



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti,  
dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Ufficio federale dei trasporti UFT**  
Divisione Sicurezza

Data: 22 agosto 2018  
Versione: V 1.0\_i

N. registrazione/dossier: BAV-522.450-00002/00003/00017

# **Rapporto esplicativo concernente la revisione della direttiva sul materiale di scavo dei binari**

## Indice

<b>Abbreviazioni .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Situazione iniziale e necessità di modifica .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Rapporto esplicativo del 2002.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Nuove conoscenze .....</b>	<b>4</b>
3.1 Sintesi.....	4
3.2 Osservazioni riguardo ai binari di tratta senza traverse di legno .....	5
3.3 Osservazioni sulle principali sostanze inquinanti nei tratti di binari senza traverse di legno.....	5
3.4 Osservazioni sulle sostanze inquinanti nelle immediate vicinanze di passaggi a livello .....	6
3.5 Pietrisco grossolano dopo la pulizia.....	8

### **Allegato 1:**

Die Entsorgung von Gleisaushub; Erläuterungsbericht zur Gleisaushubrichtlinie; Unione dei trasporti pubblici; 15 marzo 2000, pubblicato il 1° dicembre 2002 (citato come «Die Entsorgung von Gleisaushub; Erläuterungsbericht zur Gleisaushubrichtlinie, 2002»)

# Abbreviazioni

FFS	Ferrovie federali svizzere
OPSR	Ordinanza del 4 dicembre 2015 sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti (ordinanza sui rifiuti, OPSR; RS 814.600)
UFAM	Ufficio federale dell'ambiente
UFT	Ufficio federale dei trasporti
UTP	Unione dei trasporti pubblici

## 1 Situazione iniziale e necessità di modifica

Finora la direttiva sul materiale di scavo dei binari, entrata in vigore nel 2002, non è mai stata sottoposta a revisione. Dopo 15 anni di attuazione la direttiva non è più conforme né alla legislazione vigente (soprattutto dopo l'entrata in vigore, il 1° gennaio 2016, dell'ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti, OPSR), né alle prassi adottate nei cantieri, né agli sviluppi della tecnica. Presenta inoltre alcuni errori e punti da chiarire. Per questi motivi riteniamo indispensabile procedere alla sua revisione.

Le principali modifiche apportate sono:

- abbreviazione, ovvero eliminazione, di paragrafi superflui e riformulazione di passaggi poco chiari per facilitare la comprensione;
- adeguamento alla nuova OPSR (eliminazione dei riferimenti alla direttiva sul materiale di scavo dei binari);
- definizione più precisa delle aree dalle quali proviene il materiale di scavo dei binari;
- adeguamento alla prassi comunemente adottata nei cantieri (trattamento del materiale di scavo dei binari in base al tipo di trasformazione nell'ambito di interventi di rinnovo dei binari);
- adeguamento alle più recenti conoscenze sul materiale di scavo dei binari (presenza di sostanze inquinanti rispetto al tipo di tratte e di traverse).

## 2 Rapporto esplicativo del 2002

Durante l'elaborazione della direttiva del 2002 sono state formulate alcune conclusioni, basate sui risultati del rapporto esplicativo<sup>1</sup> redatto a suo tempo (all. 1). Una volta adeguate all'OPSR, tali conclusioni sono state inserite nella versione rivista della direttiva, precisamente nel seguente paragrafo.

*«Da approfondite ricerche condotte sulle sostanze inquinanti presenti nelle ferrovie a scartamento normale<sup>1</sup> sono emersi, per tratti di binari senza sospetto di inquinamenti chimici specifici, i seguenti risultati:*

- *nel materiale di scavo dei binari vi sono di norma rilevanti concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici ( $\Sigma$ 16 PAH EPA), benzo[a]pirene (BaP) e componenti alifatici di idrocarburi (HC > C<sub>10</sub>);*
- *i PAH di norma sono contenuti negli oli di catrame per l'impregnatura delle traverse di legno;*
- *gli HC di norma provengono principalmente dai lubrificanti (scambi, cremagliere, parti di veicoli ecc.); e*
- *il tenore di metalli pesanti di norma soddisfa i requisiti di cui all'allegato 3 numero 1 OPSR.»*

---

<sup>1</sup> «Die Entsorgung von Gleisaushub; Erläuterungsbericht zur Gleisaushubrichtlinie», 2002

Le esperienze maturate dal 2002 dimostrano che le suddette conclusioni sono tuttora valide; di conseguenza, sono state considerate anche nella nuova versione della direttiva (cap. 7.1, Basi).

Le analisi eseguite da allora sul rame (figura 1), tra l'altro, evidenziano che questo parametro di norma soddisfa i requisiti di cui all'allegato 3 numero 1 OPSR.

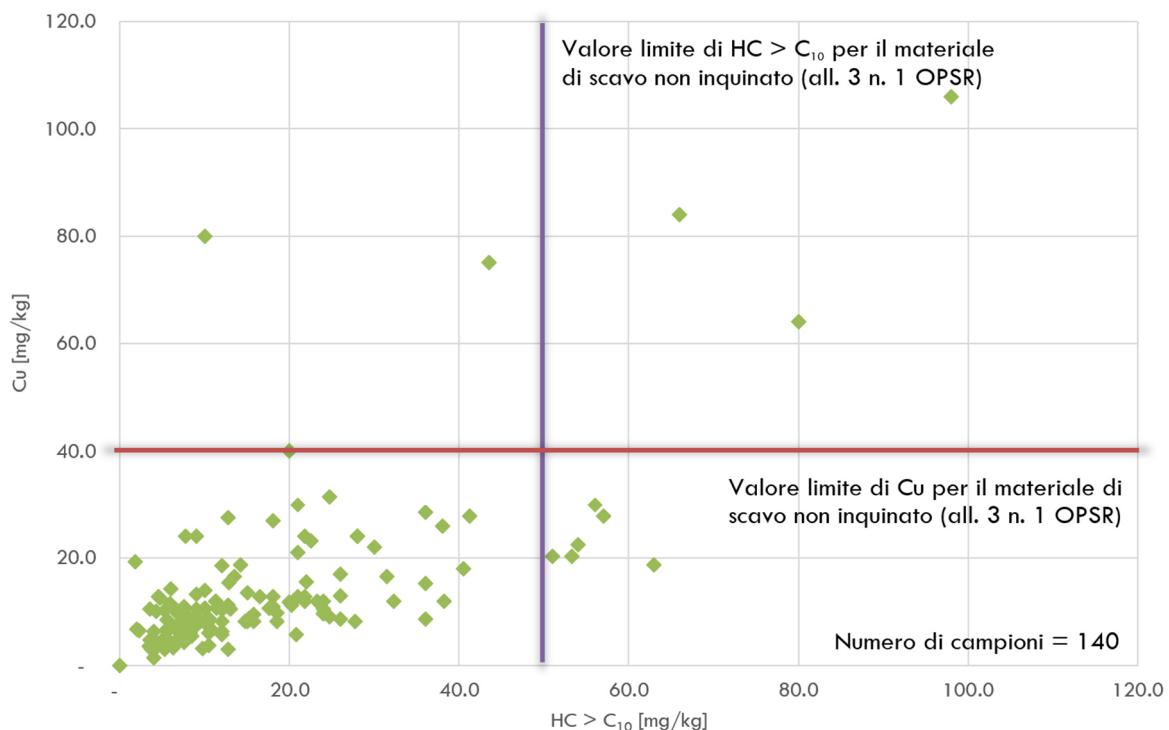


Figura 1: rapporto tra la concentrazione di rame e di idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ ) nel materiale di scavo dei binari

**Nota:** il rame non è determinato in maniera diretta, bensì ricavato dalle concentrazioni di Cu misurate nei fanghi da filtropressa sulla base della frazione fine.

### 3 Nuove conoscenze

#### 3.1 Sintesi

Dall'entrata in vigore della direttiva le ferrovie hanno approfondito le loro esperienze nel campo del materiale di scavo dei binari. Sulla base dei risultati di nuove analisi è stato possibile formulare le seguenti conclusioni (cap. 7.1, Basi, della nuova direttiva):

«Dalle esperienze maturate dal 2002 nell'attuazione della direttiva sul materiale di scavo dei binari<sup>2</sup>, inoltre, sono emerse le seguenti conclusioni:

- nel pietrisco lungo binari di tratta senza traverse di legno di norma non sono presenti sostanze inquinanti in quantità rilevante (in altre parole, si tratta di materiale di scavo dei binari non inquinato);
- nel pietrisco lungo tratti di binari e nei pressi di scambi senza traverse di legno di norma le principali sostanze inquinanti sono costituite dagli idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ );
- nel pietrisco presente nelle immediate vicinanze dei passaggi a livello spesso si rileva una presenza più elevata di sostanze inquinanti;

<sup>2</sup> «Rapporto esplicativo concernente la revisione della direttiva sul materiale di scavo dei binari», 2018

- *dopo la pulizia, di norma il pietrisco grossolano soddisfa i requisiti per la classificazione come materiale di scavo dei binari non inquinato (all. 3 n. 1 OPSR) e, in presenza di sostanze inquinanti (soprattutto se proveniente da tratta con traverse di legno), i requisiti per la classificazione come materiale di scavo dei binari lievemente inquinato (all. 3 n. 2 OPSR).»*

### 3.2 Osservazioni riguardo ai binari di tratta senza traverse di legno

*«Dalle esperienze maturate dal 2002 nell'attuazione della direttiva sul materiale di scavo dei binari<sup>3</sup>, inoltre, sono emerse le seguenti conclusioni:*

- *nel pietrisco lungo binari di tratta senza traverse di legno di norma non sono presenti sostanze inquinanti in quantità rilevante (in altre parole, si tratta di materiale di scavo dei binari non inquinato).»*

Finora le FFS hanno registrato nella loro banca dati complessivamente 402 campioni di pietrisco proveniente da binari di tratta senza traverse di legno (figura 2). Tutti i campioni sono stati sottoposti ad un'analisi dei PAH e 137 campioni sono stati anche sottoposti a un'analisi degli idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ ). I risultati delle analisi dimostrano che la stragrande maggioranza dei campioni soddisfa i requisiti stabiliti nell'allegato 3 numero 1 OPSR e può quindi essere classificata come materiale di scavo dei binari non inquinato. La quota di materiale di scavo dei binari lievemente inquinato è nettamente inferiore al 10 per cento. Non è stato invece rilevato materiale con un grado di inquinamento superiore.

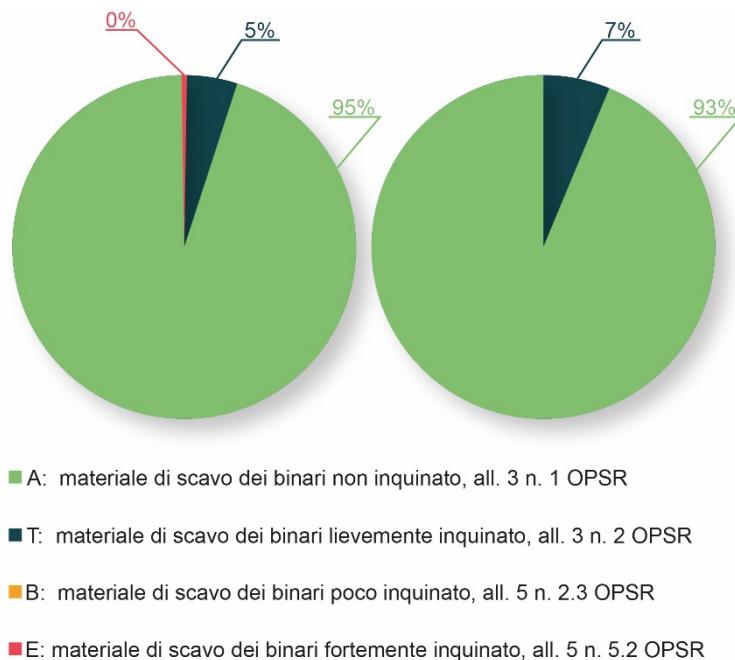


Figura 2: presenza di sostanze inquinanti nel pietrisco di binari di tratta senza traverse di legno (a sinistra: tutte le analisi disponibili ( $n = 402$ ); a destra: solo campioni sottoposti ad analisi sia degli  $HC > C_{10}$ , sia dei PAH ( $n = 137$ ))

### 3.3 Osservazioni sulle principali sostanze inquinanti nei tratti di binari senza traverse di legno

*«Dalle esperienze maturate dal 2002 nell'attuazione della direttiva sul materiale di scavo dei binari<sup>3</sup>, inoltre, sono emerse le seguenti conclusioni:*

<sup>3</sup> «Rapporto esplicativo concernente la revisione della direttiva sul materiale di scavo dei binari», 2018

- *nel pietrisco lungo tratti di binari e nei pressi di scambi senza traverse di legno di norma le principali sostanze inquinanti sono costituite dagli idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ );»*

L'analisi di oltre 300 campioni di pietrisco mostra (figura 3) che nei tratti di binari senza traverse di legno l'inquinamento è principalmente dovuto agli idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ ). Per contro, considerando i PAH, il materiale di scavo dei binari nella maggior parte dei casi verrebbe assegnato alla medesima categoria in cui rientra a causa degli idrocarburi alifatici ( $HC > C_{10}$ ), o in un categoria con un grado di inquinamento inferiore. Solo nel 7 per cento dei casi i PAH sarebbero responsabili della classificazione dei rifiuti. Sono stati analizzati campioni di pietrisco prelevati da differenti tratti e scambi senza traverse di legno.

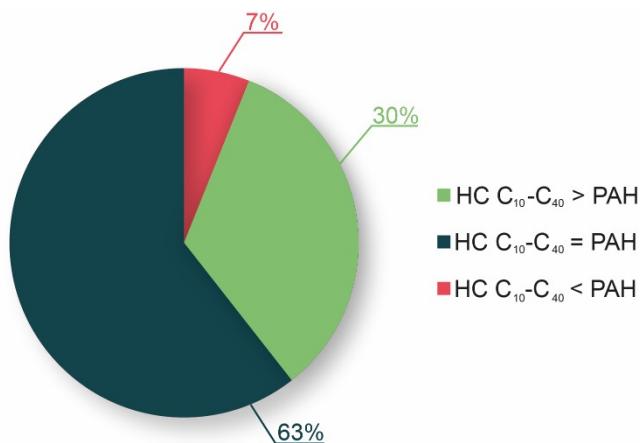


Figura 3: principali sostanze inquinanti nei tratti di binari senza traverse di legno (n = 302)

### 3.4 Osservazioni sulle sostanze inquinanti nelle immediate vicinanze di passaggi a livello

«Dalle esperienze maturate dal 2002 nell'attuazione della direttiva sul materiale di scavo dei binari<sup>4</sup>, inoltre, sono emerse le seguenti conclusioni:

- *nel pietrisco presente nelle immediate vicinanze dei passaggi a livello spesso si rileva una presenza più elevata di sostanze inquinanti;»*

Negli ultimi anni sono stati spesso registrati valori più elevati (categoria di rifiuti E, all. 5 n. 5.2 OPSR) in prossimità dei passaggi a livello (figura 4). Questo aumento localizzato della concentrazione interessa le aree fino a 5 m di distanza dai passaggi a livello (figura 5).

<sup>4</sup> «Rapporto esplicativo concernente la revisione della direttiva sul materiale di scavo dei binari», 2018

Cantiere	Tipo di traversa	Anno di installazione	Analisi n.	Anno	Km ferrovia	PAH [mg/kg]	HC > C <sub>10</sub> [mg/kg]	BaP [mg/kg]	Categoria di rifiuti	Distanza dall'ultima lastra del passaggio a livello [m]
BUe 1	legno	1983	S01	2015	24.900	26.6	220	0.85	E	2
			S02	2015	24.940	8.61	170	0.2	T	40
			S01 NP	2017	24.890	4.38	53	0.11	T	10
BUe 2	legno	1995	U01	2015	4.267	61.1	430	0.16	E	3
			U02	2015	4.315	10	130	0.36	T	8
			S10 NP	2017	4.286	1.5	50	0.05	A	10
BUe 3	legno	1972	U01	2015	2.465	41.5	370	1.1	E	2.5
			S07 NP	2017	2.435	8.8	100	0.17	T	12.5
BUe 4	legno	2008	S06	2017	0.590	7.16	91	0.12	T	5
BUe 5	legno	1997	S02	2014	26.429	4.73	44.81	0.46	T	1
BUe 6	legno	1988	S01	2015	27.634	12.84	105.33	0.12	B	2
BUe 7	legno	1986	U01	2015	16.900	16.1	130	0.22	B	465
			U02	2015	17.250	4.57	50	0.2	T	115
			U03	2015	17.365	40.8	330	1.9	E	2
BUe 8	legno	1992	U01	2015	19.185	41.7	180	0.35	E	2
BUe 9	legno	2004	S03	2015	30.340	0.44	66	0.05	T	2
BUe 10	legno	1996	U01	2015	30.325	3.72	140	0.1	T	2
BUe 11	legno	2005	U02	2015	30.340	23.9	190	1.3	B	2

Figura 4: analisi del pietrisco in occasione di trasformazioni di passaggi a livello della BLS AG nel periodo 2014–2017

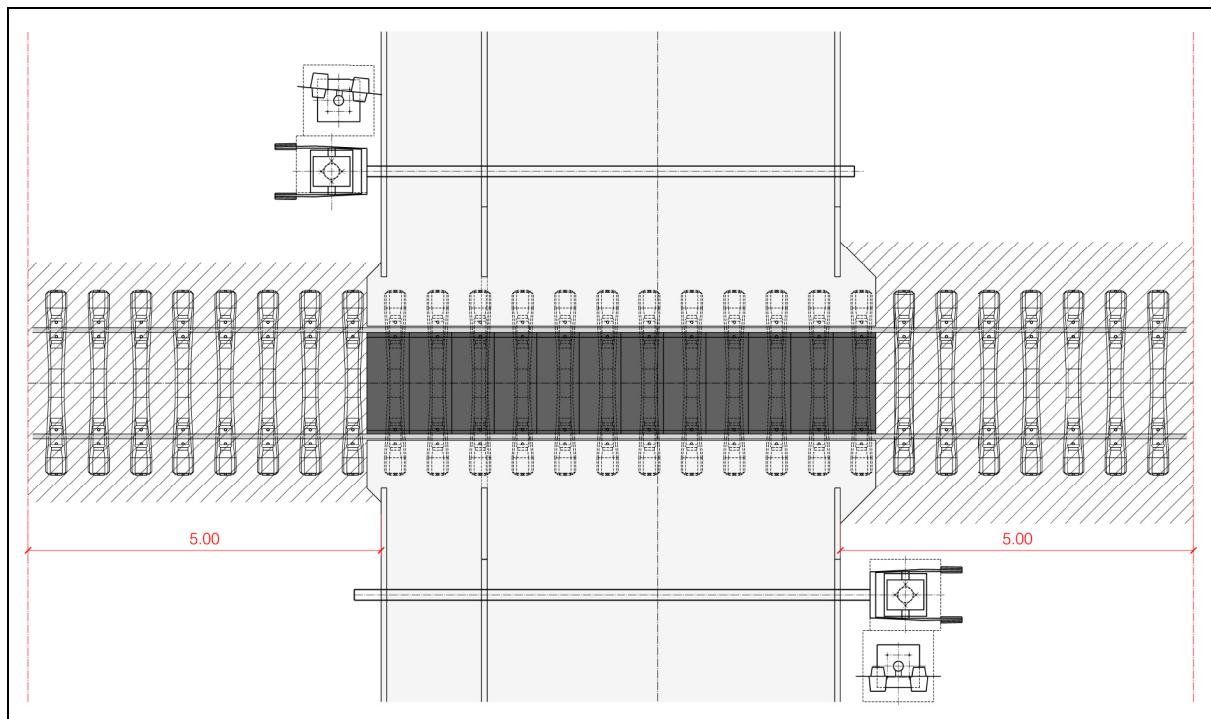


Figura 5: area dove si riscontrano concentrazioni più elevate nei pressi dei passaggi a livello (Passaggio a livello con barriere, la copertura della carreggiata è contrassegnata in grigio. L'area inquinata si estende fino a 5 m di distanza dalla fine del passaggio a livello)

### 3.5 Pietrisco grossolano dopo la pulizia

«Dalle esperienze maturate dal 2002 nell'attuazione della direttiva sul materiale di scavo dei binari<sup>5</sup>, inoltre, sono emerse le seguenti conclusioni:

- *dopo la pulizia, di norma il pietrisco grossolano soddisfa i requisiti per la classificazione come materiale di scavo dei binari non inquinato (all. 3 n. 1 OPSR) e, in presenza di sostanze inquinanti (soprattutto se proveniente da tratte con traverse di legno), i requisiti per la classificazione come materiale di scavo dei binari lievemente inquinato (all. 3 n. 2 OPSR).»*

La pulizia del pietrisco solitamente consiste in una setacciatura a secco del pietrisco effettuata direttamente sul cantiere tramite macchine per la costruzione di binari o impianti di setacciatura mobili (cfr. all. A - Definizioni, direttiva sul materiale di scavo dei binari, 2018).

Le analisi mostrano (figura 6) che circa l'80 per cento del pietrisco grossolano dopo la pulizia rispetta i requisiti per la classificazione come materiale di scavo dei binari non inquinato (all. 3 n. 1 OPSR). Nei restanti casi, con un'unica eccezione, il materiale rientra nella categoria del materiale di scavo dei binari lievemente inquinato (all. 3 n. 2 OPSR). Sono stati analizzati complessivamente 45 campioni di pietrisco, provenienti dalle seguenti aree:

	Traverse di legno	Traverse di calcestruzzo / acciaio
Scambi	8	0
Binario di tratta	13	15
Galleria	4	0
Stazione	4	1

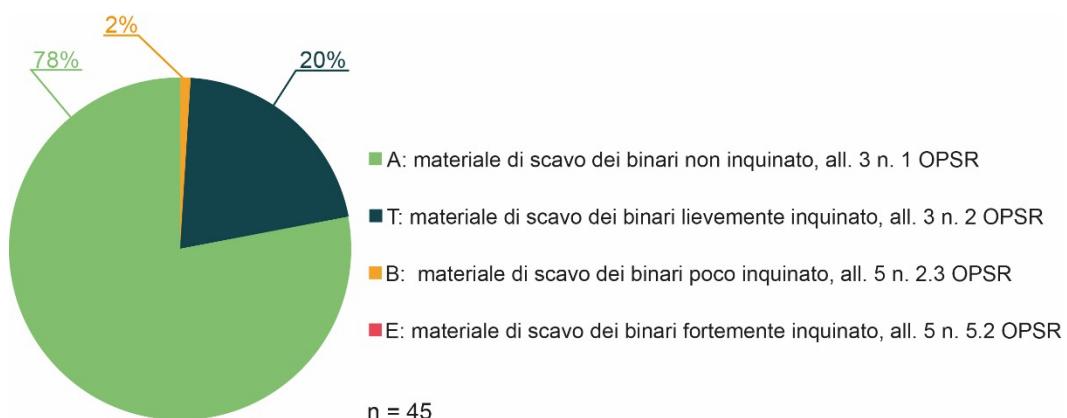
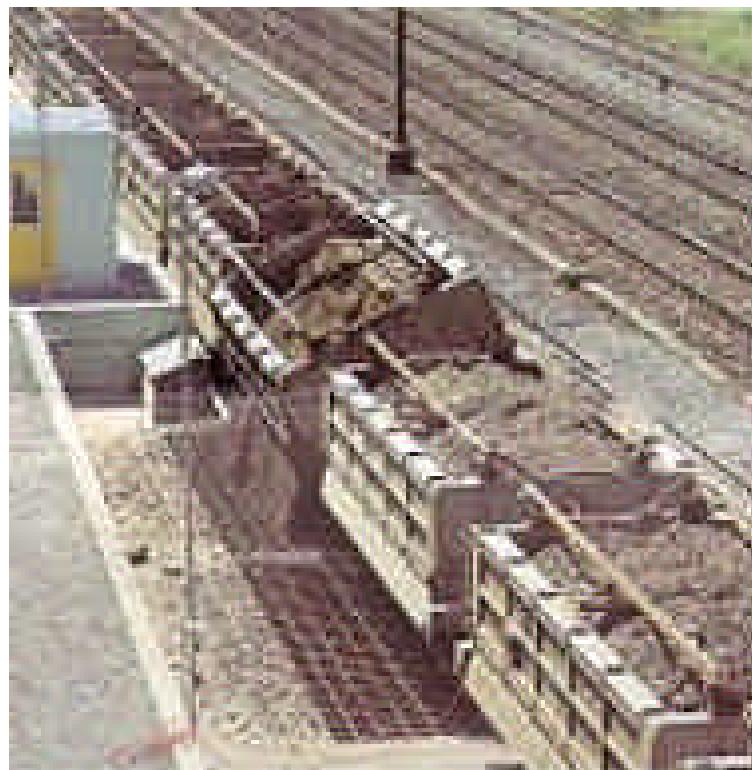


Figura 6: presenza di sostanze inquinanti nel pietrisco grossolano dopo la pulizia

<sup>5</sup> «Rapporto esplicativo concernente la revisione della direttiva sul materiale di scavo dei binari», 2018

# **Entsorgung von Gleisaushub**

## **Erläuterungsbericht zur Gleisaushubrichtlinie**



### **VöV Arbeitsausschuss**

**Emil Fuhrer** RM  
**Willi Zimmermann** BLS  
**Helmut Kuppelwieser** SBB

**ECOlisto**  
**Peter Oggier**  
Kräyigenweg 93  
3074 Muri b. Bern

# **DIE ENTSORGUNG VON Gleisaushub**

# **ERLÄUTERUNGSBERICHT ZUR GLEISAUSHUBRICHTLINIE**

# (Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Schotter und Unterbaumaterialien aus dem Gleisbereich von Eisenbahnen)

**Bearbeitung** ecolisto  
Peter Oggier  
Kräyigenweg 93  
3074 Muri b. Bern  
Tel.: 031 952 79 55  
Fax: 031 952 79 56  
[oggier.ecolisto@swissonline.ch](mailto:oggier.ecolisto@swissonline.ch)

<b>Begleitung</b>	Ausschuss der VöV-Arbeitsgruppe "Bau":
Emil Fuhrer	Regionalverkehr Mittelland (RM)
Helmut Kuppelwieser	BahnUmwelt-Center SBB
Willi Zimmermann	BLS Lötschbergbahnen

**Bezugsquelle** SBB AG  
Generalsekretariat  
BahnUmwelt-Center  
Parkterrasse 14  
3000 Bern 65  
[umwelt@sbb.ch](mailto:umwelt@sbb.ch)  
Tel. 051 220 58 19  
Fax 051 220 44 75

Bericht auch als pdf-Datei verfügbar ([www.sbb.ch/umwelt](http://www.sbb.ch/umwelt))

**Sprachversionen** Nur in deutscher Sprache erhältlich  
Dieser Grundlagenbericht wurde im März 2000 abgeschlossen und enthält den Wissensstand bis zu diesem Zeitpunkt.

Veröffentlicht am 1. Dezember 2002  
(zusammen mit der Gleisaushubrichtlinie)

# Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ZIEL UND UMFANG DES BERICHTES.....</b>	<b>6</b>
<b>3. MENGE UND QUALITÄT DES GLEISAUSHUBS.....</b>	<b>7</b>
3.1 ANFALLENDER GLEISAUSHUB .....	7
3.11 Begriffe und Erläuterungen.....	7
3.12 Spezielle Rahmenbedingungen auf Eisenbahn-Baustellen.....	9
3.13 Wichtigste Bauvorgänge, bei denen Schotter und Unterbaumaterial anfällt .....	9
3.2 ABFALLMENGEN.....	11
3.3 ARTEN UND QUELLEN VON SCHADSTOFFEN.....	13
3.31 Schwermetalle.....	13
3.32 Organische Schadstoffe .....	13
3.33 Feinstanteile: Keine Schadstoffe, aber bautechnisch unerwünscht.....	13
3.4 ERMITTTELTE SCHADSTOFFBELASTUNGEN.....	14
3.41 Ausgeführte Analysen.....	14
3.42 Resultate der Untersuchungen .....	15
3.43 Beurteilung der Analyseresultate .....	18
<b>4. MASSGEBENDE ELEMENTE FÜR DIE KÜNFTIGE ENTSORGUNG VON GLEISAUSHUB .....</b>	<b>19</b>
4.1 GELTENDE REGELUNGEN FÜR DIE ENTSORGUNG VON GLEISAUSHUB .....	19
4.2 STELLENWERT DER ENTSORGUNGSKOSTEN .....	20
4.3 VORAUSSICHTLICHE ÄNDERUNGEN VON MENGE UND QUALITÄT DES GLEISAUSHUBS .....	22
4.31 Eingesetzte Materialien.....	22
Holzschwellen.....	22
Schmierstoffe.....	22
Korrosionsschutz .....	23
Schwermetalleintrag durch Verschleisssteile.....	23
Herbizide.....	23
Eintrag von Organika über WC-Anlagen.....	23
4.32 Erneuerungsbedarf.....	24
4.33 Veränderungen von Bautechniken, Bauvorgängen und organisatorischen Rahmenbedingungen .....	24
4.34 Prognose der Abfallmengen und -qualitäten der kommenden Jahre.....	24
<b>5. ENTSORGUNGSWEGE .....</b>	<b>25</b>
5.1 BEURTEILUNG DER HEUTIGEN ENTSORGUNGSWEGE.....	25
5.2 VORGABEN FÜR DIE ZU ERARBEITENDE GLEISAUSHUBRICHTLINIE.....	26
5.21 Geltungsbereich.....	26
5.22 Gesetzliche Regelungen.....	26
5.3 ÜBERNAHME VERMEHRTER MATERIALVERANTWORTUNG.....	28
<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>30</b>
VORSCHRIFTEN, WEISUNGEN .....	30
STUDIEN UND BERICHTE .....	30

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Umweltschutzgesetz verpflichtet den Inhaber von Abfällen, diese vorschriftskonform zu entsorgen und die dabei entstehenden Kosten zu tragen. Die Technische Verordnung über Abfälle sowie Richtlinien des Bundes regeln die Art der Entsorgung der Abfälle entsprechend ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften. Die Kantone ihrerseits überwachen die Einhaltung der gesetzlichen Regelungen und sind zuständig für die Bewilligung von Abfallanlagen.

Für Abfälle, die branchenspezifische Belastungen mit Schadstoffen aufweisen, sind Entsorgungswege und spezifische Anforderungen an die Behandlungsanlagen im Detail so festzulegen, dass die eher generell gehaltenen Gesetze und Verordnungen eingehalten werden.

**Im Interesse einer kostengünstigen und ökologisch sinnvollen Entsorgung ihrer Abfälle legen die SBB sowie die Betreiber der konzessionierten Bahnen mit diesem Bericht Art und Mengen ihrer anfallenden Abfälle dar, welche zum Teil aufgrund der spezifischen Belastung durch den Bahnbetrieb nur mit Einschränkungen verwertbar sind oder einer speziellen Abfallbehandlung bzw. der Ablagerung auf Deponien zugeführt werden müssen.**

Die zu entsorgenden Mengen und die Schadstoffbelastungen der Abfälle werden aufgrund der bei den Eisenbahnunternehmungen verfügbaren Angaben dargestellt. Es wird der Versuch unternommen, Veränderungen an Qualitäten und Mengen der Abfälle abzuschätzen, die sich aufgrund der Entwicklung der nächsten Jahre ergeben werden infolge von:

- anderen eingesetzten Materialien, die den Schadstoffeintrag reduzieren;
- erhöhten Anforderungen an die Materialien wegen höheren Verkehrsbelastungen, die auch die Unterhaltsintervalle verändern;
- steigendem Standard der Gleisbettung bei erneuerten oder neuen Gleisen und
- anderen Bautechniken und Bauvorgehen, die einen grossen Einfluss auf die Trennbarkeit der einzelnen Abfallarten haben.

Die heutigen Entsorgungswege werden beschrieben und kommentiert. Es zeigt sich, dass:

- in einigen Fällen der Aufwand für Schadstoffanalysen und Entsorgung der Abfälle reduziert werden kann;
- mit vertretbarem Aufwand eine Verbesserung der Entsorgung im Sinne der gesetzlichen Vorgaben erreichbar ist und dass
- durch einheitlichere Regelung der Entsorgung Planung und Budgetierung bei den Eisenbahnunternehmungen erleichtert werden können;
- durch freiwillige Verpflichtungen der Eisenbahnunternehmungen zur geregelten Entsorgung die Vollzugsüberwachung durch die Kantone erleichtert werden kann.

*Der Bericht dient als Grundlage zur Erarbeitung der Gleisaushubrichtlinie.*

## 1. EINLEITUNG

Auf Baustellen der Eisenbahnunternehmungen fallen jährlich erhebliche Mengen von Abfällen an. Ein grosser Teil dieser Abfälle unterscheidet sich qualitativ nicht von Abfällen anderer Baustellen des Hoch- und Tiefbaues, weil sie durch den Eisenbahnbetrieb nicht wesentlich beeinflusst wurden. Diese Abfälle sind daher gemäss den geltenden Vorschriften des Bundes, den Regelungen der Bauwirtschaft und evtl. spezieller Vorschriften und Weisungen der Kantone zu entsorgen.

Bei jährlich anfallenden rund 350'000 m<sup>3</sup> handelt es sich jedoch um Abfälle, die spezifisch andere und unterschiedliche Verschmutzungen aufweisen. Es handelt sich dabei um Eisenbahnschotter und um Kies-Sande aus dem Unterbau und Materialien aus dem Untergrund von Eisenbahn-Fahrbahnen. Dieser Gleisaushub fällt bei Erneuerungen, Gleisumbauten oder Rückbau von Gleisen an. Dessen Entsorgung ist zwar durch verbindliche generelle Vorschriften geregelt. Diese enthalten jedoch keine direkt umsetzbare, konkrete Regelungen, welche eine direkte Zuordnung der Abfälle zu den zulässigen, oder besser noch zu den ökologisch sinnvollsten Entsorgungswegen ohne weitgehende Analytik erlauben.

Kriterien für die Beurteilung von Materialqualitäten und für die Festlegung der zulässigen Verschmutzung von Materialien, die noch einer Verwertung zugeführt werden können, ohne unzulässige Belastungen der Umwelt zu verursachen, hat das BUWAL in der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle [6] und in der Aushubrichtlinie [7] festgelegt. Schotter von Eisenbahnen hat es jedoch ausdrücklich vom Geltungsbereich dieser Richtlinie ausgenommen, hauptsächlich aufgrund von dessen spezifischer Belastung, die massgebend für die erforderlichen Schadstoffanalysen und für die Massnahmen bei der Entsorgung ist.

Für die Bewilligungen von Behandlungsanlagen und die Kontrolle der Bewirtschaftung von Schotter sind die Kantone zuständig. Aufgrund unterschiedlicher Materialkenntnisse und Einschätzungen beurteilten diese die ökologische Relevanz der Entsorgung von Gleisaushub bisher recht unterschiedlich. Sie stellten daher auch unterschiedliche Anforderungen an die vorgängig durchzuführenden Analysen und an die einzuhaltenden Entsorgungswege. Daraus resultierten für die Verantwortlichen der Eisenbahnen nicht nur Planungsunsicherheiten und unter Umständen auch Verzögerungen, sondern vor allem auch sehr unterschiedliche Entsorgungskosten. Diese können zwischen einem willkommenen Erlös aus Materialverkäufen an einen lokalen Unternehmer und teurem Abtransport und Behandlung in einer zentralen Behandlungsanlage schwanken. Anderseits sind sich die Bahnbetreiber aber auch bewusst, dass sie eine gewisse Mitverantwortung für vermeidbare Umweltbelastungen übernehmen müssen, falls von ihnen abgegebene Abfälle in ihrem Wissen, jedoch ausserhalb der Kontrollmöglichkeiten der Kantone, unsachgemäß verwertet oder an ungeeigneten Standorten abgelagert werden.

Bereits vor einiger Zeit hat daher die SBB gezielt Schadstoffanalysen durchgeführt und das Gespräch mit einigen Kantonen, mit dem Bundesamt für Verkehr (BAV) und mit dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) aufgenommen. Angestrebt wurde die Erarbeitung einer Richtlinie, nach der die Entsorgung dieser Abfälle auf dem ganzen Streckennetz der SBB unter Berücksichtigung der besonderen betriebswirtschaftlichen Bedingungen und den technischen Machbar-

keiten einheitlich zu organisieren und durchzuführen ist. Durch ein Genehmigungsverfahren dieser Richtlinie beim Bund und bei den Kantonen sollte überprüft werden, ob die neuen Regelungen den geltenden relevanten Vorschriften entsprechen und ein ökologischer Umgang mit den Abfällen erreicht wird. Nach diversen Diskussionen im Verband für öffentlichen Verkehr VöV wurde von den Betreibern der konzessionierten Bahnen (früher "Privatbahnen") beschlossen, sich an den Arbeiten zu beteiligen und diese gemeinsam mit den SBB unter der Aufsicht der Bundesämter BAV (Federführung) und BUWAL weiterzuführen.

## **2. ZIEL UND UMFANG DES BERICHTES**

Der vorliegende Bericht ist als Begleitbericht zum Entwurf der Gleisaushubrichtlinie [9] konzipiert. Mit dieser Richtlinie soll die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Schotter und Unterbaumaterialien aus dem Gleisbereich von Eisenbahnen einheitlich und gemäss den gesetzlichen Vorgaben geregelt werden. Der Bericht soll die Ausgangslage beschreiben und die Entscheidungsgrundlagen für die vorgeschlagenen Regelungen zusammenstellen, um damit die Überprüfung und Beurteilung der vorgeschlagenen Regelungen aus der Sicht der Behörden zu ermöglichen.

Der Bericht enthält daher:

- Angaben über die jährlich anfallenden Mengen und die spezifischen Verschmutzungen von Gleisaushub;
- einen Beschrieb der in den letzten Jahren erfolgten und in den nächsten Jahren noch absehbaren Veränderungen des Gleisaushubs;
- Angaben über die speziellen Verhältnisse auf den Baustellen der Eisenbahnunternehmungen;
- eine kurze Darstellung und Beurteilung der heutigen Entsorgungspraxis sowie
- Vorgaben und Hinweise für die Erarbeitung der Richtlinie.

### 3. MENGE UND QUALITÄT DES GLEISAUSHUBS

#### 3.1 Anfallender Gleisaushub

##### 3.11 Begriffe und Erläuterungen

Wir befassen uns im folgenden lediglich mit Gleisaushub. Im Sinne des Umweltschutzgesetzes sind dies aus dem eigentlichen Bereich der Fahrbahnen anfallende Abfälle, die infolge der ursprünglich eingesetzten Materialien und der bei Unterhaltsarbeiten verwendeten Hilfsstoffe sowie infolge des Betriebes 'bahnspezifische' Verunreinigungen und Verschmutzungen aufweisen. Diese Abfälle fallen beim Rückbau, bei der Erneuerung oder bei einer Änderung (Umbau) der Fahrbahn an.

Fachleute des Gleisbaus sprechen von

- Oberbau,
- Unterbau und
- Untergrund einer Fahrbahn.

##### Oberbau:

Das System Schiene - Schwelle - Schotter bildet den Oberbau. Dieses muss die grossen, von den fahrenden Zügen erzeugten Kräfte aufnehmen und weiterleiten. Ein reibungsloser Bahnbetrieb stellt sehr hohe Anforderungen an den Oberbau. Qualitativ gute Ausführung beim Bau, regelmässige Kontrollen und periodischer Unterhalt von Hand und mit teuren Spezialmaschinen garantieren in der Regel eine 'Lebensdauer' dieses Systems von 20 bis 30 Jahren, je nach Beanspruchung.

Aus der Sicht der Abfallbewirtschaftung am problemlosesten sind die ausgebauten **Stahlschienen**, die eingeschmolzen oder vereinzelt während Jahrzehnten für andere Zwecke weiter verwendet werden. Ähnliches gilt auch für **Stahlschwellen**. Auch ausgediente **Betonschwellen** stellen keine besonderen Entsorgungs Probleme.

Schwierigkeiten können **Holzschwellen** bereiten, die mit Teerölen imprägniert sind. Während der Betriebszeit sind diese die wichtigsten Verschmutzungsquellen für den darunterliegenden Schotter und den Unterbau. Massgebend für die ökologischen Betrachtungen ist ein Gemisch aus polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAK, das aus dem Imprägnier-Teeröl freigesetzt wird (gemäss EMPA-Studie [15] sind dies rund  $\frac{1}{2}$  kg PAK-Verbindungen aus rund 5 kg freigesetztem Teeröl). Wegen den am Ende ihrer Lebensdauer noch enthaltenen Schadstoffen müssen die Holzschwellen gemäss Regelungen der Technische Verordnung über Abfälle und der Luftreinhalteverordnung in einer geeigneten Anlage verbrannt werden (KVA, Sonderabfallverbrennungsanlage oder Zementwerk). Gleiches gilt natürlich für die Entsorgung von Eisenbahnschwellen, die noch während Jahren in der Landwirtschaft, im Gartenbau und für Hangsicherungen und Lawinenverbauungen weiterverwendet wurden. Aus Sicht der Abfallwirtschaft und der Luftreinhaltung ist diese Art der Verwertung von Eisenbahnschwellen nur in denjenigen (eher seltenen) Fällen sinnvoll, in denen eine sachgemässe Verbrennung dieser Schwellen am Ende von deren Lebensdauer gewährleistet ist.

Als **Eisenbahnschotter** (hier der Einfachheit halber lediglich **Schotter** genannt) wird das für die Gleisbettung eingesetzte gebrochene Hartgestein bezeichnet, der die hohen bautechnischen Anforderungen erfüllt. Dabei handelt es sich um saubere, gebrochene Natursteine, mit besonderen Anforderungen an Gesteinsqualität, Form und Korngrösse (in der Regel zwischen 22 und 45 (63) mm). Die Schotterschicht ist bis Unterkante Schwellen rund 30 cm stark, je nach Ausbaugeschwindigkeit und voraussichtlicher Belastung der Strecke. Durch mechanische Beanspruchungen infolge des Betriebes und durch periodisch ausgeführte Stopfarbeiten sowie infolge der Verwitterung verändert der Schotter seine Form. Er verliert dadurch und durch Materialeinträge (von oben durch Staub und Dreck, von unten durch "Hochpumpen" von Feinanteilen aus dem Unterbau infolge der Erschütterungen) allmählich seine guten bautechnischen Eigenschaften, so dass er nach 15 bis 30 Jahren erneuert oder ersetzt werden muss. Der bei Erneuerungen und Umbauten anfallende Schotter wird vielfach mit einem Teil des Unterbaus gemeinsam entfernt. Als Grobschotter werden diejenigen Anteile bezeichnet, deren Korngrösse mehr als 22 (32) mm beträgt (je nach eingesetzten Sieben auch bis zu 30 mm) und die bei einer **Schotterreinigung** am Ort, zusammen mit neuem Schotter, wieder für die Gleisbettung verwendet werden. Die bei der Schotterreinigung ausgesiebten Anteile kleiner als 30mm (bzw. 22mm, je nach Siebung), auch als Feinschotter oder Ausfallschotter bezeichnet, werden zur Entsorgung abtransportiert.

#### **Unterbau:**

Der Unterbau garantiert die erforderliche Tragfähigkeit für den Oberbau. Dabei handelt es sich - in unterschiedlichen Kombinationen - um Fundations-, Sperr-, Übergangs- und Schutzschichten, deren Schichtstärken und Materialien selbstverständlich auf die bereits vorhandene Tragfähigkeit des Untergrundes und auf die vorgesehenen Belastungen ausgelegt sind. Auch Dammschüttungen, Materialersatz und zur Stabilisierungen eingesetzte Materialien zählen zum Unterbau. Bei den heute und in den nächsten Jahren anstehenden Erneuerungen und Umbauten besteht der Unterbau in der Regel aus verdichteten Kies-Sand-Schichten, oft vermischt mit meist feinkörnigeren, von unten eingedrungenen Untergrundmaterialien.

Die heute vor allem bei Neubaustrecken eingesetzten bituminösen Beläge (Sperr- und Fundationsschichten) und die darunterliegenden Fundationsschichten aus Kies-Sand werden bei deren Rück- oder Umbau wohl kaum bahnspezifische Belastungen aufweisen, die ein Recycling in Frage stellen, da keine Holzschwellen mit sehr hohen PAK-Gehalten mehr eingebaut werden und die Beläge ein Eindringen von Niederschlägen in die unteren Schichten weitgehend verhindern. Mit einer Reihe gezielter Analysen wird dies zu gegebener Zeit zu verifizieren sein.

Die 'Lebensdauer' eines guten Unterbaues ist theoretisch sehr lange. Allerdings ist ein erheblicher Teil der heute genutzten Fahrbahnen seinerzeit auf kleinere Beanspruchungen ausgelegt worden. Bei Änderungen am Oberbau muss daher vielfach die Tragfähigkeit des Unterbaues durch den Einbau zusätzlicher Trag- und Trennschichten sowie Geotextilien verbessert werden.

### **Untergrund:**

Ober- und Unterbau liegen auf anstehendem, gewachsenem Boden oder Fels auf. Durch den Bau und den Betrieb der Fahrbahnen wird der Untergrund, natürlich abgesehen von allfälligen Setzungen, im Normalfall nicht beeinflusst.

### **3.12 Spezielle Rahmenbedingungen auf Eisenbahn-Baustellen**

Bei Erneuerungen oder Änderungen von Fahrbahnen können in den seltensten Fällen die beim Strassenbau üblichen Baumethoden angewandt werden. Besonders auf offenen Strecken herrschen ganz spezielle Baustellenbedingungen. Diese sind vor allem dadurch gekennzeichnet, dass

- Maschinen, Baustoffe und Abfälle nur auf dem Umbaugleis zu- und weggeführt werden können;
- für Bauarbeiten nur das Lichtraumprofil der Fahrbahn zur Verfügung steht und das Gleis daneben im Betrieb bleiben muss; Flexibilität im Bauvorgang muss daher in der Länge der eingesetzten Maschinen und Züge gesucht werden;
- lange Materialzüge den Betrieb in den Stationen stören (auf Hauptgleisen hat es im Schnitt alle 830 m eine Weiche, auf Nebengeleisen sogar durchschnittlich alle 270 m);
- jeweils nur kurze Arbeitsetappen von wenigen Stunden in der Nacht möglich sind und die Gleise für den Betrieb am Tag wieder befahrbar sein müssen;
- aus organisatorischen Gründen jeweils relativ starre Bauprogramme lange im voraus festgelegt werden müssen.

Dies hat zur Entwicklung von speziellen Bauvorgängen und einer ganzen Reihe von sehr teuren Spezialmaschinen geführt. Bei der Einführung von zusätzlichen abfallwirtschaftlichen Massnahmen, zum Beispiel zur vermehrten Trennung der anfallenden Abfälle auf der Baustelle, muss diesen speziellen Rahmenbedingungen Rechnung getragen werden.

### **3.13 Wichtigste Bauvorgänge, bei denen Schotter und Unterbaumaterial anfällt**

Vereinfacht lässt sich sagen, dass Eisenbahnschotter und Unterbaumaterialien in folgenden Fällen zur Entsorgung anfallen:

- beim Rückbau,
- bei Erneuerungen des Oberbaues,
- bei Änderungen und Umbauten von Gleisen und Weichen, sowie
- bei allfälligen Sanierungen von Unfallstandorten.

Beim **Rückbau** nicht mehr verwendeter Gleise lassen sich am ehesten Baumethoden wie beim Strassenbau anwenden. Abfallwirtschaftliche Massnahmen zur schichtweisen Trennung und damit zur Verbesserung der Verwertbarkeit der anfallenden Bauabfälle können in diesen eher seltenen Fällen mit vertretbarem technischem und finanziellem Aufwand getroffen werden.

**Erneuerungen des Oberbaues** drängen sich auf, wenn Gleise, Weichen oder Teile davon ersetzt werden müssen, oder wenn der Schotter mit vertretbarem Aufwand nicht mehr so kompaktierbar ist, dass er die hohen Anforderungen erfüllt (Unterhaltsintervalle werden zu kurz, Toleranzen können nicht mehr eingehalten werden,

grössere Belastungen sind aufzunehmen). In den meisten Fällen wird der gesamte Oberbau, bestehend aus Schienen, Schwellen und Schotter, gleichzeitig erneuert. Der Schotter wird entweder gereinigt und zum grössten Teil wieder eingebaut, oder als Ganzes, evtl. auch zusammen mit Kies-Sand-Schichten aus dem Unterbau vermischt, zur Entsorgung weggeführt. Bei der am Ort mit Spezialmaschinen ausgeführten **Schotterreinigung** handelt es sich im Wesentlichen um eine Siebung und Auf trennung des Materials, das mit einer Räumkette, mit einem Becherwerk oder mit einer Fräse ausgehoben wird. Die gröberen Schotteranteile 22 (32) bis 45 (63) mm werden auf der Siebanlage abgetrennt und, ergänzt mit neu zugeführtem Schotter, wieder eingebaut. Die feineren Anteile und das Überkorn (grösser als 45/63mm) gelangen über Förderbänder in die Kübel der dazu entwickelten selbstfahrenden Spezialwagen eines sog. TREVAC-Verladezuges, eines *train d'évacuation de criblures*. Als Blockzug führt dieser tagsüber Material in die Aufbereitungsanlage oder zur Deponierung, das sonst in der Nacht und auf der Strasse mit mehr als 100 Lkws transportiert werden müsste.

Bei **Änderungen und Umbauten** von Fahrbahnen werden vielfach gleichzeitig mit der Erneuerung des Oberbaus auch Teile des Unterbaus oder der Unterbau als Ganzes mit neuen Materialien ersetzt, zusätzliche Kies-Sand-Schichten eingebracht und die Trennung der einzelnen Schichten durch Geotextilien verbessert. Dies wird als Totalumbau mit Unterbausanierung bezeichnet. Falls der Unterbau den Anforderungen nicht mehr genügt und Zwangspunkte, zum Beispiel bei Unterführungen oder Brücken, die Höhenlage des Gleises bestimmen, werden auch Materialien aus dem Untergrund entfernt. Die umgebaute Fahrbahn vermag dann den höheren Anforderungen zu genügen. Auch für solche Arbeiten gibt es Spezialmaschinen, die den Eisenbahnschotter aufbereiten und zum Teil wieder einbauen, und das restliche Material auf Spezialwaggons zur Entsorgung verladen. Es kommen aber auch einfache Maschinen zum Einsatz (zum Beispiel schienengängige Bagger), bei denen die Trennung zwischen Eisenbahnschotter, Kies-Sand-Schichten des Unterbaus und Untergrundmaterialien kaum mit vertretbarem Aufwand ausgeführt werden kann.

Aufgrund der zur Gleisbettung eingebrochenen Schichten und der zum Einsatz gelangenden Maschinen können folgende Materialien unterschieden werden (gemäß geltendem technischen Reglement der Eisenbahnunternehmungen [10]):

	<b>Schienen Schwellen</b>
<b>Oberbau</b>	<b>Schotter</b> gesamt 0-63 mm
	<b>Grobschotter</b> > 22(32) < 63 mm <b>Ausfallschotter</b> 0 < 22(32) mm
<b>Unterbau</b>	<b>diverse Schichten</b> (Sperr-, Fundations- und Übergangsschichten, verbesserter Untergrund, Damm)
<b>Untergrund</b>	gewachsener Boden und/oder Fels

Das Diagramm zeigt die mögliche Materialauf trennung nach eingebrochenen Schichten. Es besteht aus drei Hauptabschnitten: Oberbau, Unterbau und Untergrund. Der Oberbau ist in Schotter (gesamt 0-63 mm) und Schotter (Grobschotter > 22(32) < 63 mm sowie Ausfallschotter 0 < 22(32) mm) unterteilt. Der Unterbau umfasst diverse Schichten wie Sperr-, Fundations- und Übergangsschichten, verbesserter Untergrund und Damm. Der Untergrund besteht aus gewachsener Boden und/oder Fels. Die Materialien sind durch Pfeile (1-8) in verschiedene Abfallkategorien unterteilt: 1. Schotter (gesamt 0-63 mm), 2. Ausfallschotter (0 < 22(32) mm), 3. Unterbaumaterialien (diverse Schichten), 4. Materialien aus dem Untergrund (gewachsener Boden und/oder Fels), 5. Unterbaumaterialien (diverse Schichten), 6. Untergrund (gewachsener Boden und/oder Fels), 7. Unterbaumaterialien (diverse Schichten), 8. Untergrund (gewachsener Boden und/oder Fels).

**Abb. 1: Mögliche Materialauf trennung nach eingebrochenen Schichten**

Die Unterbaumaterialien ⑦ und Materialien aus dem Untergrund ⑧ fallen nur in Ausnahmefällen separat an und sind daher bisher auch nicht systematisch separat analysiert worden. Im Folgenden werden diese Materialien daher nicht mehr als eigene Abfallkategorien weitergeführt.

### 3.2 Abfallmengen

Gemäss Vorgaben der Technische Verordnung über Abfälle sind die bei Bauarbeiten an Fahrbahnen anfallenden Abfälle in erster Linie zu verwerten. Falls dies nicht direkt möglich oder aufgrund von Verschmutzungen nicht sinnvoll ist, sind sie so zu behandeln, dass der grösste Teil verwertet werden kann, und nur die Rückstände TVA-konform deponiert werden müssen. Unabdingbare Voraussetzung dazu ist eine möglichst weit gehende Trennung der Abfälle. Massgebend sind dabei:

- Art und Verschmutzungsgrad der Materialien,
- die Möglichkeiten der Trennung, die begrenzt sind
  - aufgrund der verfügbaren technischen Mittel auf der Baustelle oder in der Aufbereitungsanlage;
  - aufgrund der verfügbaren, noch als verhältnismässig angesehenen finanziellen Mittel, und
  - durch die gegebenen Baustellen- und Wetterbedingungen.

Kritik der zuständigen kantonalen Umweltschutzfachstellen an der Entsorgungspraxis der Eisenbahnunternehmungen ergab sich in den letzten Jahren vor allem bezüglich der Verwertung ungeeigneter Materialien und der Ablagerung von belastetem Schotter ausserhalb TVA-konformer Deponien. Im Hinblick auf die Erarbeitung einer Richtlinie werden in den folgenden Kapiteln die heute und in Zukunft wahr-

scheinlich anfallenden Abfallmengen, deren Schadstoffbelastungen und Entsorgungswege beschrieben und kommentiert. Grundlagen dazu bilden einerseits recht umfangreiche Analysenresultate, die vor allem im Auftrag der SBB in den letzten 10 Jahren ausgeführt wurden, sowie nicht sehr detaillierte statistische Angaben zu den Abfallmengen, die jedoch genügen, um die Bedeutung der Problematik aufzuzeigen.

Die Linienlänge des schweizerischen Eisenbahnnetzes beträgt gesamthaft rund 5'000 km. Davon betreiben die SBB rund 60%, die anderen Eisenbahnunternehmungen 40%. Gesamthaft ergeben die verlegten Gleise jedoch eine Länge von rund 11'000 km (Haupt- und Nebengleise; [12,13]). Zur Zeit erneuern die SBB jährlich auf rund 2% ihrer rund 7'400 km den Oberbau, was rund 140 bis 160 km entspricht. Auf rund  $\frac{1}{5}$  dieser Strecke, d.h. auf rund 30 km, wird eine komplette Bettungserneuerung ausgeführt [11].

Geht man davon aus, dass die konzessionierten Eisenbahnunternehmungen ihre Gleise in längeren Intervallen erneuern (geringere Verkehrsbelastungen ergeben auch geringeren Verschleiss) und dass normalerweise bei Erneuerungen wegen der weniger anspruchsvollen Gleisbettung erheblich weniger Material abgeführt wird, lassen sich die jährlich anfallenden Mengen aufgrund der verfügbaren Angaben der Eisenbahnunternehmungen gesamthaft auf rund 350'000 m<sup>3</sup> pro Jahr angeben. (s. unten, Tab. 1, Abfallmengen).

		<b>erneuert pro Jahr</b>	<b>Schotter-Anfall pro m<sup>1</sup></b>	<b>Schotter-Menge pro Jahr</b>
<b>SBB</b>	Oberbauerneuerungen (1)	120 km	0.6 - 1 m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	72 - 120'000 m <sup>3</sup>
	Erneuerung Gleisbettung (2)	30 km	4 - 6 m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	120 - 180'000 m <sup>3</sup>
	Total SBB	150 km		192 - 300'000 m <sup>3</sup>
<b>andere Bahnen</b>	Oberbauerneuerungen (1)	60 km	0.5 - 0.75 m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	30 - 45'000 m <sup>3</sup>
	Erneuerung Gleisbettung (2)	12 km	3 - 5 m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	36 - 60'000 m <sup>3</sup>
	Total andere Bahnen	70 km		66 - 105'000 m <sup>3</sup>
<b>Total (SBB + andere Bahnen)</b>		<b>220 km</b>		<b>260 - 405'000 m<sup>3</sup></b> <b>ca. <math>\varnothing</math> 350'000 m<sup>3/a</sup></b>

**Abb. 2: Pro Jahr anfallende Abfallmengen** (1 m<sup>3</sup> Schotter = rund 1.7 t)

- (1) enthält fast nur Material der Korngrösse 0 bis 22 (32) mm, dies entspricht dem bei der Schotterreinigung ausgesiebten, abtransportierten 'Feinschotter' bzw. ca.  $\frac{1}{4}$  des gesamten Schotters)
- (2) Unausgesiebtes Gemisch aus Schotter und Kiessand aus dem Unterbau, in einzelnen Fällen auch Anteile aus dem Untergrund (0 bis 45/63 mm)

### **3.3 Arten und Quellen von Schadstoffen**

Die Entsorgungsart der anfallenden Abfälle ist in erster Linie abhängig von der Belastung der Materialien mit Schadstoffen, die während der Betriebszeit in den Schotter gelangten und dort weder ausgewaschen noch abgebaut wurden. Für die Art der Verwertung ebenfalls entscheidend sind die bautechnischen Eigenschaften der Abfälle, auf die hier jedoch nicht näher einzugehen ist.

#### **3.31 Schwermetalle**

Naturgemäß lassen sich Metalle mit den üblichen Verfahren nur in sehr geringen Konzentrationen aus mineralischen Abfällen eluieren. Zur ökologischen Beurteilung allfälliger Verschmutzungen mit Metallen muss man daher Gesamtgehalte bestimmen. Bei der Beurteilung des bahnspezifischen Metalleintrages sind die erhöhten Gehalte zu berücksichtigen, die natürlicherweise in Eisenbahnschotter vorhanden sein können (so vor allem erhöhte Gehalte von Fe und Cu, evtl. auch Pb und Zn), sowie der "normale" Eintrag über die Niederschläge.

Der bahnspezifische Metalleintrag (v.a. Fe, Zn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) erfolgt über:

- den Abrieb der eingesetzten Materialien
  - Bremsklötze und -beläge
  - Schienen, Räder
  - Fahrleitungen, Stromabnehmer
- Abfälle bei Unterhalts-/Erneuerungsarbeiten an Masten, Stahlkonstruktionen etc.
- Schmiermittel (sehr geringer Anteil).

#### **3.32 Organische Schadstoffe**

Der bahnspezifische Eintrag von organischen Schadstoffen (vor allem Kohlenwasserstoffe, PAK und Herbizide) erfolgt über:

- Freisetzung aus eingesetztem Material, v.a. imprägnierte Holzschwellen,
- Die für Unterhaltsarbeiten und im Betrieb eingesetzten Hilfsstoffe
  - Herbizide
  - Schmiermittel (Weichen, Achsen, Puffer, Spurkranz)
- flüssige und feste Abfälle aus dem Bahnbetrieb

#### **3.33 Feinstanteile: Keine Schadstoffe, aber bautechnisch unerwünscht**

Bautechnisch störend bei der direkten Verwertung ohne Aufbereitung können die sehr feinen Bestandteile der anfallenden Abfälle werden (geringere Kompaktierbarkeit, Frostsicherheit fraglich). Diese stammen zu einem geringen Teil aus Staubeintrag, zur Hauptsache jedoch aus dem Abrieb des Schotters infolge mechanischer Beanspruchung durch Betrieb und Unterhaltsarbeiten sowie durch eine Vermischung des Eisenbahnschotters mit feinkörnigeren Schichten des Unterbaus oder gar des Untergrundes. Diese Vermischung erfolgt zum Teil während des Betriebes als Folge von Erschütterungen, die bei ungenügenden Trennschichten Materialien nach oben in den Schotter "pumpen", zum Teil sind sie bedingt durch die zum Ein-

satz gelangenden Aushubmaschinen und die Bauvorgänge, die nicht auf einen schichtweisen Abtrag ausgerichtet sind. Die Vermischung mit unerwünschten Feinanteilen ist jedoch in den seltensten Fällen ausschlaggebend für die Entsorgungsart, da das Material mit wenig mechanischem Aufwand aufbereitet werden könnte und in den meisten Fällen die "chemische" Belastung, die Belastung mit Schadstoffen, die Möglichkeiten zur Verwertung einschränkt.

## 3.4 Ermittelte Schadstoffbelastungen

### 3.41 Ausgeführte Analysen

Seit Anfang der 80-er Jahre hat v.a. die SBB versucht, durch systematische Untersuchungen die Belastungen aus dem Bahnbetrieb genauer zu erfassen. Dabei verlagerte sich allmählich die Fragestellung. Zu Beginn standen eher Befürchtungen über Gewässer- und Bodenbelastungen durch Herbizide im Vordergrund. Die Verschärfung der Abfallgesetzgebung lenkte dann die Aufmerksamkeit vermehrt auf die Frage, welche Fraktionen sinnvollerweise ohne Aufbereitung direkt verwertet werden könnten. Bei den Aufbereitungsanlagen ging es um deren Leistungsfähigkeit, um die Restbelastung der behandelten Materialien und um die Entsorgungsart der Behandlungsrückstände. Die Untersuchungsprogramme waren jeweils auf die Fragestellungen im konkreten Fall ausgerichtet. Es versteht sich von selbst, dass es im Nachhinein schwierig ist, aus diesen früheren Arbeiten, ausgeführt unter jeweils unterschiedlichen Voraussetzungen und unter anderen Rahmenbedingungen, generell gültige Aussagen zu machen. Die Voraussetzungen, ohne deren Kenntnis die Resultate kaum genügend zuverlässig interpretiert werden können, sind nicht mehr im Detail bekannt oder rekonstruierbar (Entnahmeort: auf offener Strecke, im Bereich von Weichen, Rangiergleisen, Bahnhöfen? Entnahmeart: nur oberflächlich oder über gesamtes Aushubprofil, nur besonders verschmutzt aussehende oder besonders 'repräsentativ' erscheinende Bereiche, nur Feinanteile oder Gesamtprobe? Entnahmemengen; Art der Probenaufbereitung: Herstellung von Mischproben, Aussiebung der gröberen Fraktionen, Zerkleinerung? Analysenmethoden?).

In enger Zusammenarbeit mit Kantonen haben die SBB 1995 begonnen, die Methodik zur Abklärung der Schadstoffbelastung ihrer Abfälle zu standardisieren. Dank gezielten Untersuchungen seit 1996 liegen jetzt zuverlässigere Angaben über die Schadstoffbelastung von Gleisaushub vor. Diese Untersuchungen wurden vor allem vom damaligen Kreis 3/Zürich der SBB im Zusammenhang mit den Oberbauerneuerungsprogrammen der Jahre 1997 bis 1999 und in sehr enger Zusammenarbeit mit dem kantonalen Gewässerschutzaamt geplant und von unabhängigen Fachleuten begleitet (Ingenieurbüro Heierli). Die Analysen wurden in anerkannten Labors (vor allem durch BMG und Bachema) ausgeführt. Die Beurteilung der Resultate unter Einbezug der Fachbehörde erlaubte es, die Untersuchungsprogramme der Folgejahre jeweils anzupassen. Resultat dieser Bemühungen ist ein standardisiertes Vorgehen für chemische Untersuchungen, das verlässlichere Resultate verspricht. Die neu festgelegten Details zur Entnahme, Aufbereitung und Analyse von Gleisaushub-Proben wurden in einer Arbeitsanweisung zusammengestellt. Diese diente als Grundlage für die Erarbeitung der VSS-Norm SN 671 562 ([8]; zur Zeit in der Bereinigungsphase).

### 3.42 Resultate der Untersuchungen

Mehr als 20 Spezialberichte und Untersuchungen über die Schadstoffbelastung von Eisenbahnschotter und über daraus hergestellte Recyclingbaustoffe wurden 1994 in einem Synthesebericht [14] im Auftrag der SBB aufgeführt und kommentiert. Bereits damals zeigte sich,

- dass aufgrund festgestellter Schadstoffbelastungen einzelne Abfallkategorien nicht ohne Einschränkungen verwertet oder als unverschmutzter Aushub angesehen werden können;
- dass für die Art der Entsorgung nicht die Schwermetallbelastung oder die Herbizidrückstände massgebend sind, sondern die Belastung mit Kohlenwasserstoffen;

Die Auswertung von rund 160 Schotterproben ergab folgende Schwermetallbelastungen (bezogen auf die Richtwerte U der Aushubrichtlinie [7]):

Blei	> 97%	der Proben enthalten	< 50 mg/kg
Kupfer	> 75%	" "	< 40 mg/kg
Cadmium	> 98%	" "	< 1 mg/kg
Chrom gs.	> 80%	" "	< 50 mg/kg
Zink	> 95%	" "	< 150 mg/kg
Nickel	> 90%	" "	< 50 mg/kg

(Dabei ist zu berücksichtigen, dass in dieser Zusammenstellung nicht nach den unterschiedlich belasteten Fraktionen unterschieden wurde!)

- dass die relativ grossen Schwankungen der Analyseresultate einerseits auf die unterschiedliche, nur noch zu wenig genau rekonstruierbaren Herkunft der Materialien zurückzuführen waren, anderseits aber auch auf unterschiedliche Methoden bei der Probenentnahme und Probenaufbereitung sowie bei der Analyse.

Im Rahmen der Oberbauerneuerungs-Planungen im Kreis 3 der SBB wurden zwischen 1995 und 1999 umfangreiche Untersuchungen über die Belastung des Gleisaushubs ausgeführt. Art der Probenahme, Probenaufbereitung und die zu untersuchenden Parameter wurden jeweils nach detaillierter Absprache mit der kantonalen Fachstelle festgelegt. Basierend auf Resultaten der Untersuchungen vor 1994 sowie auf die im Rahmen dieser Arbeiten in den Jahren 1995 und 1996 ausgeführten Analysen wurde ab 1997 auf weitere Untersuchungen der Schwermetallbelastungen verzichtet. Sie wurden für die Entsorgungsart als nicht relevant eingeschätzt. Der Wissensstand aus diesen Untersuchungen ist in einem Bericht dargestellt [17]. In einem Anhang 1 ist eine Sammlung von Analysenresultaten beigefügt, die auch Resultate anderer Untersuchungen enthält. Darunter befinden sich Untersuchungsresultate, die unter Anwendung der entwickelten Standard-Probenahmeverfahren in den Jahren 1997 und 1998 im Rahmen einer Stoffflussstudie für das Bewilligungsverfahren der Aufbereitungsanlage Bäretswil zustande kamen [16]. Es ist vorgesehen, diese Datensammlung von allen Eisenbahnunternehmungen weiterzuführen und die Resultate verfügbar zu halten.

Von 1998 bis 1999 wurden von der Rhätischen Bahn ebenfalls eine Reihe von Untersuchungen in Auftrag gegeben und in einem Bericht [19] zusammengestellt.

Die wichtigsten Resultate der erwähnten Berichte sind:

1. Die Belastung aller aus dem Gleisbereich der Eisenbahnunternehmungen anfallenden Abfälle mit Schwermetallen ist sehr gering und liegt unterhalb der Richtwerte U der Aushubrichtlinie des Bundes [7]. Bezuglich der Schwermetalle heisst dies, dass diese Abfälle ohne Einschränkungen wie unverschmutzter Aushub verwertet werden könnten.
2. Rückstände aus früher eingesetzten Bodenherbiziden (Atrazin, Prometryn, Diuron, Bromacil, Chlortoluron) sind praktisch kaum mehr mess- oder feststellbar. Die sehr geringen allenfalls noch nachweisbaren Konzentrationen von Bodenherbiziden haben keinen Einfluss auf die Verwertbarkeit der Abfälle.
3. Für die Entsorgung massgebend sind die Belastungen von Materialien, die mit Kohlenwasserstoffen aus Schmierstoffen und mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) aus der Teeröl-Imprägnierung von Holzschwellen in Berührung kamen. Andere Schadstoffe sind nicht relevant (s. auch Punkt 3.3, oben).
4. Für Gleisbettungsmaterialien, auf denen Holzschwellen lagen, ist in erster Linie die Belastung mit PAK's für die Entsorgung massgebend, und dies zwar unbesehen, ob es sich dabei um offene Strecken, um Bahnhof- oder um Rangierbereiche handelt. (Bestimmt wurden die 16 Verbindungen der EPA, darunter auch Benzo[a]pyren B[a]P).
5. Gleisbettungsmaterialien in Bereichen von Weichen, Bahnhöfen und Rangiereinrichtungen sind in erster Linie mit mineralischen Kohlenwasserstoffen (KW) verschmutzt. Eine beschränkte Verwertung dieser Materialien ohne Aufbereitung (analog tolerierbarem Aushub gemäss Aushubrichtlinie) ist nur zulässig, falls sichergestellt ist, dass stärker verschmutzte Abfälle bereits auf der Baustelle oder in einer Aufbereitungsanlage abgetrennt sind.
6. Die Schadstoffbelastungen von Materialien aus Rangiergleisen, aus Umschlagsbereichen und aus Straßenüberführungen sind zum Teil erheblich und schwanken sehr stark. Eine Verwertung solcher Materialien ist nur zulässig, wenn über Schadstoffanalysen an den anfallenden Abfällen oder an daraus hergestellten Baustoffen nachgewiesen wird, dass die Qualitätsanforderungen erfüllt sind.

Abb. 3 zeigt die Materialqualität, beurteilt nach der Aushubrichtlinie des Bundes.

Schotter - Herkunft	durchschnittlicher Schadstoffgehalt [mg/kg]		
	S PAK	B[a]P	KW
<b>Holzschwellengleise</b>			
- Streckenbereich	$\varnothing < 15$	$\varnothing < 1$	$\varnothing < 50$
- Weichenbereich	$\varnothing < 15$	$\varnothing < 1$	$\varnothing < 250$
<b>Stahl-/Betonschwellengleise</b>			
- Streckenbereich	$\varnothing < 1$	$\varnothing < 0.1$	$\varnothing < 50$
- Weichenbereich	$\varnothing < 1$	$\varnothing < 0.1$	$\varnothing < 250$
Ausfallschotter			
- Holzschwellen	grosse Streuung	grosse Streuung	grosse Streuung
- Stahl-/Betonschwellen	$\varnothing < 15$	$\varnothing < 1$	$\varnothing < 250$
<b>Zum Vergleich: Richtwerte der Aushubrichtlinie des Bundes</b>			
unverschmutzter Aushub <b>(Richtwert U)</b>	<b>1</b>	<b>0.1</b>	<b>50</b>
tolerierbarer Aushub <b>(Richtwert T)</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>250</b>

### Abb.3: Üblicherweise auftretende Schadstoffbelastungen

(gemäss BMG/IBH [17], Auswertung von 380 Messwerten; Analysen nach standardisierten Methoden, ausgeführt zwischen 4/1996 und 9/1999)

In der Aushubrichtlinie des Bundes [7] wurden die Richtwerte für B[a]P aufgrund seines hohen Schadstoffpotentiales um Faktoren 10 (für U) bzw. 15 (für T) gegenüber  $\Sigma$  PAK tiefer festgelegt. Da ja  $\Sigma$  PAK die Summe der 16 einzeln bestimmten EPA-PAK's darstellt kann aufgrund der vorhandenen Analysenresultate einfach gezeigt werden, dass die B[a]P-Gehalte für die Wahl der Entsorgungsart nicht bestimmt sind: Die B[a]P-Gehalte betragen 1 bis 5% der  $\Sigma$  PAK. Daraus folgt mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit, dass die Richtwerte für B[a]P ebenfalls eingehalten sind, falls die Richtwerte  $\Sigma$  PAK nicht überschritten werden.

### Qualität des am Ort aufbereiteten Schotters

Bei der Schotterreinigung mit schienengebundenen Spezialmaschinen werden die feineren Anteile 0 - 22 bzw. 32 mm auf einem Rüttelsieb entfernt und abtransportiert. Der verbleibende Grobschotter, rund  $\frac{3}{4}$  des gesamten ausgehobenen Schotters, werden wieder eingebaut und mit neuem Schotter ergänzt. Diese Praxis wäre in einigen Fällen nicht im Sinne der neuen Regelungen der Aushubrichtlinie, da die "Reinigung" durch diese Siebung nicht in jedem Falle garantieren kann, dass der weiterverwendete Schotter die Anforderungen an unverschmutztes Material erfüllt. Es ist jedoch einerseits davon auszugehen, dass die anfallenden Materialien bei weiteren Eingriffen in das Gleisbett nicht als unverschmutzt verwertet werden. Anderseits wäre eine vollständige Unterbindung dieser Praxis nur in denjenigen (unwahrscheinlichen) Fällen gerefftfertigt, bei denen die Verschmutzungen des Gleisbettungsmaterials Quellen von unzulässigen Einwirkungen darstellen und ein vollständiger Ersatz der belasteten Materialien aufgrund der Regelungen der Altlastenverordnung erforderlich wäre.

## **Qualität der in einer Trockensieb-Anlage aufbereiteten Materialfraktionen**

Über die Leistungsfähigkeit von Anlagen zur Schadstoffentfrachtung durch Trockensiebung stehen zu wenig gesicherte Angaben zur Verfügung, um generell gültige Aussagen machen zu können. Im Wesentlichen handelt es sich bei einer Siebung um eine bautechnisch relevante Qualitätsverbesserung. Infolge der ungenügenden Abtrennung von stärker belasteten Feinanteilen ist die Schadstoffentfrachtung jedoch gering. Eine chargeweise Behandlung und Verwertung entsprechend der unterschiedlichen Verschmutzungen dürfte in der Praxis kaum durchführbar sein. Es ist daher anzunehmen, dass aus einem Gemisch unterschiedlich belasteter Abfälle auch unterschiedlich belastete Fraktionen hergestellt werden, deren sachgemäße Verwertung durch entsprechende Analysen im Einzelfall nachzuweisen ist.

## **Qualität der Materialfraktionen einer Nass-Aufbereitungsanlage**

Im Rahmen von kantonalen Bewilligungsverfahren wurden umfangreiche anlagen-spezifische Untersuchungen über die Qualität der hergestellten ("gewaschenen") Recyclingbaustoffe Kies, Kies-Sand und Sand ausgeführt. Es wurde nachgewiesen, dass deren Qualitäten eine Verwertung als unverschmutzte Materialien zulassen (s. zum Beispiel Grossversuch Bäretswil, [16]). Die Leistungsfähigkeit jeder Anlage ist jedoch abhängig von der Auslegung, der Dimensionierung und der Betriebsweise der einzelnen Anlageteile. Entsprechend den unterschiedlichen Ausgangsbelastungen schwanken auch die Belastungen der ausgeschiedenen Fremdstoffe und der Waschschlämme. Letztere erfüllen in der Regel die Anforderungen zur Ablagerung auf einer Inertstoffdeponie. Ob eine Verwertung der Schlämme in der Ziegelei- oder Zementindustrie sachgemäß erfolgen kann, ist durch entsprechende Analysen nachzuweisen.

### **3.43 Beurteilung der Analyseresultate**

Anlass für Untersuchungen vor dem Jahre 1995 boten verschiedene Fragestellungen (betr. Mobilität bzw. Rückständen von Herbiziden, bautechnische und ökologische Eignung zur Verwertung diverser Materialfraktionen). Entsprechend wurden auch Probenahme und -aufbereitung sowie Analysenmethoden unterschiedlich festgelegt. Die Analysenresultate sind demgemäß untereinander nicht direkt vergleichbar, die Rahmenbedingungen im Nachhinein nicht mehr genügend genau rekonstruierbar und daher generelle Aussagen aufgrund solcher Daten kaum möglich.

Die Resultate der in den letzten Jahren ausgeführten, gezielt auf die ökologische Beurteilung der Materialien ausgerichteten Untersuchungen lassen jedoch generell gültige Aussagen zu, da sie als repräsentativ für die üblicherweise vorgenommene Auf trennung der Materialien bezeichnet werden können und nach einem standardisierten Verfahren zustande kamen, welches direkte Vergleiche erlaubt.

In der Fachliteratur und in Grundlagen zur Erarbeitung von ausländischen Regelungen findet man Angaben über Belastungen, die zum Teil erheblich von den aufgeföhrten, in der Schweiz ermittelten Werten abweichen. Zu einem direkten Vergleich können diese jedoch nicht herangezogen werden, weil:

- vielfach nur die Feinanteile analysiert wurden und
- teilweise gezielt oberflächliche Verkrustungen, sog. hot spots untersucht wurden.

## 4. MASSGEBENDE ELEMENTE FÜR DIE KÜNFTIGE ENT-SORGUNG VON GLEISAUSHUB

### 4.1 Geltende Regelungen für die Entsorgung von Gleisaushub

Massgebend für die Entsorgung von Gleisaushub sind vor allem (s. ausführliches Quellenverzeichnis im Anhang):

- das Umweltschutzgesetz, USG [1]
- die Technische Verordnung über Abfälle, TVA [3]
- die Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten, Altlasten-Verordnung [5]
- das Gewässerschutzgesetz [2] und zugehörige Verordnungen
- die Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen, VVS [4]
- die einschlägigen Richtlinien des Bundes, vor allem die Aushubrichtlinie [7] und die "Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle" [6]
- Normen, Weisungen, Empfehlungen der Baubranche (u.a. SBB Reglement R 211.1, [10])

Die TVA verlangt eine separate Erfassung bzw. Auf trennung der Abfälle, um die Zuordnung auf die sachgemäßen Entsorgungswege vornehmen zu können. Im folgenden werden nur noch diejenigen Abfälle betrachtet, die spezifische Verschmutzungen aus den eingesetzten Materialien und aus dem Bahnbetrieb aufweisen. Für diese (in Abb. 4 grau markiert) haben die Eisenbahnunternehmungen konkrete Vorschläge für die Entsorgung auszuarbeiten.

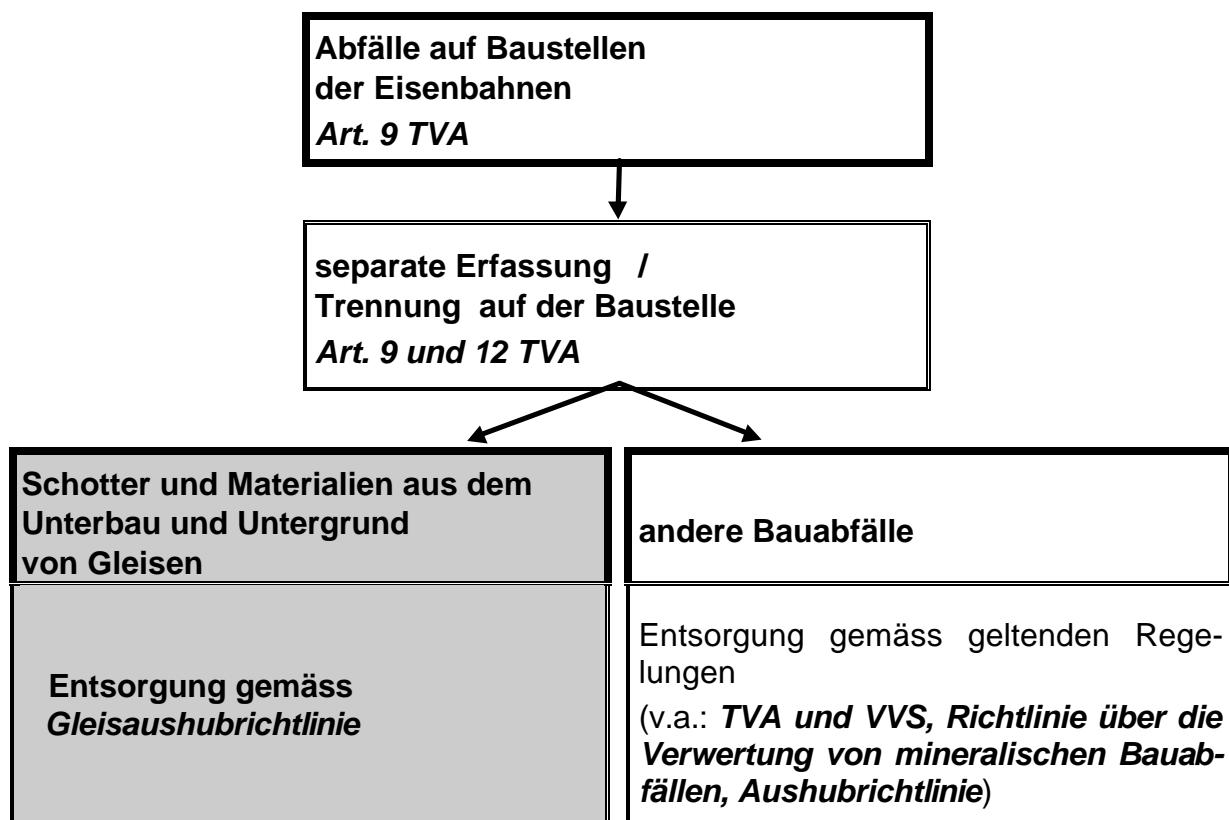


Abb. 4: Geltungsbereich (grau markiert) der Gleisauhubrichtlinie

Bauabfälle der Eisenbahnunternehmungen, die keine oder nur unbedeutende bahn-spezifische Verschmutzungen aufweisen, sind gemäss den verbindlichen Vorschriften und konkretisierenden Richtlinien des Bundes zu entsorgen.

Es sind dies vor allem:

- grosse Mengen unverschmutzter Aushub, Abraum- und Tunnelausbruch bei Neubaustrecken
- Abfälle aus Hoch- und Tiefbauten, die an die Fahrbahn angrenzen, sowie aus seitlichen Einrichtungen (Fahrleitungen, Gebäude, Brücken, Überführungen, Stützmauern, Böschungsverstärkungen, etc.)
- Bei Umbauten, Erneuerungen oder Sanierungen anfallende Aushubmaterialien, die zum Teil unverschmutzt sind (zum Beispiel Materialien aus dem Untergrund von Fahrbahnen bei Umbauten)

Fallen grössere Mengen der genannten Abfallkategorien an, müssen diese in Absprache mit den kantonalen Fachstellen für Umweltschutz entsprechend der Abfallplanung des Kantons entsorgt werden, da diese für die lokale Abfallbewirtschaftung von erheblicher Bedeutung sein können. Im Vordergrund steht die Verwertung der mineralischen Bauabfälle. Standorte mit verschmutzten Materialien aus Unfällen müssen gemäss Altlastenverordnung untersucht und nötigenfalls saniert werden.

Die Entsorgung von Gleisaushub aus Altlasten ist gemäss den Vorschriften der Altlasten-Verordnung im Rahmen des Sanierungsprojektes festzulegen.

## 4.2 Stellenwert der Entsorgungskosten

Innerhalb des gesamten Betriebsaufwandes der Eisenbahnunternehmungen muss nur ein geringer Anteil für die Entsorgung von Gleisaushub aufgewendet werden, selbst wenn die Entsorgung infolge von zusätzlich zu treffenden Massnahmen gegenüber bisheriger Praxis massiv teurer würde.

	<b>SBB</b>	<b>KTU-Bahnen</b>	<b>Total</b>
<b>Anlagen</b>			
Streckennetz ①	3'000 km	2'000 km	5'000 km
Normalspur-Strecken			3'700 km
Schmalspur-Strecken			1'400 km
Einspur-Strecken			3'300 km
Mehrspur-Strecken			1'700 km
Länge der Gleise <i>(ca. 40% Holzschwellen bei SBB)</i>	7'400 km	3'500 km	11'000 km
<b>Leistungen</b>			
jährlich beförderte Personen	250 Mio.	125 Mio.	375 Mio.
Anteil der beförderten Personen	70%	30%	
Personenkilometer-Anteile	87%	13%	
1 Person hat im Mittel zurückgelegt	32 km	12 km	
Tonnenkilometer	8'300 Mio.	560 Mio.	
Anteil Tonnenkilometer	94%	6%	
1 Tonne hat im Mittel zurückgelegt	160 km	35 km	

① Zum Vergleich: Nationalstrassennetz: 1'600 km, Kantonsstrassennetz: 18'000 km

**Abb. 5: Einige statistische Angaben zum schweizerischen Eisenbahnnetz**

(Angaben BFS (12) und (13) 1995/1996, Zahlen gerundet)

Zum Erbringen der in Abb. 5 dargestellten Leistungen fallen für die Eisenbahnunternehmungen verschiedene Kosten an. Für die Erneuerung von Gleisen und Weichen investieren die SBB allein jährlich rund 235 Mio. Franken ( $\sim 150 + 85$  Mio. Fr.; [11]). Zusammen mit den regelmässigen Unterhaltsarbeiten an Gleisen und Weichen ( $\sim 70 + 60$  Mio. Fr.) setzen die SBB rund 6% des Gesamtaufwandes für die Fahrbahnerhaltung ein. Die konzessionierten Bahnen dürften prozentual eher mehr dafür einsetzen, da sie einen erheblich höheren Anteil am gesamten Betriebsaufwand als Sachaufwand ausweisen (30%), als die SBB (20%).

Der Anteil der Aufbereitungskosten an den gesamten Erneuerungskosten liegt bei einer reinen Oberbauerneuerung im Bereich weniger Prozente. Bedeutsamer wird dieser Anteil, wenn es sich um Umbauten mit Erneuerung der Gleisbettung handelt (s. Abb. 6). Unter ungünstigsten Annahmen gerechnet, müssten die SBB somit rund 3% des Gesamtaufwandes (von rund 6 Mia. Fr.) für die Aufbereitung des anfallenden Gleisaushubs einsetzen.

Gesamt-kosten der Erneue-rung [Fr./m']	zu entsorgen-de Schotter-menge [m <sup>3</sup> / m']	Aufbereitungsko-sten		Anteil der Aufberei-tungskosten an den gesamten Erneue-rungskosten
		[Fr./ m <sup>3</sup> ]	[Fr. /m']	
Oberbau-erneuerung	900.-	0.5 (max. 1.2)	23.-	11.50 bis 27.60
Erneuerung der Gleisbet-tung	1'600.-	5 (max. 6.5)	23.-	115.- bis 150.-

**Abb. 6: Verhältnis Aufbereitungs- zu gesamten Erneuerungs- + Umbaukosten**

(z.T. grob geschätzte/gerundete Durchschnittswerte; Kosten für die Nass-Aufbereitung in einer spezialisierten Anlage. Transportkosten sind in diesen Zahlen nicht enthalten: Diese sind oft nochmals in der gleichen Größenordnung wie die Aufbereitungskosten).

## **4.3 Voraussichtliche Änderungen von Menge und Qualität des Gleisaushubs**

Im Verlaufe der letzten Jahre haben die Bahnbetreiber grossen Anstrengungen unternommen, um die Schadstoffe gesamthaft zu reduzieren. Erfolgreiche Massnahmen zur Reduktion des Schadstoffeintrages wurden bereits auf folgenden Ebenen getroffen:

- **Ersatz von ganzen Systemen**, zum Beispiel Umstellung auf Trockenlauf-Weichen, die keinerlei Schmiermittel mehr benötigen, oder der Einbau von geschlossenen WC-Anlagen in neuem Rollmaterial;
- **Ersatz von einzelnen Bauteilen**, aus denen weniger Schadstoffe freigesetzt werden; zum Beispiel Wechsel auf feuerverzinkte Metallkonstruktionen oder auf nicht mehr cadmierte Fahrdrähte;
- **Ersatz von problematischen Hilfsstoffen**, zum Beispiel Boden- durch Blattherbizide ersetzt, die innert weniger Monate praktisch nicht mehr nachweisbar sind;
- **Ausführung von Unterhaltsarbeiten gemäss dem Stand der Technik**, zum Beispiel bei der Erneuerung von Korrosionsschutzanstrichen.

### **4.3.1 Eingesetzte Materialien**

#### **Holzschwellen**

Die Schadstofffreisetzung aus den Holzschwellen ist bestimmt durch die Art der Schwellen, die in den letzten ca. 20 Jahren eingebaut wurden. Bis zum Jahre 1992 wurden Holzschwellen des WEI-Typs A eingebaut, die 50 - 500 ppm B[a]P enthielten (Typenbezeichnung gemäss Westeuropäischem Institut für Holzimprägnierung, die Eingang gefunden haben in die Normung des CEN/TC 38). Seit 1993 werden in der Schweiz praktisch nur noch Holzschwellen des Typs WEI B eingebaut, seit 1997 solche des Typs WEI C. Die B[a]P Gehalte wurden dabei auf < 50 ppm reduziert. Beim Typ C wurde eine zusätzliche Geruchsminderung erzielt. Dadurch wird die Belastung des Gleisaushubs durch Holzschwellen in den nächsten Jahren allmählich abnehmen. Diese Tendenz wird noch dadurch verstärkt, dass in den letzten Jahren vermehrt Beton- statt Holzschwellen, auch für Weichen, eingebaut werden.

#### **Schmierstoffe**

Die Belastung des Gleisaushubs mit Kohlenwasserstoffen aus Schmierstoffen wird in den kommenden Jahren durch zwei Tendenzen klar reduziert:

1. durch den Einbau von Trockenlauf-Weichen, die gar nicht mehr geschmiert werden müssen (seit 1990 erhöhte sich der Anteil an neu eingebauten Trockenlauf-Weichen kontinuierlich auf heute rund 2/3), und
2. durch die Verwendung von gesamthaft weniger Schmierstoffen und von Schmierstoffen, die biologisch abbaubar sind. (Nach dem Verbrauch der Lagerbestände von Schmiermitteln auf Mineralölbasis werden seit Mitte 1995 bei den SBB und auch bei vielen konzessionierten Bahnen nur noch Produkte eingesetzt, die biologisch abbaubar sind, weder Schwermetalle noch Halogene enthalten und keine kanzerogene, mutagene oder teratogene Inhaltsstoffe enthalten.)

## **Korrosionsschutz**

Vor 1960 wurden für den Korrosionsschutz bei Masten, Jochen und Brücken vor allem Bleimenninge verwendet. Aus technischen Gründen müssen für den Unterhalt ebenfalls Bleimenninge eingesetzt werden. Stahlbrücken wurden zum Teil auch mit zinkhaltige Beschichtungen behandelt. Seit 1990 werden vorwiegend feuerverzinkte Stahlkonstruktionen eingesetzt. Dadurch und durch den Einsatz von neuen Techniken zur Entfernung von Rost und alten Beschichtungen ist gewährleistet, dass der Eintrag von Schwermetallen aus Korrosionsschutzmassnahmen in den nächsten Jahren zusätzlich kontinuierlich abnehmen wird.

## **Schwermetalleintrag durch Verschleissteile**

Der Eintrag von vorwiegend Fe-Verbindungen infolge Abrieb von Schienen, Rädern, Bremsbelägen und Fahrdrähten erfordert keine speziellen Massnahmen bei der Entsorgung von Gleisaushub. Die bereits heute geringe Schwermetallbelastung wird in Zukunft durch folgende Veränderungen noch weiter reduziert:

- Die seit anfangs der 50-er Jahren eingesetzten Grauguss-Bremsklötzte (Pb und Zn-Gehalte von je ca. 3%) werden vermehrt durch Kunststoffe ersetzt;
- Für Fahrleitungen werden keine cadmierte Drähte mehr verwendet.

## **Herbizide**

Ende der 80-er Jahre erfolgte die Umstellung von Bodenherbiziden (Atrazin, Diuron, Pometryl, Bromacil u.a.) auf Blattherbizide. Seit 1993 werden nur noch Blattherbizide, ausschliesslich Glyphosat, eingesetzt. Auch die eingesetzte Menge wurde drastisch auf weniger als 40% der seinerzeit eingesetzten Wirkstoffe reduziert.

In einer Untersuchung der Eidgen. Forschungsanstalt Wädenswil [18] konnte nachgewiesen werden, dass das von allen Bahnbetreibern zur Vegetationskontrolle verwendete Glyphosat nicht ausgewaschen wird und sechs Monate nach der Anwendung in Schotter und Unterbaumaterialien nicht mehr nachweisbar ist (d. h. also abgebaut wurde).

## **Eintrag von Organika über WC-Anlagen**

Die Verschmutzung von Gleisaushub durch offene WC-Anlagen, eher ein hygienisches Problem für Bahnenutzer und Bewohner von Liegenschaften nahe von Gleisanlagen, als ein Problem für die Entsorgung von Gleisaushub, wird in den nächsten Jahren ebenfalls kontinuierlich reduziert:

- Regionalzüge verkehren zunehmend ohne WC;
- In neuem Rollmaterial werden geschlossene Anlagen eingebaut;
- Alte Wagen werden zum Teil mit Bioreaktoren umgerüstet, die nur noch Flüssiges direkt ableiten.

### **4.32 Erneuerungsbedarf**

Zwei Tendenzen mit gegensätzlichen Auswirkungen auf die Gleisaushubmengen sind festzustellen:

- Durch höhere Zugfrequenzen, Achslasten und Geschwindigkeiten dürfte sich die Menge des anfallenden Gleisaushubs erhöhen, da auf grösseren Anteilen der Strecke nicht nur der Oberbau erneuert, sondern auch der Unterbau verstärkt und somit die Gleisbettung verbessert werden müssen.
- Neben diesen technisch bedingten Änderungen dürften sich finanzielle Überlegungen gegenteilig auswirken: zur Kostenreduktion bzw. Optimierung ist es naheliegend, die Erneuerungsintervalle auf das zur Gewährleistung der Funktionsicherheit absolut nötige Minimum auszudehnen.

Auf Strecken, die sich noch im Ausbau befinden, dürfte kurz- bis mittelfristig eher mehr Gleisaushub anfallen. Auf anderen Strecken und gesamthaft gesehen sind längerfristig weniger Abfälle zu erwarten, da der Anteil an Strecken, die den erhöhten Anforderungen genügen, gesamthaft grösser sein wird.

### **4.33 Veränderungen von Bautechniken, Bauvorgängen und organisatorischen Rahmenbedingungen**

Auch für diesen Bereich lassen sich Tendenzen mit gegensätzlichen Auswirkungen auf die Abfallmengen ausmachen:

- Der Spielraum zur Optimierung der Abfallentsorgung nimmt eher ab, da den Massnahmen zur Qualitätssicherung der ausgeführten Bauarbeiten, zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit unter erschwerten Bedingungen (längere Betriebszeiten auf den Nebengleisen) und zur Verkürzung der Betriebsunterbrüche Priorität eingeräumt wird. Die Folge davon könnte sein, dass vermehrt Gleisaushub unterschiedlicher Qualität vermischt abgeführt wird und entsprechend auch vermehrt einer Behandlung zugeführt werden muss.
- Wegen zunehmender Kosten aufgrund der vermehrten internen Verrechnungsart für Transporte und aufgrund der Behandlung in Aufbereitungsanlagen könnte die Abgabe von Gleisaushub direkt ab Baustelle überall dort an Bedeutung gewinnen, wo dies überhaupt möglich ist und sinnvolle Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

### **4.34 Prognose der Aballmengen und -qualitäten der kommenden Jahre**

Es ist schwierig, diese oben beschriebenen unterschiedlichen Tendenzen mit gegensätzlichen Auswirkungen auf Abfallmengen und -qualitäten zu einer zuverlässigen Prognose zusammenzufassen. Selbstverständlich wird die Praxis der Entsorgung auch davon abhängen, wie rasch und wie konsequent die vorgesehenen neuen Regelungen für Gleisaushub umgesetzt werden.

In den nächsten paar Jahren ist etwa mit folgenden Mengen zu rechnen:

total rund	350 - 400'000 m <sup>3</sup> /a Gleisaushub
davon rund 1/3 oder	130'000 m <sup>3</sup> /a Ausfallschotter (aussortierte Feinanteile)
und rund 2/3 oder	270'000 m <sup>3</sup> /a Gesamtaushub

Aufgrund der sich in den nächsten Jahren allmählich auswirkenden Veränderungen ist davon auszugehen, dass, abgesehen von besonders belasteten Standorten (Unfälle mit umweltgefährdenden Stoffen):

- im Einflussbereich von Holzschwellen weiterhin die PAK-Belastungen für die Art der Entsorgung von Gleisaushub bestimmen werden, obwohl die Schadstoffemissionen aus den neu eingesetzten Schwellen gegenüber den alten Schwellen erheblich geringer sind;
- in Bereichen von Weichen, Bahnhöfen, Abstell- und Rangiergleisen weiterhin die Kohlenwasserstoffbelastungen für die Entsorgung von Gleisaushub massgebend sein wird;
- die für die Vegetationskontrolle eingesetzten Mittel keine spezielle Massnahmen bei der Entsorgung von Gleisaushub erfordern, falls die letzte Anwendung der heute eingesetzten Mittel mehr als ein halbes Jahr vor Beginn der Bauarbeiten erfolgte, wie es die SBB-Weisung "Chemische Vegetationskontrolle auf Bahn-anlagen" verlangt. .

## 5. ENTSORGUNGSWEGE

### 5.1 Beurteilung der heutigen Entsorgungswege

SBB und konzessionierte Privatbahnen entsorgen bereits heute erhebliche Mengen von Gleisaushub entsprechend den geltenden Vorschriften. Dies trifft besonders für diejenigen Abfälle zu, die in bewilligte Aufbereitungsanlagen gelangen. Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens haben diese den Leistungsnachweis erbracht, und durch die Auflagen der Kantone ist eine genügende Qualität der Produkte und eine umweltgerechte Verwertung gewährleistet. Daneben gelangen aber noch jährlich grosse Mengen unsachgemäß zur Verwertung oder zur Ablagerung.

Für Gleisaushub, der nicht aus offenen Strecken ohne Holzschwellen stammt, müssen vor allem folgende Entsorgungsarten klar als nicht sachgemäß bezeichnet werden, wenn nicht durch entsprechende Analysen nachgewiesen ist, dass die Richtwerte der Aushubrichtlinie des Bundes für PAK und KW eingehalten sind:

- die Verwertung von Schotter für die Verstärkung von Feld- und Waldwegen, als Materialersatz bei schwierigem Baugrund und für die Verwendung als Dammbaumaterial oder Kofferungen von unbefestigten Strassen;
- die Verwendung von Schotter für Geländeausplanungen;
- die Rückfüllung von Materialentnahmestellen.

## **5.2 Vorgaben für die zu erarbeitende Gleisaushubrichtlinie**

### **5.21 Geltungsbereich**

Abfälle aus Hoch- und Tiefbauten, die an die Fahrbahn angrenzen und die durch den Eisenbahnbetrieb nicht wesentlich beeinflusst wurden, unterscheiden sich bezüglich Schadstoffgehalt und anderer Materialeigenschaften nicht von Abfällen anderer Baustellen. Diese Bauabfälle sind gemäss der TVA sowie konkretisierender Richtlinien des Bundes aufzutrennen und zu entsorgen.

**Konkretisierende Regelungen braucht es nur für Schotter, Unterbau- und Untergrundmaterialien, die spezifisch durch den Bahnbetrieb verursachte Belastungen (vor allem mit PAK und KW) aufweisen. Aufgrund dieser spezifischen Belastung sollen für diese Materialien, zusammengefasst unter dem Begriff Gleisaushub, konkrete Regelungen im Sinne der Aushubrichtlinie des Bundes formuliert werden.**

Die Aushubrichtlinie hält fest, welche Anteile der bei Grab-, Tiefbau- und Untertagearbeiten anfallenden mineralischen Aushubmaterialien verwertet werden können. Diese Richtlinie enthält quantitative Kriterien zur Definition von "unverschmutztem" Aushubmaterial, das ohne Einschränkungen irgendwelcher Art verwertet werden kann. Nur geringe Schadstoffbelastungen aufweisende Aushubmaterialien oder daraus hergestellte Baustoffe können gemäss dieser Richtlinie ebenfalls verwertet werden, wenn gewährleistet ist, dass die vorgegebenen Qualitätsanforderungen erfüllt und spezielle Verwendungsvorschriften eingehalten werden. Materialien, die stärker mit Schadstoffen belastet sind, gelten als verschmutzt und müssen einer Behandlung zugeführt werden. Ziele dieser Behandlung (in der Baubranche auch als 'Aufbereitung' bezeichnet) sind die Herstellung von Baustoffen bzw. die Einhaltung der Anforderungen für die Ablagerung auf Deponien (gemäss Anhang 1 TVA).

Die Gleisaushubrichtlinie ist entsprechend dieser Aushubrichtlinie zu erarbeiten, da es ja darum geht, dieselben Abfallvorschriften und Grundsätze zu konkretisieren und einen vergleichbaren Schutz der Umwelt zu gewährleisten.

### **5.22 Gesetzliche Regelungen**

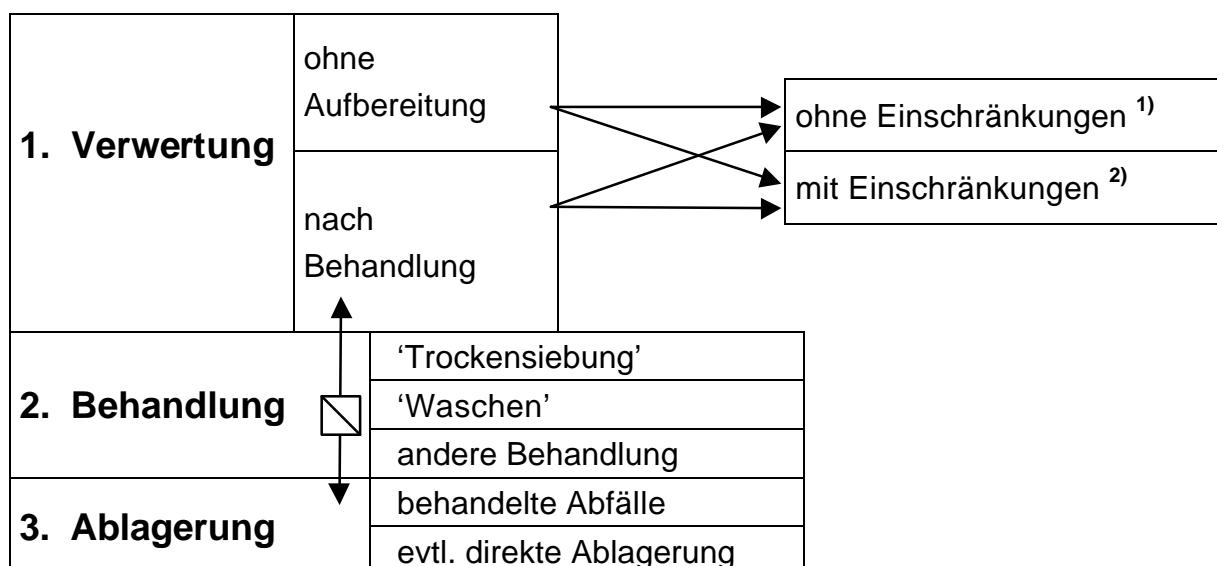
Wichtigste Vorgaben für die Gleisaushubrichtlinie sind die verbindlichen, generell formulierten geltenden Vorschriften (USG, TVA, AltIV). Die bautechnischen Anforderungen an Materialien, die am Ort wieder für die gleichen Bauzwecke eingesetzt werden, richten sich nach den bestehenden technischen Normen.

## 5.23 Zu beachtende Prinzipien bei der Konkretisierung:

Bei der Festlegung der bautechnisch sinnvollen, aus Sicht des Umweltschutzes zulässigen Entsorgungswege sind grundsätzlich folgende Elemente zu berücksichtigen:

- die Verunreinigungen der Abfälle ('stoffliche' Verschmutzung durch unerwünschte Feinanteile) und die Belastungen mit Schadstoffen ('chemische' Belastung);
- die Möglichkeiten, unterschiedlich belastete Materialien unter den speziellen Baustellenbedingungen der Eisenbahnunternehmungen zur besseren Verwertung separat zu erfassen und weiterzuleiten;
- die Verhinderung von unzulässigen Umweltbelastungen durch die Gewährleistung der erforderlichen Qualität der Baustoffe und der Einhaltung der Einschränkungen beim Einsatz der Materialien;

Darüber hinaus ist eine hochwertige Verwendung der Recyclingbaustoffe anzustreben, damit die materialspezifischen Eigenschaften bestmöglich genutzt werden und die Möglichkeiten für ein erneutes Recycling gewährleistet werden können



**Abb. 7: Entsorgungswege von Gleisaushub**

<sup>1)</sup> wie unverschmutztes Material gemäss Aushubrichtlinie [7].

<sup>2)</sup> wie tolerierbares Material gemäss Aushubrichtlinie [7] sowie für bahneigene Bauten unter Auflagen.

Zur Umsetzung dieser Grundsätze hat auf der Baustelle eine Auf trennung der Materialien zu erfolgen, welche die Zuweisung der Abfälle gemäss folgender **Prioritäten** ermöglicht:

- a) direkte Wiederverwendung oder Verwertung einzelner Fraktionen auf der Baustelle (vor allem Grobschotter bei Schotterreinigung);
- b) Verwertung der Abfälle wie unverschmutzter Aushub (gemäss Aushubrichtlinie des Bundes) auf einer anderen Baustelle oder als Rohstoffersatz;
- c) Abtransport der Abfälle zur Aufbereitung ("Trocken- oder Nasssiebung", gilt gemäss Terminologie des Umweltschutzgesetzes als Behandlung) in speziellen Anlagen, soweit es die Leistungsfähigkeit der Anlage erfordert vorsortiert zur Verbesserung der Verwertbarkeit. Ziel ist eine möglichst weitgehende Aufarbeitung der Materialien, so dass diese als unverschmutzt ohne Ein-

- schränkungen oder als Rohstoffersatz verwertet und die Rückstände TVA-konform weiterbehandelt oder abgelagert werden können.
- d) Verwertung der Abfälle wie tolerierbarer Aushub auf anderen Baustellen (gemäss Aushubrichtlinie des Bundes verfügbare Verwertungsmöglichkeiten: Als Rohstoffersatz, als Koffermaterial oder Fundation im Strassenbau unter einer Deckschicht);
  - e) Verwertung der Abfälle für zulässige Spezialanwendungen der Eisenbahnunternehmungen (dazu sind klare Rahmenbedingungen vorzugeben);
  - f) Abtransport der Abfälle zur TVA-konformen Behandlung (chemisch/physikalisch/ thermisch, vor allem bei Altlastensanierungen) oder Ablagerung.

### **5.3 Übernahme vermehrter Materialverantwortung**

Bei der Umsetzung der Regelungen, die auf diesen Vorgaben und Prinzipien sowie auf dem heutigen Stand des Wissens über die Belastungen der Abfälle beruhen, wird den Eisenbahnunternehmungen ein gewisser Spielraum bleiben. Im Sinne einer freiwilligen Selbstverpflichtung erklären sich die Eisenbahnunternehmungen bereit, diesen Spielraum wie bisher nach Möglichkeit nicht zuungunsten der Umwelt auszunutzen. Sie verpflichten sich zur vermehrten Übernahme von Verantwortung über die sachgemäße Entsorgungsplanung und über die von ihnen produzierten Abfälle.

Gegenüber Behörden und Öffentlichkeit bekräftigen die Eisenbahnunternehmungen dies mit folgenden Vorhaben:

1. Sie führen die Aufzeichnungen weiter über Ausrüstung der Gleise (u.a. Schwellenart, Weichtyp), ausgeführte Erneuerungen und besondere Ereignisse auf den Gleisen;
2. Sie stellen sicher, dass sie:
  - die Vorgaben der Gleisaushubrichtlinie einhalten;
  - die vorgegebenen Prioritäten der Entsorgungswege berücksichtigen bzw. Abweichungen davon begründen; (dies betrifft vor allem auch die Mischung von Abfällen mit unterschiedlicher Belastung, welche eine Entsorgung des gesamten Materials gemäss den am meisten belasteten Anteilen nach sich zieht)
  - Abfälle nur mit einer geeigneten Deklaration betreffend Qualität und zulässige Entsorgungswege abgeben;
  - Abfälle zur Behandlung und zur Ablagerung nur an Abnehmer weitergeben, die über eine entsprechende kantonale Bewilligung verfügen.
3. Sie führen die Untersuchungen an den anfallenden Abfällen weiter (nach den in SN-Norm 671 562 standardisierten Methoden, ausgeführt durch ausgewiesene Labors, Resultate dokumentiert nach vereinheitlichter Datenstruktur). Dies mit dem Ziel, die Richtigkeit der Entsorgung zu verfolgen und allenfalls erforderliche Korrekturen in den kommenden Jahren vornehmen zu können.
4. Sie aktualisieren vor Baubeginn das Abfallbewirtschaftungskonzept (enthaltend vor allem die zusammengefassten Angaben zu Zeitpunkt, Ort, Art und Mengen der anfallenden Abfälle, vorgesehene Entsorgungswege, Bezeichnung der Abfallanlagen) und legen diese Informationen auf Wunsch der Kontrollbehörde vor.

Die Einhaltung dieser Selbstverpflichtungen gewährleistet eine gute Zusammenarbeit zwischen den Bahnbetreibern, den Fachstellen der Kantone und des Bundes.

Die Kantone können ihre Interventionen auf das absolut Notwendige in speziellen Fällen beschränken und ihre Kontrollaufgaben dank verbesserter Information mit geringerem Aufwand und effizienter erledigen.

# QUELLENVERZEICHNIS

## Vorschriften, Weisungen

- [1] **Bundesgesetz über den Umweltschutz** (Umweltschutzgesetz, USG ) vom 7. Okt. 1983
- [2] **Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer** (Gewässerschutzgesetz, GSchG) Vom 24. Jan. 1991
- [3] **Technische Verordnung über Abfälle** (TVA) vom 10. Dez. 1990
- [4] **Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen** (VVS) vom 12. Nov. 19986
- [5] **Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten** (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. Aug. 1998
- [6] **Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle** (Asphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch, Mischabbruch) BUWAL Juli 1997
- [7] **Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial** (Aushubrichtlinie) BUWAL 1999
- [8] **SN 671 562 "Probenahme, Probenaufbereitung und Probenanalyse von Gleisaushub"** (Schotter und Unterbaumaterialien aus dem Gleisbereich) (in Bearbeitung)
- [9] **Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Schotter und Unterbaumaterialien aus dem Gleisbereich von Eisenbahnen** (Gleisaushubrichtlinie) (in Bearbeitung)
- [10] **Reglement R 211.1 "Unterbau und Schotter"**, Vorschriften für SBB-Baudirektion, 1997  
Neubau und Erneuerung

## Studien und Berichte

- [11] **"Statistik der Gleisarbeiten"** Ausgabe 1998 Baudirektion SBB
- [12] **"Der öffentliche Verkehr 1995"** Bundesamt für Statistik, 1997 Sektion Verkehr, BFS  
R. Lenzinger et al.
- [13] **"Schweizerische Verkehrsstatistik 1995"** Bundesamt für Statistik, 1998 Gerda Suter, BFS
- [14] **"Die Schadstoffbelastung von Altschottern"** Synthesebericht (provisorisch), Nov. 1994 Geotest-Bericht 93232  
SBB-Baudirektion/ Umwelt
- [15] **Gehalte und Emissionen von PAK in und aus teerölbehandelten Holzschwellen des schweizerischen Eisenbahnnetzes** EMPA-Bericht im Auftrag des BUWAL, 1999
- [16] **"Grossversuch Bäretswil"** Bericht- und Beilagenband über Pilotversuche bei einer Schotteraufbereitungsanlage, Aug. 1997 BMG/IBH-Bericht  
im Auftrag SBB/Kreis 3
- [17] **"Entsorgung von Altschotter"** Schlussbericht zum Auftrag FE/BUWAL 810.98.2 im Auftrag SBB/BUWAL/BAV, 1998
- [18] **"Bestimmung von Glyphosat und AMPA auf Bahnanlagen"** Feldbeprobung, Probenaufbereitung und Analytik IGH/GMB-Bericht  
im Auftrag SBB/Kreis 3
- [19] **"Bericht zu der Studie über die Schadstoffbelastung auf dem Steckennetz der Rhätischen Bahn"**, Historische und technische Untersuchung möglicher Schadstoffe und deren Auswirkung auf die Umwelt, auf dem Streckennetz der Rhätischen Bahn ETI-Bericht im Auftrag der RhB, 1999

