

Herstellung von Rekultivierungssubstraten unter Einsatz von Kraftwerksrückständen

Zingk, M., Braunisch, F.¹

Einleitung

Die Gesellschaft für die Aufbereitung und Verwertung von Reststoffen mbH (GFR) beschäftigt sich seit rund 20 Jahren mit der Verwertung von Kraftwerksrückständen (KWR). Bei den von der GFR verwerteten Stoffen handelt es sich primär um Rückstände aus Steinkohlekraftwerken, die aus einem Gemisch von Aschen und Rauchgasentschwefelungsprodukten bestehen. Zur Aufbereitung und Verwertung von jährlich mehreren 100.000 Tonnen betreibt die GFR u.a. eine eigene Verfüllmaßnahme in Lüthorst/Niedersachsen, darüber hinaus werden diese Stoffe auch als Versatzmaterial zur Stabilisierung untertägiger Hohlräume, zur Deponieprofilierung oder als Bau- und Sekundärrohstoff genutzt.

Mit der Herstellung von Deponie-Rekultivierungssubstraten unter Einsatz von KWR soll ein weiterer Verwertungsweg für diese Stoffe eröffnet werden. Die von der Korngröße her schluffigen Kraftwerksrückstände können einen wesentlichen Beitrag zur bodentechnologischen Verbesserung natürlicher Bodensubstrate leisten. Insbesondere das Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser, aber auch das Einbauverhalten kann durch den Einsatz von Kraftwerksrückständen erheblich verbessert werden.

Am Standort Lüthorst hat die GFR daher gemeinsam mit der Universität Kassel (Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz, Prof. Schmeisky) eine Großlysimeteranlage errichtet, um Funktionsfähigkeit und Umweltrelevanz eines unter Einsatz von Kraftwerksrückständen hergestellten Rekultivierungssubstrates wissenschaftlich absichern zu können. Nach Abschluss der Erprobung ist ein Einsatz derartiger Substrate an einer Vielzahl von Deponien vorgesehen. Dies dient den Zielen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, insbesondere der Schonung natürlicher Ressourcen, und nicht zuletzt auch den immer bedeutungsvolleren ökonomischen Belangen.

Rechtliche Grundlagen

Die für einen Einsatz von Reku-Substraten auf oberirdischen Deponien relevanten gesetzlichen Regelwerke sind neben der Deponieverordnung (DepV 2002) die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999 für DK 0) sowie die Klärschlamm- und die Bioabfallverordnung (BioAbfV 1998, AbfKlärV 1992).

Gemäß DepV sind zur Herstellung von Reku-Substraten Bodenmaterial sowie Gemische von Böden und Abfällen zulässig, wenn diese die in den jeweils relevanten Verordnungen genannten stofflichen Qualitätsanforderungen erfüllen. Die maßgeblichen Feststoff- und Eluatwerte sind in Anhang 5 DepV aufgelistet. Im Einzelfall sind Überschreitungen der festgesetzten Grenzwerte zulässig, insbesondere bei Reku-Substraten mit großer Mächtigkeit und bei natürlich oder siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten in dem jeweils vorgesehenen Einsatzgebiet. Neben den stofflichen Anforderungen schreibt die DepV noch vor, dass Reku-Substrate einen möglichst hohen Vorrat an pflanzenverfügbarem Bodenwasser sowie eine ausreichende Luftkapazität aufweisen müssen. Darüber hinaus werden weitere funktionale Anforderungen gestellt (betrifft vornehmlich Schutzfunktionen).

¹ Dr. Michael Zingk
Gesellschaft für die Aufbereitung und Verwertung von Reststoffen mbH (GFR), NL Hannover, Lohweg 25,
30559 Hannover (zingk.michael@gfr-mbh.com)
Dipl.-Ing. agr. Frank Braunisch
Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz, Nordbahnhofstraße 1a,
37213 Witzenhausen (braunisch@uni-kassel.de)

Gemische von Böden und Kraftwerksrückständen können nach jetzigem Kenntnisstand die an Reku-Substrate gesetzten stofflichen und funktionalen Anforderungen vom Grundsatz her erfüllen oder deren Erfüllung überhaupt erst ermöglichen.

Stoffliche Eigenschaften

Bei den hier eingesetzten Kraftwerksrückständen (KWR) handelt es sich vornehmlich um Kesselsande und Sprühabsorptionsprodukte (Stabilisate), einem Gemisch aus Steinkohle-Flugaschen und Rückständen aus der Rauchgasentschwefelung. Stabilisate haben einen Flugascheanteil von 30 bis 70 Prozent und sind von der Körnung her als Schluffe anzusprechen.

Die in den Stabilisaten enthaltenen Aschen bestehen hauptsächlich aus Silicium-, Aluminium- und Eisenoxiden und reagieren in Gegenwart von Kalk und Wasser puzzolanisch. Bei den Entschwefelungsprodukten handelt es sich um Calciumsulfid-Halbhydrate, Calciumsulfat-Halbhydrate und freiem Portlandit. Im Gemisch mit Böden können insbesondere die Stabilisate einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität sowie zur Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften leisten.

Die nach DepV oder BBodSchV zulässigen Metallgehalte bzw. Eluat-Konzentrationen werden von den meisten Stabilisaten (kraftwerks- bzw. kohleabhängig) bereits im unvermischten Zustand eingehalten. Sie können daher bei einem Einsatz in Reku-Substraten unbeachtet bleiben, erst recht alle organischen Schadstoffe. Die im Originalzustand noch verhältnismäßig hohen Werte für pH, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat sprechen ebenfalls nicht gegen den hier vorgesehenen Verwertungsweg, da Reku-Substrate gemäß DepV als Ganzes betrachtet werden können und nicht zuletzt auch Ausnahmeregelungen statthaft sind.

Untersuchungskonzept

Im Rahmen der Verfüllmaßnahme des ehemaligen Gipstagebaus in Lüthorst/Niedersachsen sollen unter Einsatz von Kraftwerksrückständen hergestellte Reku-Schichten anhand eines mehrjährigen Freilandversuchs in Großlysimetern wissenschaftlich untersucht werden. Im Vorfeld sind schon auf unabgedeckten Rückstandsflächen, die zudem verdichtet eingebaut wurden, 104 Pflanzenarten (davon 25 Gehölze) festgestellt worden. Dies sprach für eine grundsätzliche Kulturfähigkeit der dort verfüllten Kraftwerksrückstände.

Der am Standort vorhandene Unterboden war ebenso wie der Oberboden vor Beginn des Gipstagebaues abgeschoben und zwischengelagert worden. Beide Böden eignen sich aufgrund ihres hohen Gehaltes an Ton, Steinen und Blöcken nicht als Reku-Substrat. Daher wurden die oben beschriebenen Kraftwerksrückstände in verschiedenen Verhältnissen zugegeben und mit einer Hochleistungsfräse durchmischt.

Ende 2004 ist mit dem Aufbau des aus 6 Großlysimetern bestehenden Testfeldes begonnen worden. Alle Varianten wurden mit einer geringmächtigen Oberbodenschicht überdeckt, um einen Austrag des Reku-Substrates durch Erosion zu vermeiden. Die Flächen wurden sofort nach der Fertigstellung mit Gräsern eingesät und mit Weiden (*Salix caprea*) und Eichen (*Quercus robur*) bepflanzt. Ziel ist die Etablierung einer mehrschichtigen, verdunstungsstarken Vegetationsschicht. Neben den geländeklimatologischen Messgeräten direkt auf den Versuchsfeldern erfolgte in unmittelbarer Nähe die Einrichtung zusätzlicher Messfelder zur Niederschlagserfassung.

Im März 2005 sind die Lysimeter dann mit Wasser aufgesättigt worden. Neben dem Wasserhaushalt und der Kulturfähigkeit der eingesetzten Abdeckschichten soll das dort angelegte Gehölzfeld mit seiner inzwischen geschlossenen Gras- und Krautvegetation über mehrere Jahre im Detail untersucht werden, speziell hinsichtlich des Wurzelwachstums der Gehölze.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Körnungsanalyse (Tab. 1) zeigen bei den Gemischen eine im Verhältnis zu dem Ausgangsboden deutliche Verschiebung in Richtung auf einen höheren Sandanteil zu Lasten des Tonanteils. Die Schluff-Fraktion bleibt nahezu unverändert, weil die schluffigen Stabilisate den durch die Zumischung bedingten Verdünnungseffekt zu kompensieren vermögen. Allerdings spiegelt sich das Mischungsverhältnis (25 bzw. 50 % Stabilisatanteil) nicht in vollem Umfang in der Korngrößenverteilung der Gemische mit höherem Stabilisatanteil wider. Womöglich finden hier vermehrt puzzolanische Reaktionen statt, die dann zu Lasten der Schluff-Fraktion gehen.

Tabelle 1: Korngrößenverteilung des Bodens und der Boden-/KWR-Gemische.

	Sand %	Schluff %	Ton %	Bodenart	
Ausgangsboden	13,66	51,33	35,02	Tu3	mittel-schluffiger Ton
55% Unterboden + 25% Stabilisat + 20% Kesselsand	27,24	52,11	20,65	Lu	schluffiger Lehm
30% Unterboden + 50% Stabilisat + 20% Kesselsand	24,54	57,11	18,36	Lu	schluffiger Lehm

Bezüglich der Parameter Feldkapazität (FK) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) wurde der tonige Unterboden durch die Zugabe der KWR aber in beiden Fällen deutlich verbessert. Die folgende Abbildung 1 zeigt eine Erhöhung der nFK um bis zu 11 Vol.-% durch Zumischung von 25% Stabilisat und 20% Kesselsand. Dies eröffnet die Möglichkeit, im Zuge der anstehenden Rekultivierung auf den am Standort vorhandenen (Ton-)Boden zurückgreifen zu können. Die auf den ersten Blick etwas geringere Erhöhung der nFK bei höherem KWR-Gehalten auf knapp 14 % steht demgegenüber nicht in Einklang mit der Korngrößenverteilung dieses Gemisches und ist daher auch nicht ganz plausibel. Die Werte werden derzeit analytisch überprüft. Erste Ergebnisse sprechen dafür, dass auch hier eine nFK von gut 18 % erwartet werden kann.

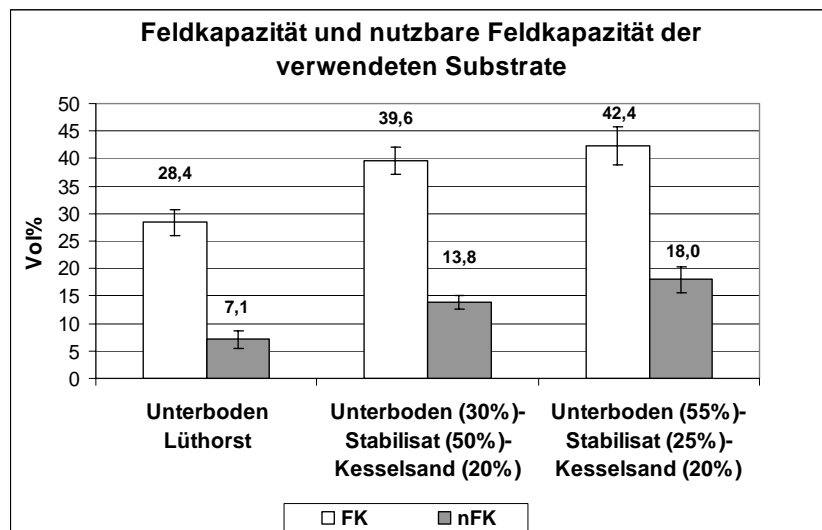


Abbildung 1: Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität des Unterbodens und der beiden Gemische.

Vegetationsaufnahmen und Beprobungen der Biomassen erfolgten bislang Ende Juli 2005 und 2006. Schon im ersten Versuchsjahr ist ein geschlossener, wüchsiger Bestand etabliert worden. Die geernteten Biomassen waren mit 60-70 dt TS/ha hoch. Im August 2006 fanden Aufgrabungen statt, um die Durchwurzelung der Substrate zu dokumentieren und um auszuschießen, dass der Übergang Oberboden/Kraftwerksrückstandsgemisch eine Wurzelsperrschicht darstellt (vgl. Abb. 2). Alle Varianten sind jedoch gut durchwurzelt und der Übergang

zum Gemisch stellte keine Wurzelsperre dar. Deutlich ist, dass bis 60 cm Tiefe eine hohe Wurzelintensität vorliegt, die dann stark abnimmt. Disteln und Ampfer bilden schon jetzt Wurzeln bis zu 150 cm Tiefe aus.

Die im April 2005 gepflanzten Weiden (*Salix caprea*) und Birken (*Betula pendula*) waren verschult mit einer Wuchshöhe von 30-50 cm. Die Eichen (*Quercus robur*) waren unverschulte 2-jährige Sämlinge mit einer Wuchshöhe von 50-80 cm. Speziell bei den Eichen sollte die Pfahlwurzel noch intakt sein, daher wurde hier auf unverschulte Forstware zurückgegriffen. Die Gehölze erreichen schon nach 15 Monaten Durchwurzelungstiefen von größer 100 cm.

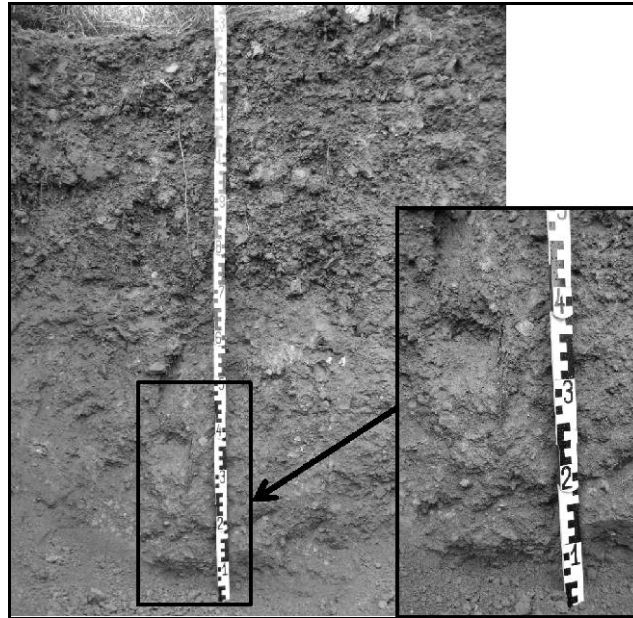


Abbildung 2: Profil der Variante mit 50% Stabilisat 15 Monate nach Ansaat und Bepflanzung mit Gehölzen.

Zur Ermittlung der KWR-spezifischen Evapotranspirations-Effekte wurde neben den Kraftwerksrückstandsgemischen als Referenz ein naturbelassener Rekultivierungsboden aus der Höxterraue (mittel-schluffiger Sand) mit untersucht.

Die Niederschläge (langjähriges Mittel ca. 750 mm/a) sind bei allen Varianten bereits von Beginn an um die 80% verdunstet worden (vgl. Tabelle 2). Für die Zukunft kann bei weiter zunehmender Durchwurzelungstiefe und -intensität sowie durch einen zunehmenden Einfluss der Gehölze infolge verstärkter Interzeption noch von einer gewissen Steigerung der Verdunstungsleistung ausgegangen werden.

Tabelle 2: Sickerwasseranfall und Verdunstungsleistung der unterschiedlichen Varianten in Prozent des Niederschlags.

Niederschlag (N): (kumuliert von April `05 bis Sept. `06)	1.273,5 mm	Sickerwasser in mm	Verdunstung in % des N
Unterboden (30%)- Stabilisat (50%)- Kesselsand (20%)		261,4	79,5
Unterboden (30%)- Stabilisat (50%)- Kesselsand (20%)		274,5	78,4
Unterboden (55%)- Stabilisat (25%)- Kesselsand (20%)		289,6	77,3
Unterboden (55%)- Stabilisat (25%)- Kesselsand (20%)		296,6	76,7
Höxterboden		269,1	78,9
Höxterboden		254,9	80,0

Die Ergebnisse der Eluat-Untersuchungen nach DIN 38414-S4 (DEV S4) für die Boden- / Kraftwerksrückstandsvarianten sind in Tabelle 3 dargestellt. Neben der Ausgangssituation im Oktober 2004 wurden im Januar 2007 bei beiden Varianten Proben aus den Tiefen 50-75 cm und 75-100 cm gezogen und untersucht. Es zeigt sich deutlich, dass bezüglich der Schwermetallkonzentrationen keine Überschreitungen der Eluat-Zuordnungswerte nach DepV (2002) zu erwarten sind.

Überschreitungen wurden hingegen bei den Parametern Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat festgestellt, allerdings hat der Chloridgehalt im Verhältnis zu seinem Ausgangswert bereits wieder erkennbar abgenommen.

Der hohe Sulfatgehalt und damit ebenso die hohe Leitfähigkeit resultieren hier eindeutig aus den sehr hohen Sulfatgehalten des eingesetzten Unterbodens, wie die analysierten Feststoffgehalte belegen (siehe Tabelle 4). Dieser Oberboden wurde zu Beginn des ehemaligen Gipstagebaues abgeschoben und enthält entsprechend seinem Ausgangsgestein sehr hohe Calcium- und Sulfatgehalte und auch Chlorid in erhöhten Konzentrationen. Können diese am Standort Lüthorst naturbedingt erhöhten Hintergrundgehalte unberücksichtigt bleiben, ist auch bei KWR-Anteilen von 70 % resp. 50 % Stabilisat zu erwarten, dass die Vorgaben der DepV mit Ausnahme des Parameters Chlorid (und korrespondierend Leitfähigkeit) im Allgemeinen eingehalten werden.

Tabelle 3: Ergebnisse der Eluat-Untersuchungen nach DEV S 4 (1:10-Elution)

Variante		Unterboden (30%)- Stabilisat (50%)- Kesselsand (20%)			Unterboden (55%)- Stabilisat (25%)- Kesselsand (20%)			DepV Anh. 5
		Oktober 2004	Januar 2007 50-75cm	Januar 2007 75-100cm	Oktober 2004	Januar 2007 50-75cm	Januar 2007 75-100cm	
Parameter								
pH-Wert		9,2	8,4	8,3	8,2	8,0	7,6	6,5 – 9
Leitfähigkeit	µS/cm	1.500	1.800	2.200	2.300	2.100	2.100	500
Chlorid	mg/l	18	20	20	65	4	46	10
Sulfat	mg/l	650	1.100	1.400	1.400	1.400	1.300	50
Arsen	mg/l	0,006	0,008	0,009	0,011	0,008	0,005	0,01
Blei	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,04
Cadmium	mg/l	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,002
Chrom(ges)	mg/l	<0,005	0,009	0,009	<0,005	<0,005	0,006	0,03
Kupfer	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
Nickel	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
Quecksilber	mg/l	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002
Zink	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,008	<0,005	0,1

Tabelle 4: Feststoffgehalte der eingesetzten Materialien bei Versuchsbeginn

Parameter		Oberboden Lüthorst	Unterboden Lüthorst	Unterboden +25% Stabilisat+ 20% Kesselsand	Unterboden +50% Stabilisat+ 20% Kesselsand	Stabilisat Lüthorst	Kesselsand	Höxterboden
pH-Wert		6,4	7,8	10,9	11,5	10,9	9,3	6,2
Leitfähigkeit	µS/cm	285	2.290	1.675	1.531	5.710	695	223
Kalium	mg/kg TS	3.561	2.017	1.204	1.269	2.695	252	1.199
Magnesium	mg/kg TS	7.650	19.557	13.333	8.835	5.839	1.239	4.838
Calcium	mg/kg TS	1.712	64.320	71.805	86.506	143.125	3.808	1.073
Chlorid	mg/kg TS	50	47	474	564	13.758	116	52
Sulfat	mg/kg TS	881	13.935	8.456	5.346	4.928	3.226	807

Die im Sickerwasser nachgewiesenen Stoffkonzentrationen bestätigen die Ergebnisse der Eluat-Untersuchungen. Die Konzentrationen von Sulfat, Chlorid sowie die elektrische Leitfähigkeit sind ebenfalls erhöht. Für die Chloridkonzentrationen zeigen die Analysenergebnisse seit Versuchsbeginn einen stetigen Rückgang.

Zusammenfassung

Am Standort Lüthorst wurde eine Großlysimeter-Anlage errichtet, um Funktionsfähigkeit und Umweltrelevanz eines unter Einsatz bestimmter Kraftwerksrückstände (KWR) hergestellten Rekultivierungssubstrates wissenschaftlich untersuchen zu können.

Bezüglich der Parameter Feldkapazität (FK) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) wurde der am Standort vorhandene tonige Unterboden durch die Zugabe der KWR derart verbessert, dass er im Rahmen der anstehenden Rekultivierung des mit KWR verfüllten Gips-Tagebaus verwertet werden kann.

Vegetationsaufnahmen und Beprobungen der Biomassen zeigen eine hohe Biomasseproduktion und eine gute Durchwurzelung der Substrate. Der Übergang Oberboden / Kraftwerksrückstands-Gemisch stellt keine Wurzelsperrschicht dar.

Hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der mit KWR hergestellten Reku-Schicht wurde bereits zu Beginn der Untersuchungen ein Sickerwasseranteil festgestellt, wie er auch unter Tondichtungen mit aufliegender 1 m Reku-Schicht auftreten kann. Eine weitere Reduzierung des Sickerwasseranteils ist zudem zu erwarten.

Die Ergebnisse der Eluat-Untersuchungen zeigen, dass bezüglich der Schwermetallkonzentrationen keine Überschreitungen der Zuordnungswerte nach DepV (2002) zu erwarten sind. Diese wurden nur bei den Parametern Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat festgestellt.

Der hohe Sulfatgehalt und damit ebenso die hohe Leitfähigkeit resultieren hier nachweislich aus den sehr hohen naturbedingten Sulfatgehalten des eingesetzten Unterbodens. Können diese unberücksichtigt bleiben, ist auch bei hohen KWR-Anteilen zu erwarten, dass die Vorgaben der DepV mit Ausnahme des Parameters Chlorid (und korrespondierend Leitfähigkeit) eingehalten werden. Eine Genehmigungsfähigkeit für derart hergestellte Reku-Schichten ist also grundsätzlich gegeben.

Literatur

AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992, BGBl. I, S. 912, mit späterer Änderung.

BioAbfV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung) vom 21. September 1998, BGBl. I, S. 2955, mit späterer Änderung.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Bundes-Bodenschutzverordnung) vom 12. Juli 1999, BGBl. I, S. 1554

Bodenkundliche Kartieranleitung (2005): AG Boden, 5. Aufl., Hannover 2005, 438 Seiten.

DepV (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung) vom 24.07.2002, BGBl. I, S.2807, mit späterer Änderung.

DVWK (1980): Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft 114: 1-52.

Grotheer, J. (2000): Umweltverträglichkeit von Kraftwerksreststoffen bei ihrem Einsatz im Landschaftsbau. Eco Regio, 3, 247 S. Göttingen.

Podlacha, G. (1999): Untersuchungen zur Substratandeckung mit geringen Schichtstärken aus Bodenaushub-Wirbelschichtaschen-Gemischen und ihrer Begrünung. *Ökologie und Umweltsicherung* 16/1999, Universität - Gesamthochschule Kassel.

Scheer, T. (2001): Untersuchungen zur Nutzbarkeit aufbereiteter Salzschlacke der Sekundäraluminium-Industrie als Rekultivierungsmaterial einer Kali-Rückstandshalde. *Ökologie und Umweltsicherung* 20/2001, Universität - Gesamthochschule Kassel.

Egloffstein, Th. und G. Burkhardt (2002): Wissenschaftliche und ingenieurmäßige Bemessung contra starre Anforderungen – fachtechnische Anmerkungen und Alternativen jenseits der „Gleichwertigkeit“ nach DepV. *Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis*, Bd. 128, 2002. Erich Schmidt Verlag, Berlin.