der beiden Felder zugeordnet werden. Die Mittelwerte der Chromgehalte unterscheiden sich noch am deutlichsten, doch wäre auch hier auf Grund der vergleichsweise höchsten Streuung eine sichere Zuordnung einzelner Bäume nicht immer möglich. Ein signifikanter Einfluss der Klärschlammdüngung auf die Schwermetallgehalte ist nicht ableitbar.

Diese Betrachtungen gelten auch für die Natrium- und Kaliumkonzentrationen.

Die Phosphorwerte der Holzproben der Klärschlamm-gedüngten Fläche liegen signifikant über denen des Referenzfeldes.

Der Stickstoffgehalt im Holz ist im Falle einer thermischen Verwertung ein Faktor für die NO_x-Emissionen im Abgas. Bezüglich der Stickstoffwerte sind keinerlei Unterschiede zwischen Versuchs- und Referenzfläche feststellbar.

6.1.2 Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten

In der **Tabelle 2** werden die gefundenen Schadstoffwerte den literaturbekannten Normen, Richtwerten und vergleichbaren Analysenergebnissen aus der Schweiz und Österreich gegenübergestellt.

Für die thermische Verwertung von Holz existieren Richtwerte zur Beurteilung der Qualität des Brennstoffs. In der **Tabelle 2** sind die Richtwerte für unbehandeltes Holz gemäß VDI [\[6\]](#) und DIN [\[2\]](#) dargestellt. Die Analysenergebnisse der Holzproben liegen unter den Richtwerten. Lediglich der Mittelwert des Chromgehalts liegt geringfügig über dem VDI-Richtwert [\[6\]](#).

Der Vergleich mit den Literaturwerten von Holzanalysen aus der Schweiz [\[3\]](#) und Österreich [\[4\]](#) zeigt, dass das untersuchte Holz hinsichtlich der analysierten Schwermetallgehalte im durchaus üblichen Bereich liegt.

Holzproben	N-ges [Gew.%]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
Mittelwert Vergleichsfeld	0,28	< 0,10	0,65	1,5	< 0,008	1,4	< 0,80	21
Mittelwert Versuchsfeld	0,29	< 0,10	2,1	2,0	< 0,020	0,69	< 0,80	22
Richtwerte:								
VDI Richtwerte [6]	0,5	0,5	2	5	0,05		3	50
DIN 51731 [2]	0,3	0,5	8	5	0,05		10	100
Analysenwerte Lit.:								
EMPA Analysen [3]		< 0,1 – 0,3	< 1 – 2,4	< 1 – 3,9	< 0,3	< 1 – 1,3		3,4 – 28
AbfWirtsch. 31 [4]	0,15	0,1	2,4	1,2	0,01		0,4	11

Tabelle 2: Darstellung der Mittelwerte der Holzuntersuchungen; Schwermetalle und Stickstoff

6.2 Laub

Die Stickstoff-, Kalium- und Phosphorgehalte liegen deutlich über den Werten der Holzanalysen. Der fünffach höhere Glührückstand deutet auf einen höheren anorganischen Anteil im Laub hin. Auch sind höhere Kupfer- und Zinkwerte in den Laubproben feststellbar. Die insgesamt höheren Mineralstoffgehalte sind physiologisch bedingt und auf den spezifischen Stoffhaushalt der Bäume zurückzuführen [3,4,6,7].

Deutliche, signifikante Unterschiede zwischen dem Laub der Versuchs- und der Vergleichsfläche sind nicht feststellbar. Lediglich die Phosphor- und Nickelgehalte liegen bei den Proben der Versuchsfläche etwas über den Referenzwerten, während die Quecksilber- und Chromkonzentration sogar niedriger sind.

7. Literatur

[1] [„Verordnung der Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm \(Vorarlberger Klärschlammverordnung\)“; Vorarlberger Landesgesetzblatt Nr. 75/1997, 27/2002](#)

[2] DIN 51731; „Grenzwerte für Spurenstoffe in Preßlingen aus naturbelassenem Holz“; (1996)

[3] [Joachim Mohn; Emissionen und Stoffflüsse von \(Rest-\)Holzfeuerungsanlagen; Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt \(EMPA\); Februar 2000](#)

[4] Alfred Schmidt, Hermann Hofbauer; „Thermische Verwertung und Behandlung von Holz- und Papierabfällen; Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Schriftenreihe der Sektion III, Band 31; 1996

[5] Christoph Scheffknecht; „Chemisch-analytische Untersuchungen von Altholz“; Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, 1999

[6] Marutzky; „Qualitätsanforderungen an die stoffliche und thermische Verwertung von Rest- und Gebrauchshölzern“; Vortrag auf dem VDI Seminar Alt- und Restholz am 20.5.1996 in Düsseldorf

[7] Ingwald Obernberger; „Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen“, Band 1; TU Graz; 1998

[8] [Joachim Mohn; „Wood Combustion – Clean Energy“; Conference on emission monitoring, denmark 11.-13.9.2002; EMPA 2002](#)

[9] Günter Rössler, Karl Schieler; “Radialzuwachsuntersuchungen an Grauerlen aus dem Raum Dornbirn”; Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien; 2002

Tabelle 3: Ergebnisse der Holzanalysen

Holzproben	GR [Gew. %]	N-ges [Gew. %]	P [mg/kg]	Na [mg/kg]	K [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
Referenzfläche:												
Baum I		0,28	170	8,2	1100	< 0,10	1,3	1,3	< 0,008	4,9	< 0,80	24
Baum II		0,31	160	5,8	840	< 0,10	0,64	1,2	< 0,008	0,41	< 0,80	20
Baum III		0,26	200	5,3	1000	< 0,10	0,46	1,6	< 0,008	0,98	< 0,80	19
Baum IV		0,30	190	4,7	1000	< 0,10	0,14	1,8	< 0,008	0,29	< 0,80	20
Baum V		0,25	110	4,3	1100	< 0,10	0,73	1,6	< 0,008	0,41	< 0,80	21
Mittelwert	0,95	0,28	166	5,7	1008	< 0,10	0,65	1,5	< 0,008	1,4	< 0,80	21
Versuchsfeld:												
Baum I		0,33	600	7,6	1700	< 0,10	5,1	2,2	0,053	0,78	< 0,80	35
Baum II		0,31	400	5,1	1100	< 0,10	1,0	1,9	< 0,008	1,0	< 0,80	22
Baum III		0,26	510	3,9	1100	< 0,10	0,68	2,0	< 0,008	0,46	< 0,80	18
Baum IV		0,24	310	6,6	920	< 0,10	1,6	2,0	< 0,008	0,53	< 0,80	13
Mittelwert	0,95	0,29	455	5,8	1205	< 0,10	2,1	2,0	< 0,020	0,69	< 0,80	22
Differenz	0	+ 0,01	+ 289	+ 0,1	+ 197	0	+ 1,5	+ 0,5		- 0,71	0	+ 1
Differenz in %	0	+ 2	+ 174	+ 2	+ 20	0	+ 220	+ 35		- 50	0	+ 6

Tabelle 4: Ergebnisse der Laubanalysen

Laub	GR [Gew. %]	N-ges [Gew. %]	P [mg/kg]	Na [mg/kg]	K [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
Referenzfläche	4,4	2,9	1500	13	7700	< 0,10	0,52	9,6	0,013	1,0	< 0,80	47
Versuchsfeld	3,5	3,0	1900	6,9	8600	< 0,10	0,40	9,0	0,010	1,3	< 0,80	50
Differenz	- 0,9	+ 0,1	+ 400	- 6,1	+ 900		- 0,12	- 0,6	- 0,003	+ 0,3		+ 3
Differenz in %	- 20	+ 5	+ 27	- 47	+ 12	0	- 23	- 6	- 23	+ 30	0	+ 6

Tabelle 5: Ergebnisse der Wurzelraumanalysen (Boden)

Wurzelraum	Tiefenstufe [cm]	P [mg/Kg]	Na [mg/Kg]	K [mg/Kg]	Cd [mg/Kg]	Cr [mg/Kg]	Cu [mg/Kg]	Hg [mg/Kg]	Ni [mg/Kg]	Pb [mg/Kg]	Zn [mg/Kg]
Referenzfläche:											
Baum I	0 - 20	440	130	1400	0,43	45	15	0,07	42	21	84
Baum I	20 - 40	540	100	1000	0,33	35	11	0,05	28	17	70
Baum II	0 - 20	400	94	870	0,26	30	10	0,05	29	16	69
Baum II	20 - 40	320	88	680	0,20	26	9,2	< 0,05	33	15	62
Baum III	0 - 20	280	95	570	0,15	15	6,2	< 0,05	18	11	47
Baum III	20 - 40	480	150	1100	0,16	30	12	< 0,05	34	19	91
Baum IV	0 - 20	260	73	600	0,17	15	6,3	< 0,05	18	9,7	43
Baum IV	20 - 40	330	94	630	0,18	18	8,9	< 0,05	26	14	62
Baum V	0 - 20	350	82	3100	0,25	22	9,5	< 0,05	27	15	68
Baum V	20 - 40	310	74	640	0,23	32	9,9	< 0,05	27	17	72
Mittelwert		371	98	1059	0,24	27	9,8		28	15	67
Versuchsfeld:											
Baum I	0 - 20	3900	84	770	0,57	110	50	0,41	29	37	180
Baum I	20 - 40	3200	94	820	0,51	100	42	0,39	37	34	160
Baum II	0 - 20	4900	100	1200	0,67	160	59	0,54	41	43	200
Baum II	20 - 40	4600	86	640	0,67	120	52	0,50	25	40	190
Baum III	0 - 20	3700	84	940	0,41	110	44	0,34	22	28	140
Baum III	20 - 40	3000	63	510	0,52	73	34	0,29	20	22	120
Baum IV	0 - 20	4800	81	830	0,61	79	51	0,34	16	23	140
Baum IV	20 - 40	4600	67	750	0,56	72	42	0,34	14	20	120
Mittelwert		4088	82	808	0,57	103	47	0,39	26	31	156
Differenz		3717	-16	-252	0,33	76	37		-2,7	15	89
Differenz in %		1102	-84	-76	239	384	477		-90	200	234