

Wiedergewinnung von Metallen aus Klärschlamm und ähnlichen Substanzen mittels hyperakkumulierenden Pflanzen



Technisches Büro
DI Monika
Iordanopoulos-Kisser



**alchemia
nova**
institut für innovative
phytochemie &
kreislaufwirtschaft



Johannes Kisser¹, Monika Iordanopoulos-Kisser²
Heinz Gattringer¹, Christine Scheffknecht¹

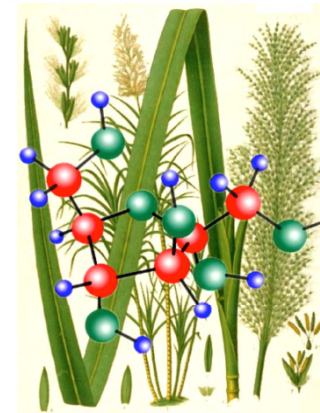
¹ alchemia-nova - Institut für Innovative Phytochemie und Kreislaufwirtschaft
www.alchemia-nova.net

² Technisches Büro für Technische Chemie Monika Iordanopoulos-Kisser
www.mjkisser.at

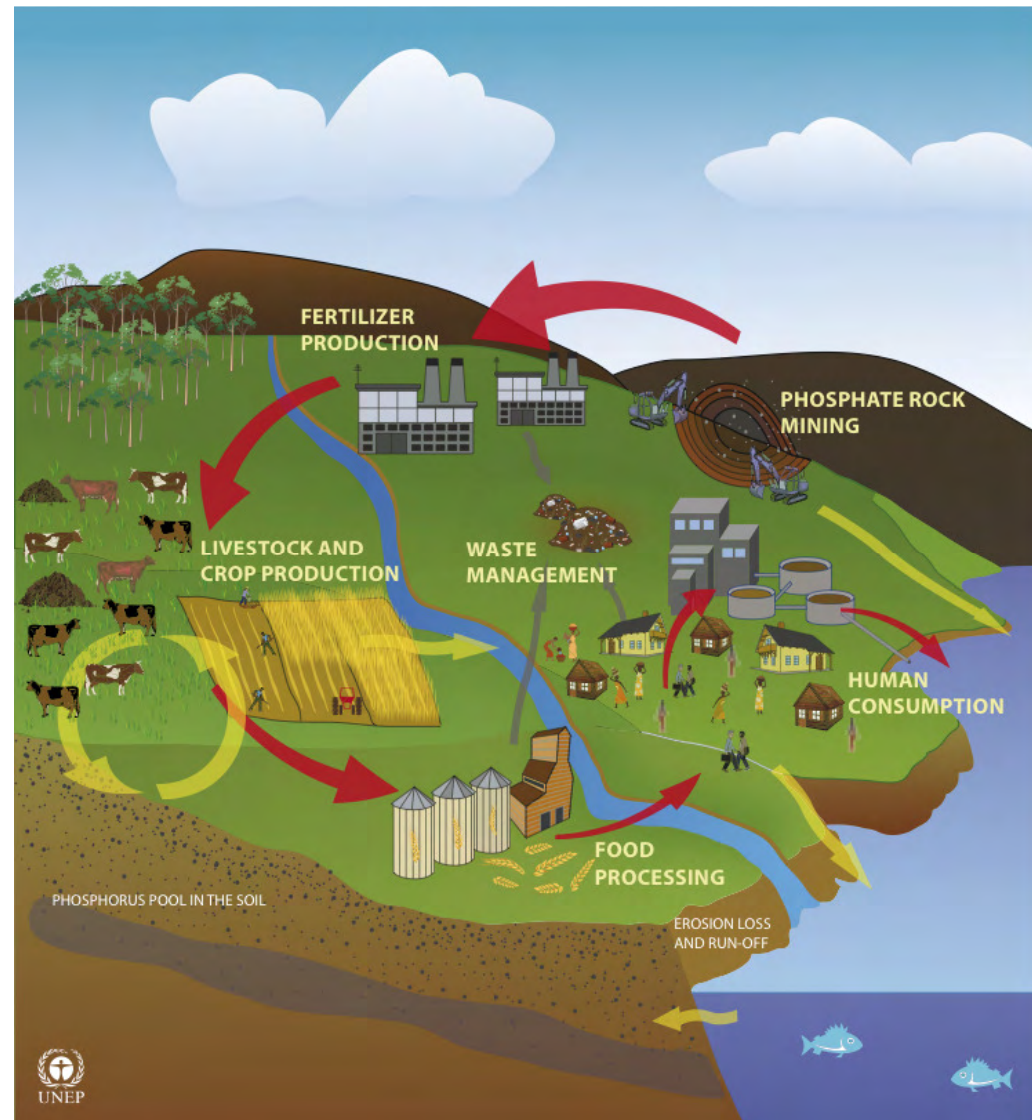


Hintergrund

- Natürliche Ressourcen
 - Kreislaufwirtschaft
 - Strategien und Technologien zur Kaskadennutzung
 - Biogene Ersatzstoffe für fossile Produkte
-
- Beratung über gesetzeskonforme Verwertung und Entsorgung von Abfällen
 - Beurteilung von Umweltauswirkungen
 - Kurse über Abfallwirtschaft/Chemie
 - Abfallwirtschaftliche Bauaufsicht



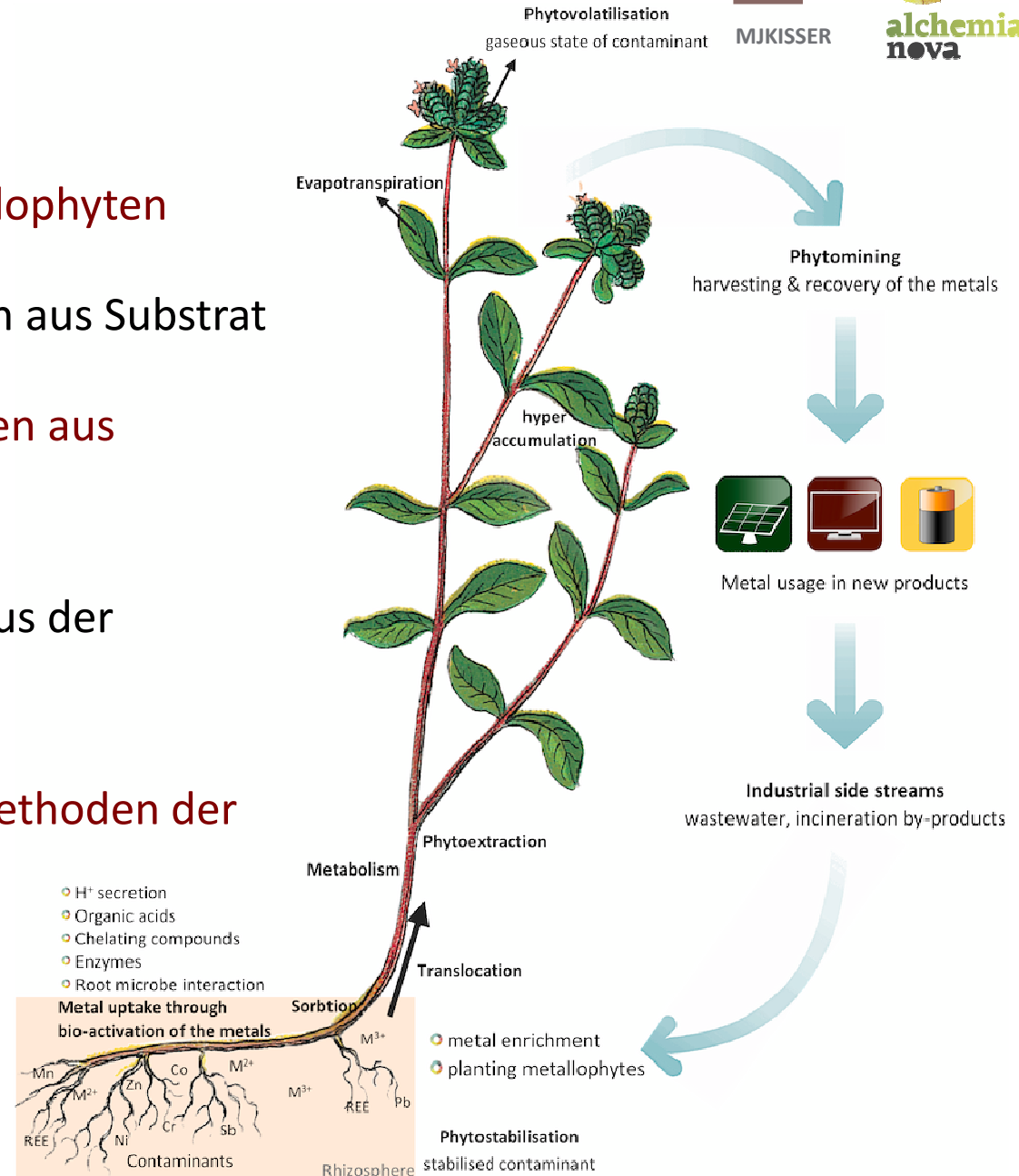
- 🌍 Über 90% Materialimport
- 🌍 Ressourcenknappheit → Wert ↑
- 🌍 Technologien zur Gewinnung seltener Metalle – existieren kaum!
- 🌍 Verbrennung von Klärschlamm (oder Entsorgung) aufgrund von Schwermetallkontaminierung
- 🌍 Urban mining/landfill mining – Wiedergewinnung von Wertstoffen aus Abfällen



Quelle: UNEP Year Book 2011, Emerging issues in our global environment

Einführung

- Hyperakkumulierende Metallophyten
- Phytoextraktion von Metallen aus Substrat
- Entfernen von Schwermetallen aus Klärschlamm
- Gewinnung von „BIO-ORE“ aus der Biomasse der Pflanzen
- Phytomining wird aus den Methoden der Phytoremediation entwickelt



Substrat Optimierung

- Ausgewählte Pflanzen gehören in die Familien der *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Pontedericaceae*, *Pteridaceae* und *Gleicheniaceae*
- Keimfähigkeit von Pflanzen in „normalen“ Substraten
- Gemisch von 50% Klärschlamm, 5% Müllverbrennungsasche, Sand, Kompost, Stroh
- Schwermetallgehalt, wie Chromat setzt Grenzen
- Zitronensäure für pH-Wert und Mobilisierung



Licht und Wasser

- LED für photoaktives Lichtspektrum
- Pflanzen bekommen 4200 Lux
- Deionisiertes Wasser um weitere Anreicherung von Metallen zu verhindern (Ca, Mg)
- Automatisches Bewässerungssystem mit Widerstandssensor





- Klärschlamm bildet festes Substrat
- Zugabe von Bodenzusatzstoffen
- Salze könne ausgewaschen werden
- Nährstoffreiches Substrat führt zu starkem Pflanzenwachstum
- Hohe Aktivität von Mikroorganismen und Insekten
- Pflanzen mit starkem Biomassenzuwachs werden begünstigt

element	amount [mg/kg]		prices for elements or oxides [€/kg]	value potential			
	sludge	ash		[€/t]		[€/a] for Vienna	
				sludge	ash	sludge	ash
Al	10419	36303					
As	3,2	11,1					
Ba	255	1138	€ 0,42 oxide	€ 0,11	€ 0,48	€ 7.292,94	€ 7.232,56
Be	0,31	0,74					
Bi	1,96	10,62					
Ca	29597	146836					
Cd	0,772	8,02					
Ce	7,15	18,9	€ 5,14 oxide	€ 0,04	€ 0,10	€ 2.479,78	€ 1.456,65
Co	3,38	16,7	€ 20,33 oxide	€ 0,07	€ 0,34	€ 4.638,91	€ 5.093,34
Cr	44,6	169,7	€ 4,40 bulk	€ 0,20	€ 0,75	€ 13.246,20	€ 11.200,20
Cs	0,98	1,982					
Cu	229	2802	€ 5,50 bulk	€ 1,26	€ 15,41	€ 85.016,25	€ 231.165,00
Er	0,206	0,514	€ 494,80 bulk	€ 0,10	€ 0,25	€ 6.880,19	€ 3.814,91
Eu	0,155	0,531	€ 627,99 oxide	€ 0,10	€ 0,33	€ 6.570,35	€ 5.001,94
Fe	35333	147187					
Gd	0,506	1,298	€ 35,40 oxide	€ 0,02	€ 0,05	€ 1.208,94	€ 689,16
Ho	0,065	0,162	€ 144,15 oxide	€ 0,01	€ 0,02	€ 632,47	€ 350,29
K	3225	18041					
La	4,23	12,2	€ 12,18 oxide	€ 0,05	€ 0,15	€ 3.477,47	€ 2.228,79
Li	7,04	22,6					
Lu	0,0213	0,0587	€ 1.887,79 oxide	€ 0,04	€ 0,11	€ 2.714,16	€ 1.662,19
Mg	4701	15812	€ 2,40 bulk	€ 11,28	€ 37,95	€ 761.562,00	€ 569.232,00
Mn	176	736	€ 1,04 oxide	€ 0,18	€ 0,76	€ 12.343,32	€ 11.470,56
Mo	3,695	24,05	€ 15,20 bulk	€ 0,06	€ 0,37	€ 3.791,07	€ 5.483,40
Na	826	10644					
Nd	2,76	6,73	€ 73,96 oxide	€ 0,20	€ 0,50	€ 13.779,36	€ 7.466,59
Ni	33,1	140	€ 13,57 oxide	€ 0,45	€ 1,90	€ 30.329,34	€ 28.506,93
P	22555	83833	€ 0,10 ore	€ 2,26	€ 8,38	€ 152.246,25	€ 125.749,50
Pb	47,6	340	€ 1,60 bulk	€ 0,08	€ 0,54	€ 5.140,80	€ 8.160,00
Pr	0,754	1,94	€ 59,75 oxide	€ 0,05	€ 0,12	€ 3.041,19	€ 1.738,85
Rb	12,89	30,46	€ 792,00 bulk	€ 10,21	€ 24,12	€ 689.099,40	€ 361.864,80
S	5298	8817					
Sb	0,4	43,8	€ 7,10 bulk	€ 0,00	€ 0,31	€ 191,70	€ 4.664,70
Sc	1,35	2,84	€ 5.480,64 oxide	€ 7,40	€ 15,57	€ 499.423,32	€ 233.475,26
Sm	0,534	1,269	€ 6,85 oxide	€ 0,00	€ 0,01	€ 246,94	€ 130,40
Sn	11,9	55,1	€ 14,80 bulk	€ 0,18	€ 0,82	€ 11.888,10	€ 12.232,20
Sr	141	725	€ 178,00 pure	€ 25,10	€ 129,05	€ 1.694.115,00	€ 1.935.750,00
Tb	0,075	0,167	€ 536,65 oxide	€ 0,04	€ 0,09	€ 2.716,77	€ 1.344,30
Ti	870	4096					
Tl	0,423	0,576					
V	20,2	72,5	€ 9,10 bulk	€ 0,18	€ 0,66	€ 12.407,85	€ 9.896,25
Y	1,96	7,02	€ 18,27 oxide	€ 0,04	€ 0,13	€ 2.416,96	€ 1.923,70
Zn	1000	4175	€ 1,40 oxide	€ 1,40	€ 5,85	€ 94.500,00	€ 87.675,00
			sum	€ 61,09	€ 245,11	€ 4.123.397,02	€ 3.676.659,49

Klärschlamm - WSO Aschen

- Alle wertvolleren Metalle erfasst (nicht nur kritische)
- Allein in Wien wird Wertpotential von ca. € 4 Mill. pro Jahr deponiert (noch ohne Schlacken)

Mengenangaben von Wien:

Asche: 15.000 t/a (Wirbelschichtofen 1-3)

Schlamm: 67.500 t/a Abwasserbehandlung

Klärschlamm – WSO Aschen – MVA Schlacken

Element	Menge [mg/kg]=[ppm]			Menge der Metalle im Jahr [t/a]			Preis für Metalle od. Oxide [€/kg]		Wertpotential [€/a]					
	KS	WSO	MVA	KS	WSO	MVA	Oxid	[€/t Resource]			[€/a]			
								KS	WSO	MVA	KS	WSO	MVA	
Co	3,38	16,7	39,55	0,23	0,25	5,93	€ 20,33	Oxid	€ 0,07	€ 0,34	€ 0,80	€ 4.639	€ 5.093	€ 120.624
Cr	44,6	169,7	570,5	3,01	2,55	85,58	€ 4,40	bulk	€ 0,20	€ 0,75	€ 2,51	€ 13.246	€ 11.200	€ 376.530
Mn	176	736	1653,5	11,88	11,04	248,03	€ 1,04	Oxid	€ 0,18	€ 0,76	€ 1,72	€ 12.343	€ 11.471	€ 257.698
Mo	3,695	24,05	57,3	0,25	0,36	8,60	€ 15,20	bulk	€ 0,06	€ 0,37	€ 0,87	€ 3.791	€ 5.483	€ 130.644
Ni	33,1	140	200,5	2,23	2,10	30,08	€ 13,57	Oxid	€ 0,45	€ 1,90	€ 2,72	€ 30.329	€ 28.507	€ 408.260
Sb	0,4	43,8	30,3	0,03	0,66	4,55	€ 7,10	bulk	€ 0,00	€ 0,31	€ 0,22	€ 192	€ 4.665	€ 32.270
V	20,2	72,5	54,65	1,36	1,09	8,20	€ 9,10	bulk	€ 0,18	€ 0,66	€ 0,50	€ 12.408	€ 9.896	€ 74.597
Zn	1000	4175	3118	67,50	62,63	467,70	€ 1,40	Oxid	€ 1,40	€ 5,85	€ 4,37	€ 94.500	€ 87.675	€ 654.780
Ce	7,15	18,9	45,25	0,483	0,284	6,79	€ 5,14	Oxid	€ 0,04	€ 0,10	€ 0,23	€ 2.480	€ 1.457	€ 34.875
Er	0,206	0,514	4,2315	0,014	0,008	0,63	€ 494,80	bulk	€ 0,10	€ 0,25	€ 2,09	€ 6.880	€ 3.815	€ 314.062
Eu	0,155	0,531	0,9155	0,010	0,008	0,14	€ 627,99	Oxid	€ 0,10	€ 0,33	€ 0,57	€ 6.570	€ 5.002	€ 86.239
Gd	0,506	1,298	2,175	0,034	0,019	0,33	€ 35,40	Oxid	€ 0,02	€ 0,05	€ 0,08	€ 1.209	€ 689	€ 11.548
Ho	0,065	0,162	0,3095	0,004	0,002	0,046	€ 144,15	Oxid	€ 0,01	€ 0,02	€ 0,04	€ 632	€ 350	€ 6.692
La	4,23	12,2	28,75	0,286	0,183	4,313	€ 12,18	Oxid	€ 0,05	€ 0,15	€ 0,35	€ 3.477	€ 2.229	€ 52.523
Lu	0,0213	0,0587	0,149	0,001	0,001	0,022	€ 1.887,79	Oxid	€ 0,04	€ 0,11	€ 0,28	€ 2.714	€ 1.662	€ 42.192
Nd	2,76	6,73	13,94	0,186	0,101	2,091	€ 73,96	Oxid	€ 0,20	€ 0,50	€ 1,03	€ 13.779	€ 7.467	€ 154.657
Pr	0,754	1,94	4,6	0,051	0,029	0,690	€ 59,75	Oxid	€ 0,05	€ 0,12	€ 0,27	€ 3.041	€ 1.739	€ 41.230
Sc	1,35	2,84	2,73	0,091	0,043	0,410	€ 5.480,64	Oxid	€ 7,40	€ 15,57	€ 14,96	€ 499.423	€ 233.475	€ 2.244.322
Sm	0,534	1,269	2,1955	0,036	0,019	0,329	€ 6,85	Oxid	€ 0,00	€ 0,01	€ 0,02	€ 247	€ 130	€ 2.256
Tb	0,075	0,167	0,3955	0,005	0,003	0,059	€ 536,65	Oxid	€ 0,04	€ 0,09	€ 0,21	€ 2.717	€ 1.344	€ 31.837
Y	1,96	7,02	15,18	0,132	0,105	2,277	€ 18,27	Oxid	€ 0,04	€ 0,13	€ 0,28	€ 2.417	€ 1.924	€ 41.598
Summe									€ 10,62	€ 28,35	€ 34,13	€ 717.036	€ 425.273	€ 5.119.433

Metallgehalte von Müllverbrennungsschlacken

Nur kritische Rohstoffe

MVA-Schlacken größtes Ressourcenpotential

Mengenangaben von Wien:

WSO-Asche: 15.000 t/a (Wirbelschichtofen 1-3)

Klärschlamm: 67.500 t/a aus EBS Wien

MVA-Schlacken: 150.000 t/a in Wien

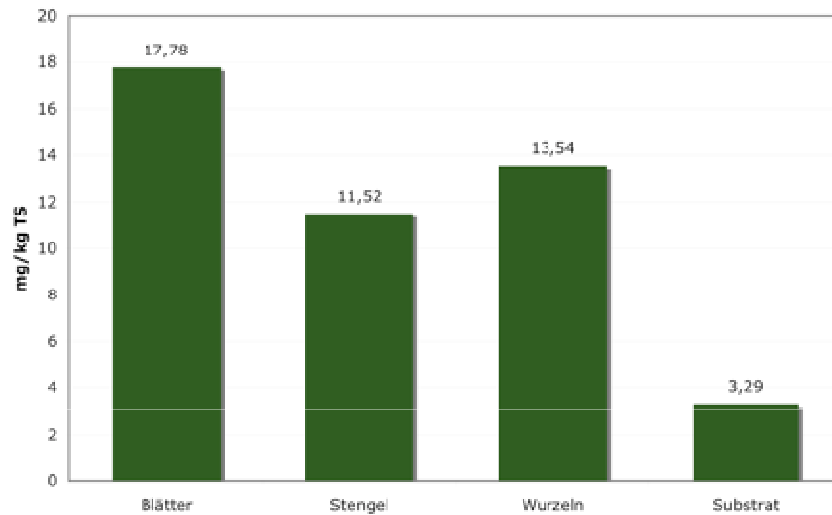
- Analysen getrennt nach Blätter, Stängel, Wurzeln, Trichome (wenn vorhanden), Substrat
- Akkumulationsraten unterschiedlich nach Pflanzenarten und Metallen
- Anreicherung von einigen Metallen, wie Mo, Ni, Zn, Rb in Pflanzen festgestellt
- Konzentrationen einiger seltener Erden in den Pflanzen in der Größenordnung von bis zu mg/kg

Alyssum	Blätter	Stengel	Wurzeln	Substrat
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimon	0,3	0,0	1,0	4,1
Cäsium	0,1	0,1	0,2	1,2
Cer	0,4	0,0	1,0	10,5
Chrom	3,3	1,0	5,7	15,8
Cobalt	2,1	0,2	0,7	2,7
Erbium	<	<	0,03	0,2
Europium	<	<	0,04	0,4
Gadolinium	0,04	<	0,1	0,7
Kupfer	18,9	3,3	39,2	194
Lanthan	0,2	0,0	0,5	5,7
Lithium	1,5	1,0	1,5	5,8
Mangan	134	39	57	151
Molybdän	17,8	11,5	13,5	3,3
Neodym	0,2	0,03	0,4	4,5
Nickel	17,8	7,8	9,6	16,3
Prasäodym	0,1	<	0,1	1,2
Rubidium	27,9	31,5	23,8	45
Samarium	0,05	<	0,1	0,9
Strontium	37,6	21,5	39,5	177
Thallium	<	0,1	0,2	0,2
Vanadium	0,7	0,03	2,1	7,8
Yttrium	0,1	<	0,2	2,0
Zink	266	388	419	515
Zinn	0,7	0,05	2,1	9,4

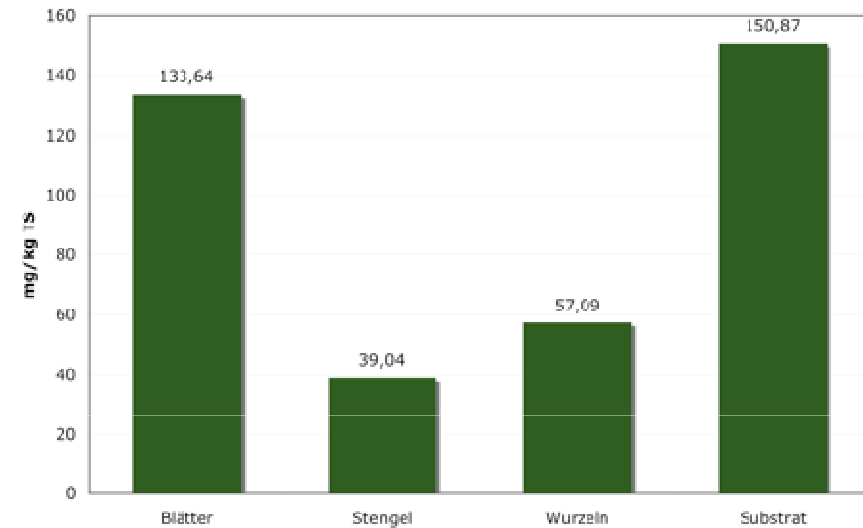
Ergebnisse - *Alyssum murale*

Akkumulation nach Organen (Klärschlamm)

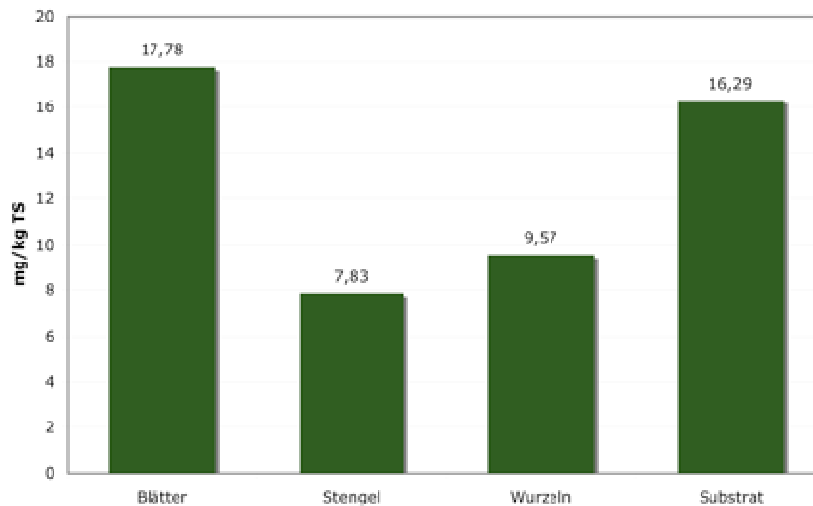
Alyssum - Akkumulationsleistung für Molybdän



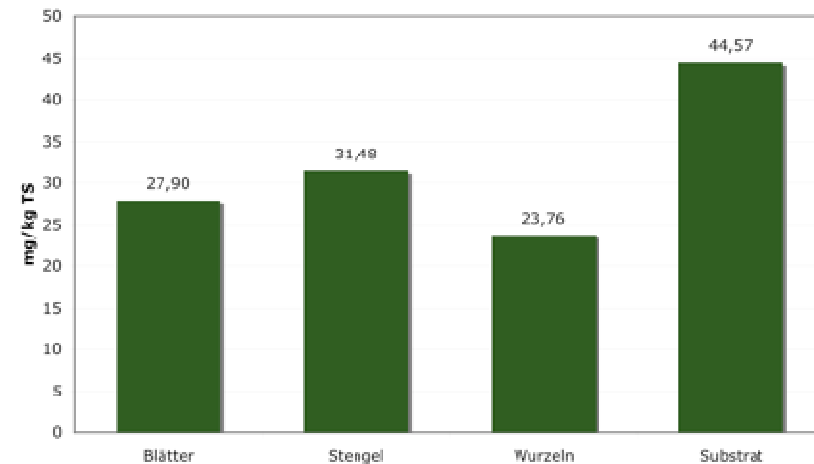
Alyssum - Akkumulationsleistung für Mangan

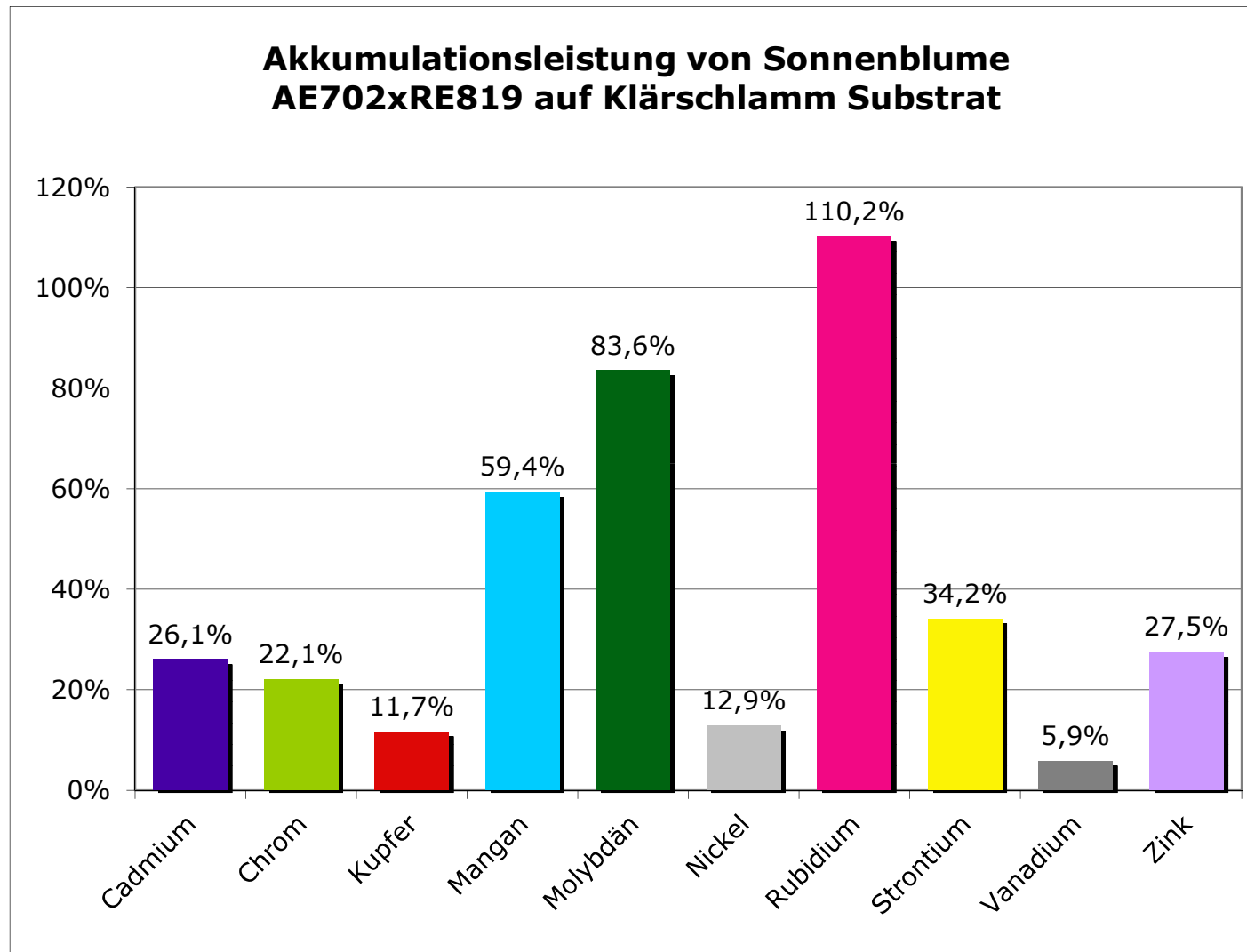


Alyssum - Akkumulationsleistung für Nickel

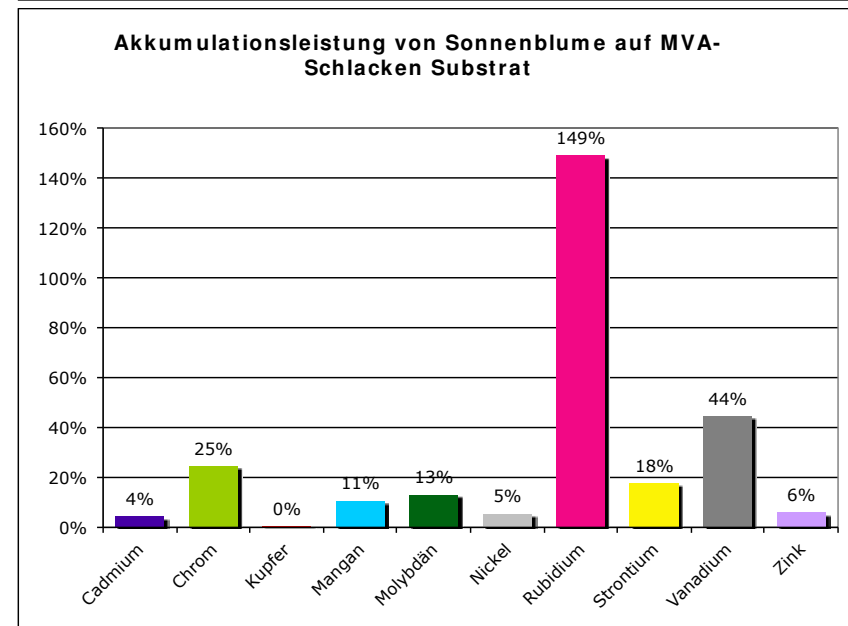
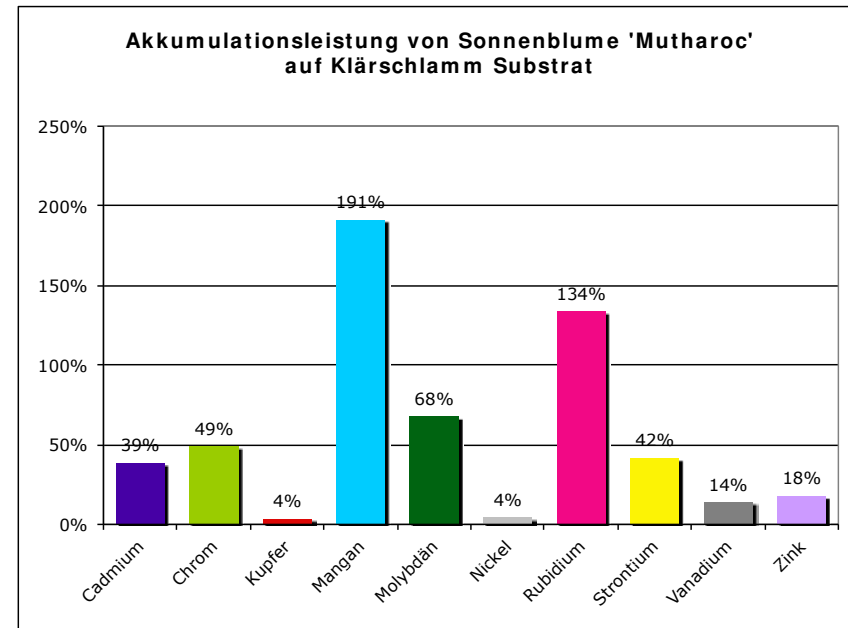


Alyssum - Akkumulationsleistung für Rubidium

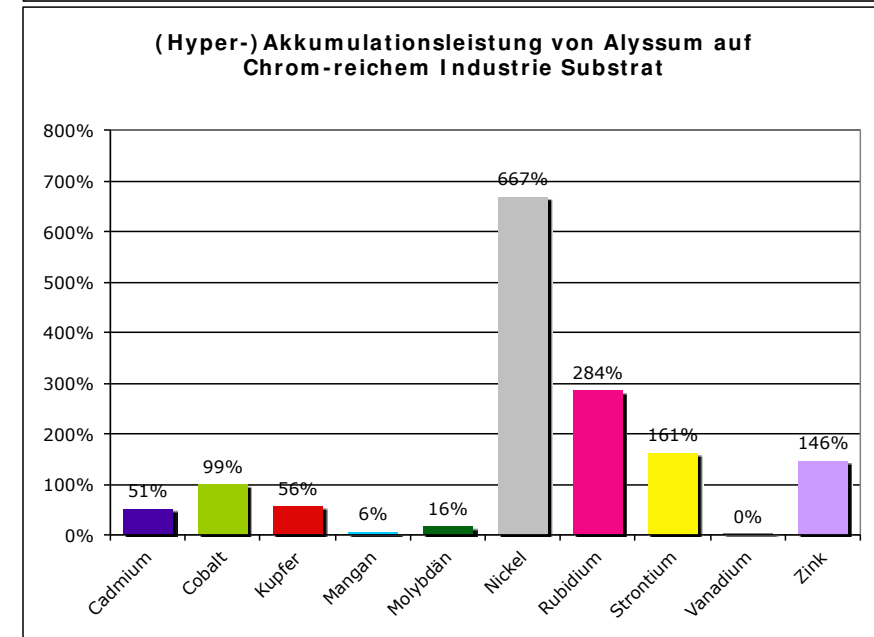
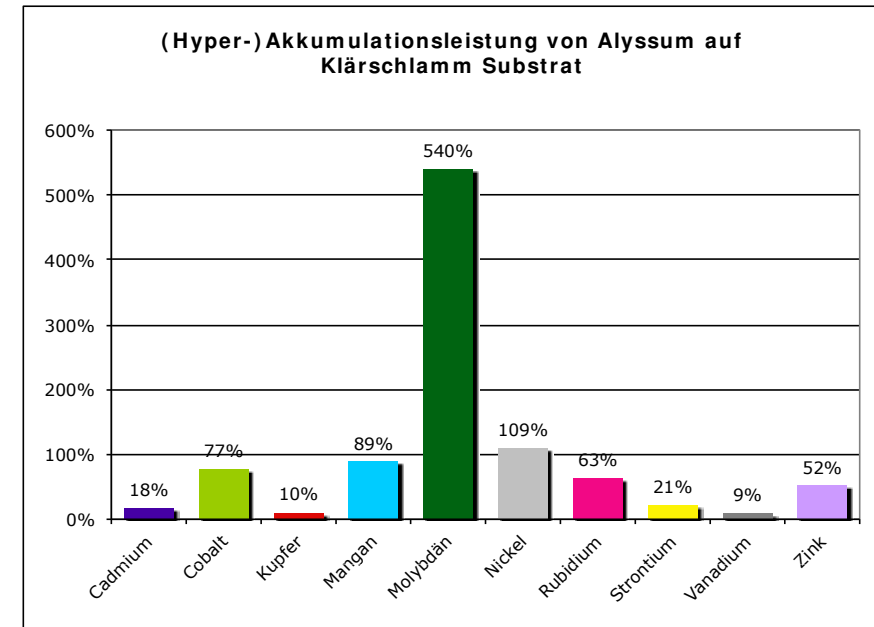




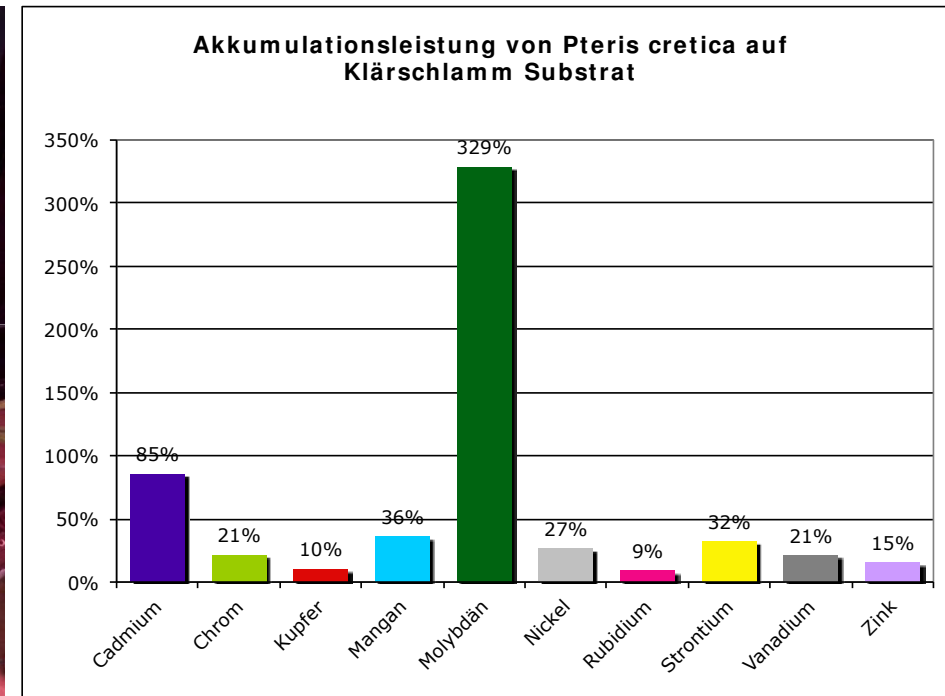
Ergebnisse - Sonnenblume relative Akkumulation



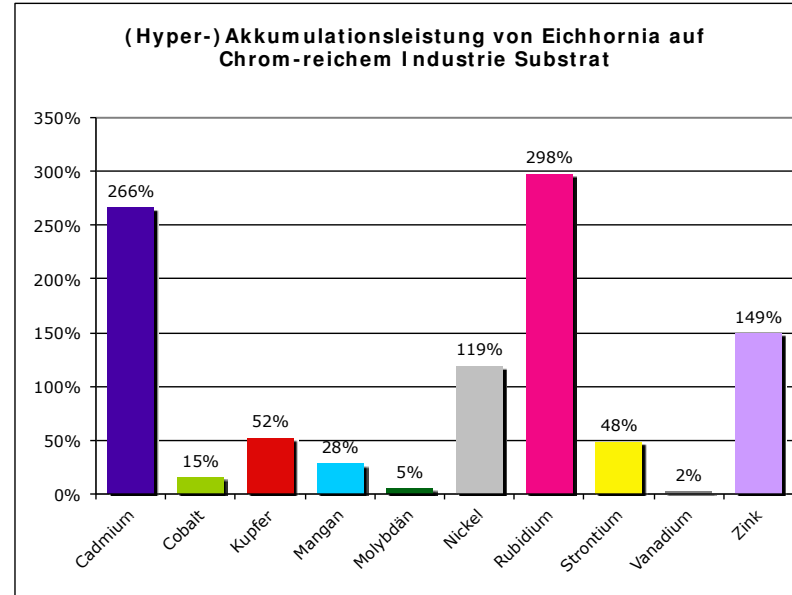
Ergebnisse - *Alyssum murale* relative Akkumulation



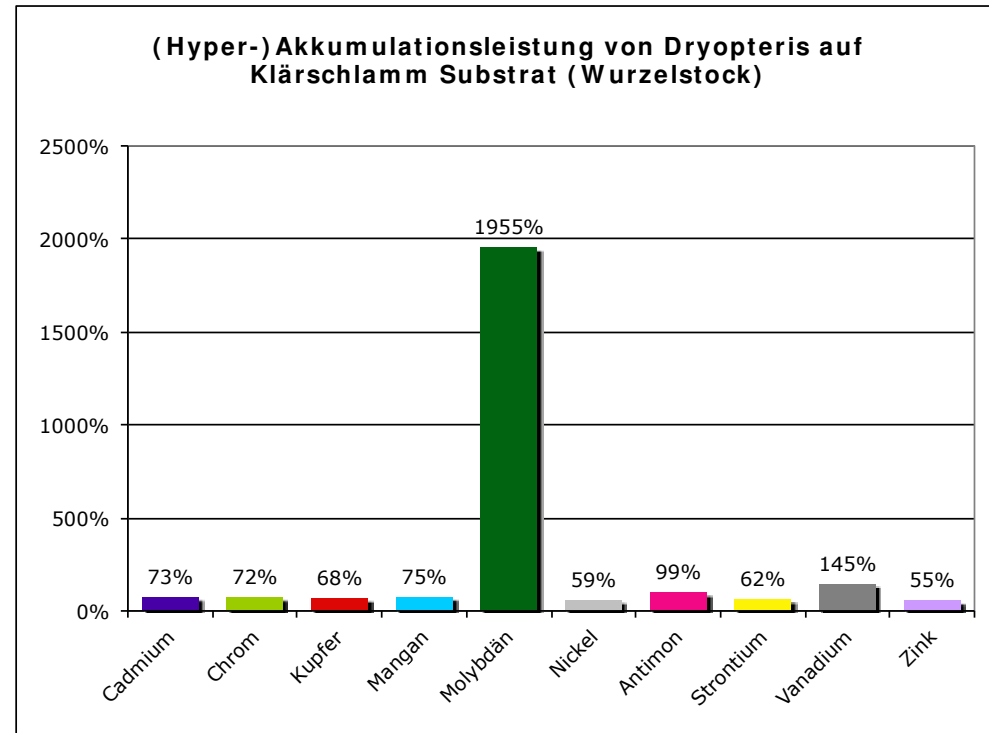
Ergebnisse - *Pteris cretica* relative Akkumulation - Wurzel



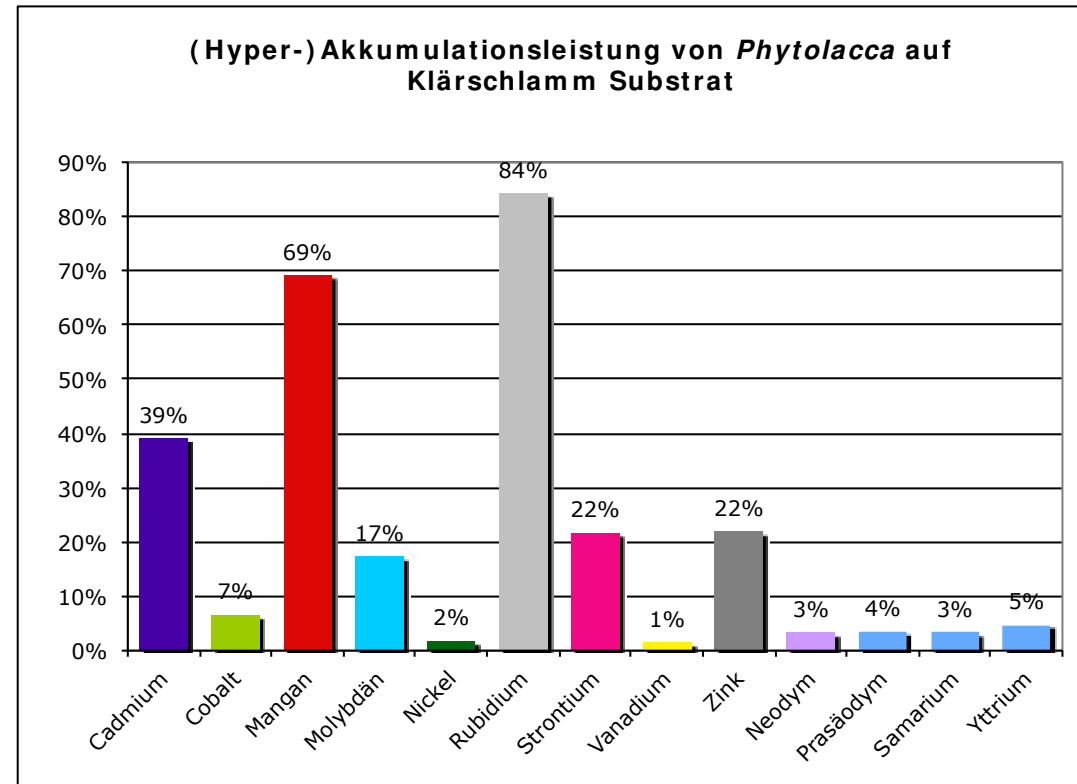
Ergebnisse – *Eichhornia crassipes* relative Akkumulation



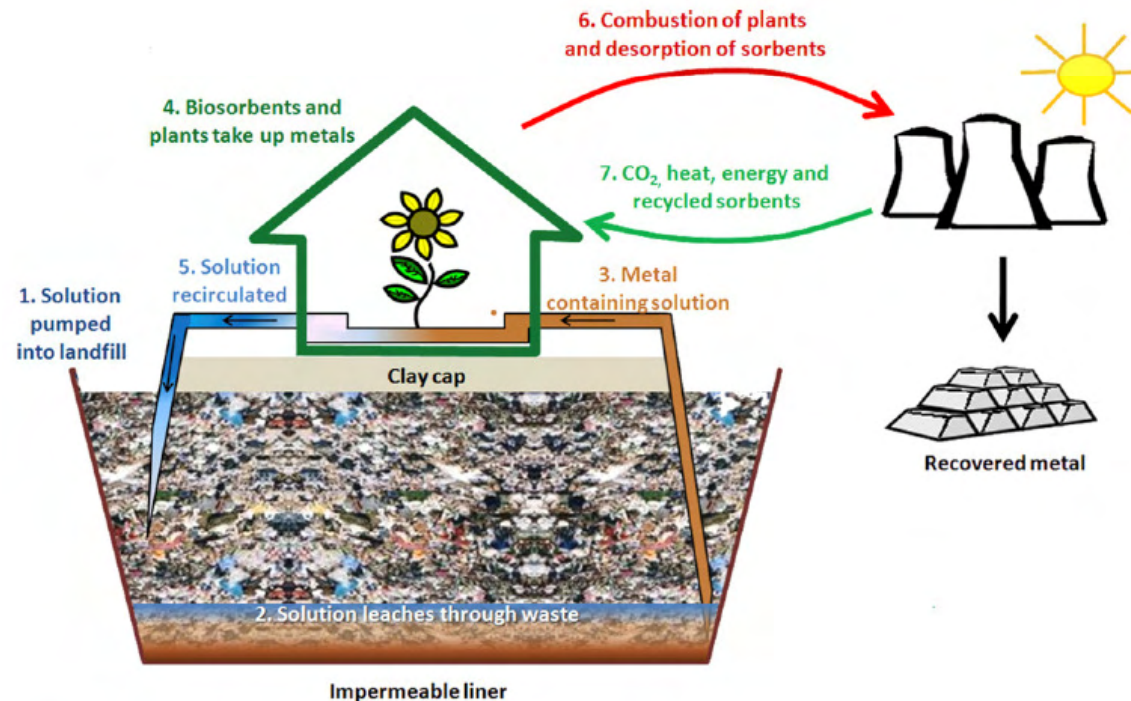
Ergebnisse - *Dryopteris filix-mas* relative Akkumulation



Ergebnisse - *Phytolacca americana* relative Akkumulation



- Großes Interesse von Stakeholdern
- Nachfolgeprojekt mit MVA-Schlacken und 2 Jahres Feldversuch auf Deponie Rautenweg
- Partner: BOKU, MA48, Stadt Wien, Brantner GmbH, Uni Wien, Uni Innsbruck, TU Freiberg



Quelle: J.R. Dodson et al.,
 Chemical Engineering and
 Processing 51 (2012) 69–78

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



DI MONIKA I. KISSER
UMWELT UND ABFALLBERATUNG
TECHNISCHES BÜRO FÜR TECHNISCHE CHEMIE



**alchemy
nova**

*institut für innovative
phytochemie &
kreislaufwirtschaft*

Technisches Büro MJKISSER, Hauptstraße 118, 3001
Mauerbach, Tel: 0043/1/9790028, office@mjkisser.at,
www.mjkisser.at

alchemy-nova - Institut für Innovative Phytochemie und
Kreislaufwirtschaft, Baumgartenstraße 93, 1140 Wien
Tel: 0043/1/8101000, office@alchemy-nova.net,
www.alchemy-nova.net



FFG

bm 