

Hanglysimeterstudie zur Wasser- und Stoffdynamik einer 2-Schicht-Bodenabdeckung für Halden des Erzbergbaus

D. KNOCHE, A. SCHRAMM und R. MARSKI

Zusammenfassung

Als angemessene Strategie zur sicheren Langzeitverwahrung gering bis mäßig radioaktiv und schwermetallkontaminierter Abraumphalden des ostdeutschen Uranerzbergbaus wird die Bodenabdeckung angesehen. Die dabei für den Standort Aue-Schlema favorisierte 2-Schicht-Abdeckung besteht aus einer mäßig verdichteten 80 cm mächtigen Lehmschicht und einer 20 cm starken Rekultivierungsdeckschicht aus Kompost und Mineralboden (50/50 Vol.-%). In einer 6jährigen Hanglysimeterstudie konnte gezeigt werden, dass mit Etablierung einer Grünlandvegetation der Oberflächenabfluss 5 % des Niederschlages nicht überschreitet. Die Tiefensickerung reduzierte sich auf 22 % (SE-Exposition) bzw. 32 % (NE-Exposition), während sie im Falle nicht abgedeckter Halden bis zu 58 % betrug. Die hydrologische Wirksamkeit des Abdecksystems wurde entscheidend durch Niederschlagshöhe und Transpirationsrate bestimmt. Insbesondere in niederschlagsarmen Jahren mit vorwiegenden Sommerniederschlägen und hoher Evapotranspiration erwies sich die Abdeckung als vorteilhaft. Unmittelbar nach Einbau unterlag das Abdecksystem einer erheblichen geogen bedingten Entsalzung bzw. Stoffauswaschung insb. von Ca, Mg, K, Cl und SO₄. Andererseits überschreiten die Konzentrationen von Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, U, ²²⁶Ra, AOX und PAH im Oberflächen- und Sickerwasser zu keinem Zeitpunkt die Trinkwasservorsorgewerte. Insofern ist das Abdecksystem als umweltverträglich einzustufen.

Abstract

As an adequate rehabilitation strategy for less radioactive and heavy metal contaminated waste rock dumps of uranium mining in Eastern Germany a soil cover

system with 0.8 m compacted loam sub-layer and 0.2 m toplayer of compost and mineral soil (vol. 50 % / vol. 50 %) was suggested.

Within a 6 year lysimeter study it could be shown, that after establishing permanent grassland surface run-off and lateral water fluxes do not exceed 5 % of precipitation. Moreover, depending on the exposition, water infiltration into the waste rock dump was reduced to 22 % of annual precipitation (SE slope) and 32 % (NE slope), whereas it reached up to 58% at uncovered dumps. The hydrology of the covering gets governed by precipitation and transpiration of the vegetation. Thus, the cover system is quite advantageous under low precipitation conditions with predominating rainfall in the growing season and a high potential evapotranspiration. Soon after installation, a strong desalinization of the cover occurred, esp. leaching of Ca, Mg, K, Cl and SO₄. On the other hand, the concentrations of Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, U, ²²⁶Ra, AOX and PAH in runoff and seepage water did not exceed drinking water quality standards, so that the covering was environment-compatible.

1. Einleitung

Durch den Uranerzbergbau entstanden im Mittleren Erzgebirge zwischen 1949 und 1990 etwa 40 Abraumphalden mit rund 350 ha Aufstandsfläche, die im unverwahrten Zustand eine nicht zu unterschätzende Umweltbelastung darstellen (GATZWEILER und MAGER, 1995; HAGEN, 1999). Als angemessene Sanierungslösung für minder radioaktiv- und schwermetallkontaminierten Abraumphalden bietet sich nach komplexer Risikobewertung und Kosten-/Nutzenanalyse die Mineralbodenabdeckung an. Dabei sollen die profilierten Böschungen zwecks Mi-

nimierung der Strahlenexposition zunächst mit verdichtetem, lehmigem Unterboden des Rotliegenden (80 cm) überzogen werden. Anschließend erfolgt der Auftrag eines Rekultivierungssubstrats (20 cm), welches aus volumengleichen Anteilen kompostierter Reststoffe und Mineralboden besteht und in lockerer Lagerung die Begrünung stimulieren soll. Durch die wasserspeichernde Abdeckung soll mit Etablierung einer verdunstungsintensiven Vegetation die Sickerwasserinfiltration in den Haldenkörper minimiert werden (JAKUBICK et al., 2003).

Zwar konnte die Standsicherheit der Abdeckung nachgewiesen werden, offen blieb jedoch zunächst, ob bei Hangneigungen bis zu 1:2,5 für die Böschungstabilität kritische Oberflächen- und Lateralabflüsse auftreten können. Ebenso war unklar, inwieweit sich mit einer Bodenabdeckung die Wasserinfiltration des Haldenkörpers und mit ihr die Stoffauswaschung verringern lässt. Auch musste ausgeschlossen werden, dass es durch den Bodenauftrag selbst zu einer unerwünschten Stoffmobilisierung kommt. Daher wurden die hydrologischen und chemischen Eigenschaften des 2-Schicht-Abdecksystems sowie einer reinen Mineralboden-Variante in einem 6jährigen Hanglysimeterversuch (Jan 1998 - Dez 2003) untersucht.

2. Standort und Methoden

Im Sommer 1997 wurde am Standort Schlema-Alberoda (WISMUT GmbH, Niederlassung Aue) auf der Halde 371/II eine ca. 1 ha große Haldenböschungsfäche auf 60 m (NE-Exposition) bzw. 20 m (SE-Exposition) Breite und je 25 m Länge im Verhältnis 1:2,5 profiliert, anschließend mit 80 cm lehmigem Mineralboden überzogen (Tabelle 1). Dessen Einbau erfolgte nach bautechnischen

Autoren: Dr. Dirk KNOCHE, Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Brauhausweg 2, D-03238 FINSTERWALDE, Andrea SCHRAMM und Reinhold MARSKI, WISMUT GmbH, Jagdschänkenstr. 29, D-09117 CHEMNITZ

Tabelle 1: Kennwerte des 2-Schicht-Abdecksystems

2-Schicht-Abdeckung

Abdeckschicht I (0-20 cm) / Rekultivierungs-Mischsubstrat
 Klärschlamm-Kompost (50 Vol.-%) und Mineralboden (50 Vol.-%)
 sandiger Lehm Textur: 35-39 M.-% Sand, 51-57 M.-% Schluff, 17-20 M.-% Ton
 Ls₂, Gr₃, X₂¹⁾ Lagerungsdichte: 1,0-1,2 g cm⁻³, Gesamtporenvolumen: 50-62 Vol.-%
 C_p: 4,3-6,2 M.-% Wasserleitfähigkeit (gesättigt): 2,0-7,2 x 10⁻⁴ m s⁻¹,
 Infiltration: 0,04-0,10 m s⁻¹, nutzbare Feldkapazität: 11-16 Vol.-%

Abdeckschicht II (20-100 cm)
 Mineralboden (100 Vol.-%)
 sandiger Lehm Textur: 26-35 M.-% Sand, 41-55 M.-% Schluff, 19-27 M.-% Ton
 Ls₂, Gr_{2/3}, X₂¹⁾ Lagerungsdichte: 1,6-1,7 g cm⁻³, Gesamtporenvolumen: 25-38 Vol.-%
 C_p: 0,8-1,1 M.-% Wasserleitfähigkeit (gesättigt): 1,8 x 10⁻⁵ - 4,1 x 10⁻⁶ m s⁻¹
 Infiltration: 0,01-0,03 m s⁻¹, nutzbare Feldkapazität: 8-14 Vol.-%

¹⁾ nach AG Boden (1994)

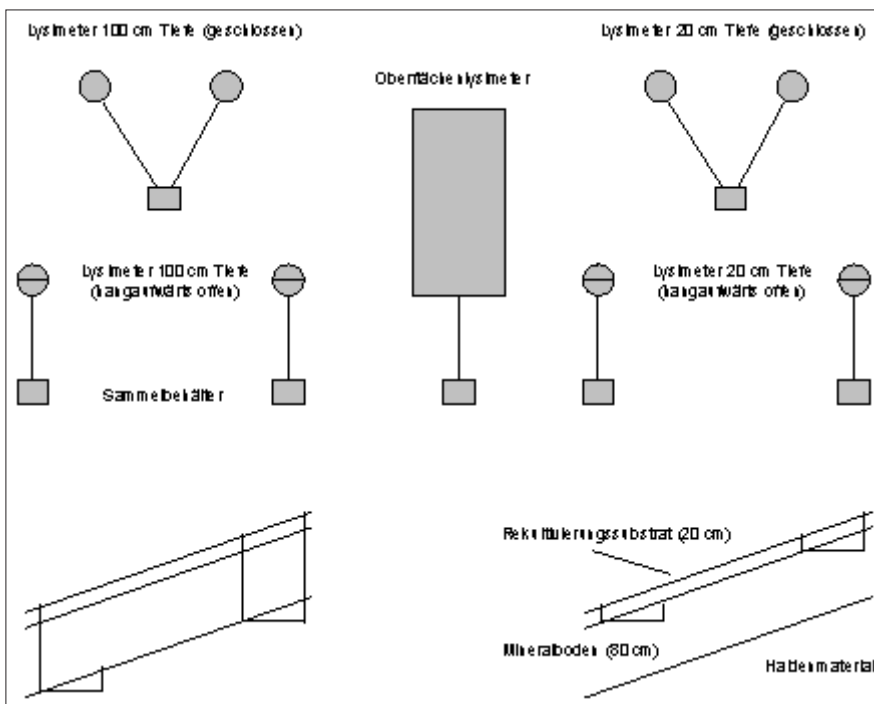


Abbildung 1: Lysimeteranordnung am Beispiel der NE-exponierten 2-Schicht-Abdeckung (schematisch)

und radiologischen Vorgaben 2-lagig, mit einem R_f von 1,6 bis 1,7 g cm⁻³.

Daraufhin wurde das organisch-mineralische Rekultivierungssubstrat in 20 cm Mächtigkeit appliziert und auf 1,0 bis 1,2 g cm⁻³ verdichtet (2-Schicht-Abdeckung). Ein weiteres NE-exponiertes Versuchsfeld blieb ohne Rekultivierungssubstrat-Auftrag (1-Schicht-Abdeckung). Anfang September 1997 erfolgte die Einsaat eines konventionellen Landschaftsrasens in dem Knautgras, Rotschwingel und Luzerne dominierten. Die Lysimeteranordnung ermöglichte eine schichtbezogene Wasserhaushaltsbilanzierung. Hierzu wurden im Rekultivierungssubstrat und Mineralboden

jeweils 2 geschlossene bzw. hangaufwärts offene, nicht wägbare HD-PE-Lysimeter (1 m Innendurchmesser) installiert. Hinzu kamen auf der NE-exponierten 1-Schicht- und 2-Schichtabdeckvariante je ein rechteckiges Oberflächenlysimeter mit einem Einzugsbereich von 16 m² (Abbildung 1).

3. Ergebnisse und Diskussion

Das Rekultivierungssubstrat wirkt sich unmittelbar auf den Oberflächenabfluss der Haldenabdeckung aus. Fließen bei 1-Schicht-Mineralbodenabdeckung im ersten Jahr mit 70 mm rund 8 % des Niederschlags oberflächlich ab, so sind dies

nach Rekultivierungssubstrat-Auftrag unter 0,5 %; ähnliches gilt für den Lateralabfluss (Tabelle 2). Die abfluss- und damit erosionsmindernde Wirkung des Substratgemischs beruht auf einer im Vergleich zum verdichteten Mineralboden um den Faktor 3 höheren Infiltrationsrate von ca. 0,04 bis 0,10 m s⁻¹ (Tabelle 1).

Die jährliche Tiefensickerung variiert erheblich und wird zunächst durch die Niederschlagshöhe bestimmt. Beispielsweise perkolieren im niederschlagsreichen Jahr 2002 (1165 mm) auf der NE-exponierten 2-Schicht-Abdeckung 469 mm in die Halde. In 2003 sind es hingegen bei 618 mm Jahresniederschlag lediglich 134 mm. Dabei besteht ein streng linearer Zusammenhang zwischen Niederschlagssumme und Tiefensickerung (Abbildung 2).

Daneben wird die Sickerwasserbildung maßgeblich durch die Böschungsexposition, d.h. die in Abhängigkeit der Einstrahlung unterschiedlichen Verdunstungsraten beeinflusst. So erreichen die Verdunstungsverluste auf der SE-exponierten Böschung mit 600 mm rund 75 % des Niederschlags, was in einer Tiefensickerung von lediglich 22 % (ohne Lateralabfluss) resultiert (Tabelle 2). Auf der einstrahlungsärmeren NE-Böschung versickern bei 500 mm Verdunstung immerhin 32 % des Niederschlags. Demgegenüber infiltrieren jedoch auf nicht abgedeckten Halden im langjährigen Mittel bis zu 58 % des Niederschlagswassers (WISMUT-Umweltdatenbank).

Die Sickerwasserflüsse treten vornehmlich im Winterhalbjahr auf (Abbildung 3). Während der Vegetationsperiode findet hingegen eine intensive Entwässerung der Abdeckung bis in den liegenden Haldenkörper statt. Der Schichtaufbau des Abdecksystems ist in dieser Studie für die Höhe der Sickerwasserbildung und -dynamik von untergeordneter Bedeutung.

Andererseits erhöht der Auftrag des Rekultivierungssubstrats die Ca-, Mg-, K-, Cl-, SO₄-S-Austräge des Abdecksystems. Die Stofffrachten nehmen jedoch infolge der rückläufigen Lösungskonzentrationen rasch ab. Bereits nach 4 Jahren gleichen sie sich den Verhältnissen der 1-Schicht-Mineralbodenabdeckung an, die ihrerseits einer intensiven Entsalzung unterliegt (Abbildung 4). Entsprechend der Wasserflusssdynamik findet die Stoff-

Tabelle 2: Niederschlagsverteilung und Wasserflüsse der 1-Schicht- und 2-Schicht-Abdeckung bei NE- und SE-Exposition für die Jahre 1998 bis 2003

	Biomasse ¹⁾ g m ⁻² TS	Niederschlag ²⁾	Transpiration ³⁾	Abfluss mm (% des Niederschlags)	Lateralfluss	Tiefensickerung
1-Schicht-Abdeckung (80 cm Mineralboden, NE-Exposition)						
1998	275	840,9	318,2 (37,8)	70,4 (8,4)	100,9 (12,0)	351,4 (41,8)
1999	295	686,7	395,1 (57,5)	47,7 (6,9)	37,5 (5,4)	206,4 (30,1)
2000	400	749,5	497,1 (66,3)	19,2 (2,6)	33,3 (4,4)	199,9 (26,7)
2001	555	765,4	512,8 (67,0)	32,8 (4,3)	30,7 (4,0)	189,1 (24,7)
2002	n.b.	1165,4	530,2 (45,5)	97,0 (8,3)	61,6 (5,3)	476,6 (40,9)
2003	811	618,3	457,9 (74,1)	18,3 (3,0)	11,4 (1,8)	130,7 (21,1)
Mittel	467	804,4	451,9 (56,2)	47,6 (5,9)	45,9 (5,7)	259,0 (32,2)
2-Schicht-Abdeckung (20 cm Rekultivierungssubstrat + 80 cm Mineralboden, NE Exposition)						
1998	367	840,9	497,7 (59,2)	3,2 (0,4)	35,2 (4,2)	304,8 (36,2)
1999	416	686,7	417,5 (60,8)	19,5 (2,8)	30,3 (4,4)	219,5 (32,0)
2000	444	749,5	499,0 (66,6)	8,6 (1,1)	20,1 (2,7)	221,8 (29,6)
2001	765	765,4	529,7 (69,2)	18,0 (2,4)	29,3 (3,8)	188,4 (24,6)
2002	n.b.	1165,4	602,3 (51,7)	43,5 (3,7)	50,5 (4,3)	469,1 (40,3)
2003	639	618,3	460,5 (74,5)	8,8 (1,4)	14,9 (2,4)	134,1 (21,7)
Mittel	526	804,4	501,1 (62,3)	16,9 (2,1)	30,1 (3,7)	256,3 (31,9)
2-Schicht-Abdeckung (20 cm Rekultivierungssubstrat + 80 cm Mineralboden, SE-Exposition)						
1998	212	840,9	569,5 (67,7)	n.b.	42,7 (5,1)	228,7 (27,2)
1999	377	686,7	514,5 (74,9)	n.b.	19,2 (2,8)	153,0 (22,3)
2000	412	749,5	562,6 (75,1)	n.b.	20,8 (2,8)	166,1 (22,2)
2001	500	765,4	670,5 (87,6)	n.b.	13,7 (1,8)	81,2 (10,6)
2002	n.b.	1165,4	794,6 (68,2)	n.b.	44,9 (3,9)	325,9 (28,0)
2003	570	618,3	481,3 (77,8)	n.b.	11,6 (1,9)	125,4 (20,3)
Mittel	414	804,4	598,8 (74,4)	n.b.	25,5 (3,2)	180,1 (22,4)

¹⁾ Schnitt im September, ²⁾ Niederschlagskorrektur + 8 %, ³⁾ Evapotranspiration + Interzeption = Niederschlag - Abfluss - Lateralfluss - Tiefensickerung, n.b. = nicht bestimmt

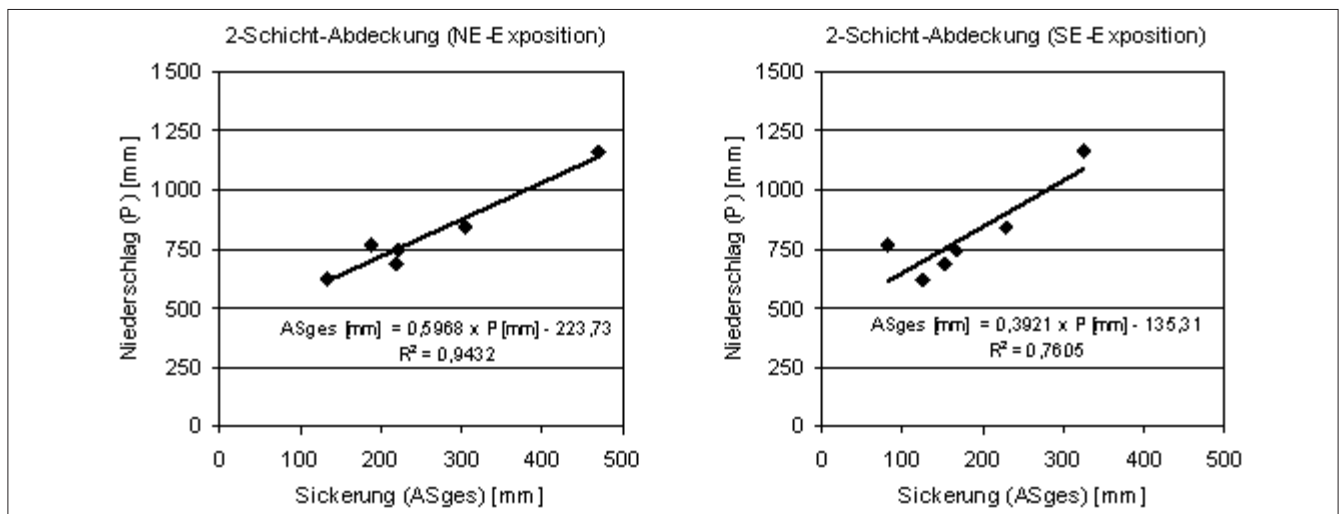


Abbildung 2: Beziehung zwischen Niederschlag und Tiefensickerung des 2-Schicht-Abdecksystems bei NE- und SE-Exposition für die Jahre 1998 - 2003

auswaschung im Wesentlichen während des Winterhalbjahres statt. Da die Konzentrationen von Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, U, ²²⁶Ra, AOX und PAH im Oberflächen- und Sickerwasser die Trinkwasservorsorgewerte nicht überschreiten und meist unterhalb der analytischen Nachweisgrenzen liegen, können bei diesen Schadstoffen ökotoxikologisch be-

denkliche Stofffrachten ausgeschlossen werden.

4. Schlussfolgerungen

Das 2-Schicht-Abdecksystem stellt für die Sanierung von Halden des Uranerzbergbaus eine Kompromisslösung zwischen den konkurrierenden hydrologischen Zielstellungen nach Verringerung

des Oberflächen- bzw. Lateralabflusses und Reduzierung der Versickerungsrate dar. Einerseits lassen sich durch die umweltverträgliche Böschungsabdeckung kritische Oberflächen- und Lateralabflüsse vermeiden. Gleichzeitig bewirkt die intensive Verdunstung der Grünlandvegetation eine Verringerung der Tiefensickerung zzgl. des Lateralabflusses un-

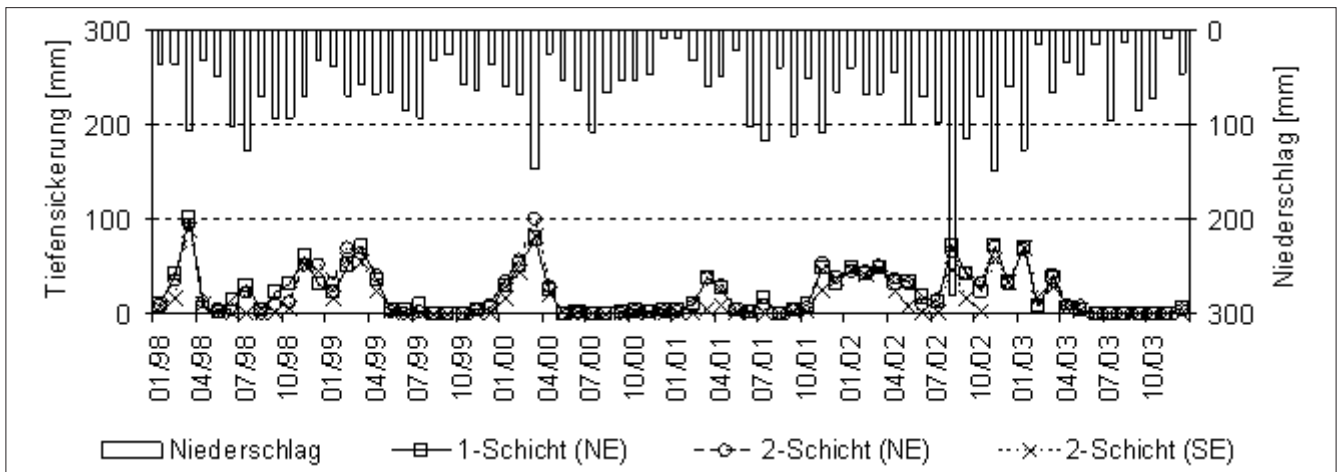


Abbildung 3: Tiefensickerung des 1-Schicht- und 2-Schicht-Abdecksystems bei NE- und SE-Exposition für die Jahre 1998 - 2003

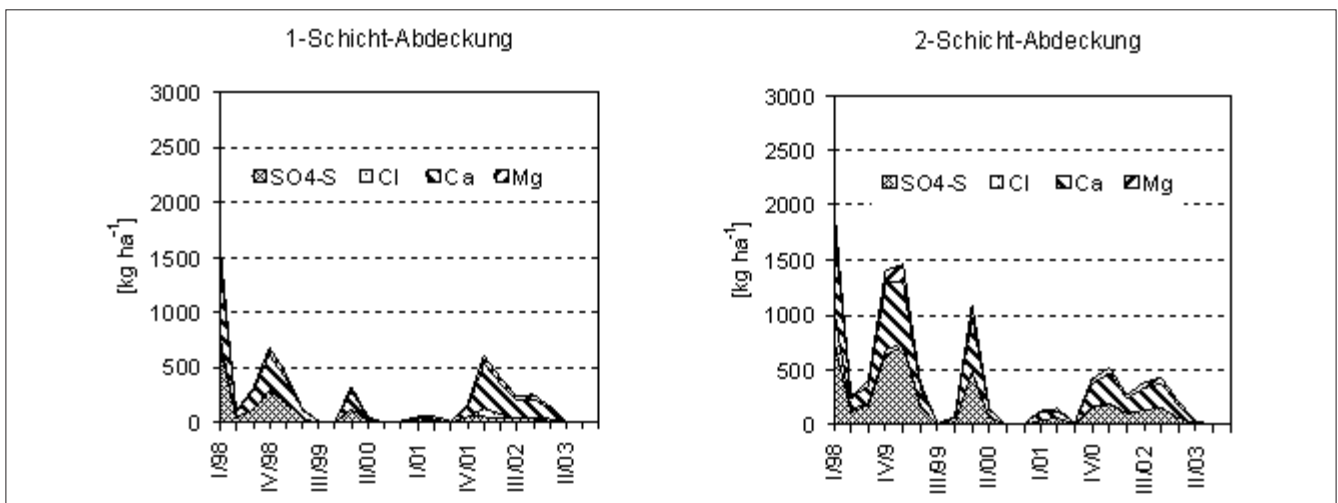


Abbildung 4: Stoffausträge des 1-Schicht- und 2-Schicht-Abdecksystems bei NE-Exposition für die Jahre 1998 - 2003

ter 30 bis 40 % des Niederschlags. Für die dauerhafte hydrologische Funktion des Abdecksystems bleibt die Etablierung einer verdunstungsintensiven Vegetation von zentraler Bedeutung. Dabei weisen Aufforstungen mit Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Fichte (*Picea abies* Karst) und Weißtanne (*Abies alba* Mill.) die höchsten Verdunstungsraten auf (PECK und MAYER, 1996). Nadelholzreinbestände zeigen jedoch, zumal in exponierten Hanglagen, eine hohe Stressanfälligkeit und Instabilität. Mit

Blick auf die langfristige Wirksamkeit des Abdecksystems wird vielmehr eine standortgerechte Laub-/Nadelholzmischbestockung mit Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.) empfohlen, die sich in Einklang mit den regional-typischen Waldgesellschaften befindet. Analogieschlüssen des Haldenumfeldes zu Folge erscheint dabei eine Reduzierung der Sickerung zzgl. des Lateralabflusses auf unter 30 % des Niederschlags möglich.

5. Literatur

- GATZWEILER, R. und D. MAGER, 1995: Der Sanierungsfall WISMUT. Geowissenschaften 11, 164-172.
- HAGEN, M., 1999: Gute Zwischenbilanz der Sanierung der Hinterlassenschaften der Wismut. - Erzmetall 52, 2, 115-118.
- JAKUBICK, A.T., G. McKENNA and A. ROBERTSON, 2003: Stabilization of tailings deposits: International experience. In Proceedings of Mining and the Environment III. Sudbury, Ontario, Canada 25.-28 May, 2003.
- PECK, A. und H. MAYER, 1996: Einfluß von Bestandesparametern auf die Verdunstung von Wäldern. Forstw. Cb. 115, 1-9.