

E 3-14 Eignungsprüfung von Deponieersatzbaustoffen

Juni 2024

Inhalt

1	Allgemeines	1
2	Rechtliche Grundlagen	3
3	Stoffspezifische Einsatzmöglichkeiten und Kriterien	4
3.0	Allgemeines	4
3.1	Straßenaufbruch	4
3.2	Hausmüllverbrennungsasche (HMVA)	9
3.3	Eisenhüttenschlacken	12
3.4	Eisensilikatsand	16
3.5	Gießereialsand	18
3.6	Gleisschotter	22
4	Vorgängerversion, Ansprechpartner und Bearbeiter	24
	Regelwerke	25

1 Allgemeines

Der Einsatz und die Verwertung von Deponieersatzbaustoffen in Abdichtungssystemen von Deponiebauwerken ist im Sinne der Kreislaufwirtschaft und im Hinblick auf die Schonung der natürlichen Ressourcen sinnvoll und anzustreben. Die Eignung dieser Ersatzbaustoffe muss jedoch im Vorfeld einer Baumaßnahme sorgfältig, d.h. material- und projektspezifisch geprüft werden, um die langfristige Funktionserfüllung des Materials in der jeweiligen Komponente im Abdichtungssystem und das Wohl der Allgemeinheit dauerhaft gewährleisten zu können.

Als Deponieersatzbaustoff dürfen gemäß der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) ausschließlich mineralische Abfälle zum Einsatz kommen (Ausnahme: Rekultivierungsschicht). Die Materialien dürfen nur in einer Menge eingesetzt werden, wie es für die Durchführung eines geordneten Deponiebetriebes sowie für notwendige Baumaßnahmen erforderlich ist. Deponieersatzbaustoffe dürfen zudem nur eingesetzt werden, wenn sie in Abhängigkeit ihres Einsatzbereiches die in Anhang 3 Tabelle 1 DepV genannten Zulässigkeitskriterien erfüllen. Diese beziehen sich ausschließlich auf die umweltrelevanten Eigenschaften des Deponieersatzbaustoffes und somit auf mögliche zu erwartende Schadstoffemissionen, die von diesen ausgehen könnten.

Darüber hinaus müssen Deponieersatzbaustoffe soweit sie als Komponente im Abdichtungssystem eingesetzt werden sollen, die in Anhang 1 Nr. 2 DepV genannten Anforderungen hinsichtlich hydraulisch-mechanischer Eigenschaften aufweisen. Diese Anforderungen beziehen sich ausschließlich auf die Funktionsfähigkeit des Materials als Baustoff und somit auf das jeweilige konstruktive Element im

Abdichtungssystem. Eine Differenzierung zwischen Deponieersatzbaustoffen und natürlichen Materialien wird hierbei nicht vorgenommen. Die Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) der LAGA Ad-hoc-AG "Deponietechnik", in denen die Länder diese Anforderungen konkretisieren und entsprechende Prüfkriterien für die einzelnen Komponenten im Abdichtungssystem definieren, wird eine Differenzierung möglicher zu verwendender Baustoffklassen (u.a. Deponieersatzbaustoffe) vorgenommen.

Der Einsatz von Deponieersatzbaustoffen wird dabei explizit für die Komponenten mineralische Abdichtungskomponente (Basis- und Oberflächenabdichtung) in BQS 2-3 bzw. 5-3, mineralische Entwässerungsschicht (Basis- und Oberflächenabdichtung) in BQS 3-2 bzw. 6-2 sowie Trag- und Ausgleichsschicht in BQS 4-1, geologische Barriere in BQS 1-0 und Rekultivierungsschicht in BQS 7-1 bis 7-3 behandelt.

Dabei ist grundsätzlich festzuhalten, dass die geforderten bautechnischen Eigenschaften sowohl hinsichtlich der initialen als auch der langzeitlichen Charakteristika identisch zu denen sind, die für natürliche Materialien gefordert werden. Trotzdem werden im Zusammenhang mit dem Einsatz von Deponieersatzbaustoffen die Anforderungen hinsichtlich einer 100-jährigen Beständigkeit dieser bautechnischen Eigenschaften in Bezug auf die Funktionsfähigkeit sowie eine nicht zu erwartende negative Beeinflussung der Eigenschaften anderer Komponenten im Abdichtungssystem insbesondere genannt. Gültigkeit besitzen diese Anforderungen allerdings ebenso für natürliche mineralische Baustoffe. Für diese erfolgt ein entsprechender Nachweis auf Grundlage bekannter Testmethoden und Prüfkriterien, die wiederum auf langjähriger Erfahrung sowie fundierten bodenmechanischen und geowissenschaftlichen Kenntnissen basieren. In einigen Fällen erfolgt der Nachweis auch nur anhand einer fachgutachterlichen, auf Erfahrungswerten beruhenden Beurteilung. Dies ist i.d.R. für Deponieersatzbaustoffe, die aus vergleichsweise jungen, entwickelten Prozessen und Verfahren stammen, nicht im gleichen Maße bekannt.

Der entscheidende Unterschied gemäß BQS besteht demnach darin, dass beim geplanten Einsatz von Deponieersatzbaustoffen aus nicht natürlichen Materialien ein Eignungsnachweis unter besonderer Berücksichtigung der speziellen Herkunft und Charakteristik des Materials zu erfolgen hat und individuell geeignete Testmethoden und Randbedingungen festzulegen sind. Hierfür soll ein für die speziellen Fragestellungen der Langzeitstabilität erfahrener Gutachter bestimmt werden. Diese Anforderungen werden zwar grundsätzlich der Komplexität gerecht, sodass jeglicher mineralischer Reststoff für einen Einsatz als Deponieersatzbaustoff infrage kommt, die fehlenden Erfahrungswerte erschweren es allerdings, dass flächendeckend gleichartige Standards bei der Untersuchung sowie analoge Bewertungsmaßstäbe zur Anwendung kommen können.

Diese Empfehlung dient dazu, diese Lücke, soweit es der aktuelle Kenntnisstand zum Einsatz von Deponieersatzbaustoffen zulässt, zu schließen. Es werden im Folgenden die vorhandenen Kenntnisse über das Materialverhalten unterschiedlicher Deponieersatzbaustoffe beim Einsatz in unterschiedlichen Komponenten im

Abdichtungssystem zusammengefasst. Es werden bestimmte, der Herkunft und spezifischen Charakteristik des entsprechenden Materials geschuldete initiale sowie langfristig zu erwartende und für den Einsatzbereich gemäß DepV bzw. BQS relevante Eigenschaften benannt und die hierfür maßgebenden Randbedingungen, Testmethoden und Prüfkriterien dargestellt. Auf dieser Grundlage können schließlich stoff- und komponentenspezifisch ein für die Eignungsbeurteilung erforderlicher Prüfumfang wie auch die jeweiligen Bewertungsmaßstäbe festgelegt werden.

Die in den Folgekapiteln aufgeführten Deponieersatzbaustoffe stellen eine erste Auswahl an Materialien dar, die hierzulande bereits mehrfach in der Praxis eingesetzt wurden. Die Prüfung und der Einsatz weiterer Ersatzbaustoffe sind möglich.

2 Rechtliche Grundlagen

Gemäß § 14 DepV dürfen Deponieersatzbaustoffe auf Deponien der Klasse 0, I, II oder III nur verwendet werden, soweit hierdurch das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Weiterhin ist die Verwendung von mineralischen Abfällen zur Herstellung von Deponieersatzbaustoffen sowie für den unmittelbaren Einsatz als Deponieersatzbaustoff gemäß Anhang 1 DepV nur möglich, wenn sie dem Stand der Technik nach Anhang 1 Nummer 2.1.1 DepV entsprechen und dies der zuständigen Behörde vor deren Einsatz nachgewiesen worden ist. Als Maßstab gilt hierbei für die geologische Barriere, das Abdichtungssystem, die Materialien und die Herstellung der Systemkomponenten und deren Einbau sowie die Eigenschaften dieser Komponenten im Einbauzustand, dass die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen ist.

Während für Geokunststoffe und Dichtungskontrollsysteme die Zulassung dieser industriell gefertigten Produkte durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) erfolgt, ist für sonstige Materialien, Komponenten oder Systeme eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder als Nachweis vorgesehen. Für die bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilungen sowie für den Einsatz von natürlichem, gegebenenfalls vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial sowie von Abfällen definieren die Länder gemäß Anhang 1 Nr. 2.1.2 DepV Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement in den jeweiligen BQS fest. Die BQS definieren damit die Anforderungen und Prüfkriterien für die sogenannten sonstigen Materialien, Komponenten oder Systeme gemäß Anhang 1 DepV und damit auch den Rahmen für den zu erstellenden Eignungsnachweis für Deponieersatzbaustoffe, die in Deponieabdichtungssystemen eingesetzt werden sollen. Ergänzend hierzu sind die Empfehlungen dieses Arbeitskreises 6.1 „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) heranzuziehen.

3 Stoffspezifische Einsatzmöglichkeiten und Kriterien

3.0 Allgemeines

Für Eignungsuntersuchungen an Deponieersatzbaustoffen muss gemäß § 17 Abs. 1 DepV zunächst eine grundlegende Charakterisierung des Abfalls nach § 8 DepV mit einem Herkunfts- und Mengennachweis vorliegen. Erfahrungsgemäß ist es auch sinnvoll, eine Beschreibung der Aufbereitungsanlage/-technik sowie der Maßnahmen zur Sicherstellung der Qualität z.B. beim Sieben, Lagern und Verladen an der Anlage einzufordern. So ist eine frühzeitige Einschätzung möglich, ob die geforderte Qualität und Homogenität u.a. der Lieferkörnung im Werk sichergestellt werden können.

Die Eignungsprüfung dieser Materialien muss auf der Grundlage von bodenmechanischen und chemischen Laboruntersuchungen erfolgen. Standarduntersuchungen zur Gesteinsbeschreibung, zur Ermittlung der Bodengruppe(n), zur Bestimmung der Korngrößenverteilung, der Korndichte, der Kornform, des Kalkgehaltes, des organischen Anteils, der Scherfestigkeit und der Wasserdurchlässigkeit sind je nach Einsatzbereich gemäß den einschlägigen BQS und GDA-Empfehlungen obligatorisch durchzuführen. Dies gilt analog für das Kriterium der Langzeitbeständigkeit, welches z.B. mit Hilfe von Einlagerungsversuchen in spezifischen Medien, wie Sickerwässern oder Gasen, untersucht wird. Spezielle Untersuchungen, die über die konkreten Anforderungen der einschlägigen BQS und GDA-Empfehlungen hinausgehen, werden in den nachfolgenden Kapiteln materialspezifisch empfohlen und beschrieben und verstehen sich als ergänzende Untersuchungen. Darüber hinaus wird in den nachfolgenden Kapiteln explizit auf kritische Materialeigenschaften hingewiesen, unabhängig davon, ob eine Überprüfung anhand von Standarduntersuchungen zur Eignungsprüfung oder anhand von speziellen Untersuchungen erfolgt. Die finale Festlegung und Beurteilung dieser speziellen, ergänzenden Untersuchungen sollten durch einen Sachverständigen für Geotechnik oder Deponietechnik jeweils in Abstimmung mit der zuständigen Behörde erfolgen.

Nach den Eignungsuntersuchungen im Labor muss ein Probefeld gemäß einschlägigen BQS sowie der GDA E 3-05 angelegt werden, um die Laborergebnisse auch im realen Baustelleneinsatz verifizieren zu können. Erst nach diesem Probefeld und den damit einhergehenden Untersuchungen ist die Eignungsprüfung des Deponieersatzbaustoffes abgeschlossen und kann als Ganzes von den Projektbeteiligten beurteilt werden.

3.1 Straßenaufbruch

3.1.1 Herkunft

Straßenaufbruch fällt beim Rückbau oder der Sanierung von Verkehrswegen aller Art an. Zu unterscheiden sind die anfallenden Straßenaufbruchmaterialien nach der Art ihrer Zusammensetzung, insbesondere ihres Bindemittels. Bis etwa zum Ende der 1970er Jahre wurden kohlestämmige Bindemittel (Steinkohleteere) sehr häufig im Straßenbau eingesetzt. Das heute übliche Bindemittel ist mineralölstämmiges Bitumen.

Der Oberbau einer Verkehrsfläche wird entweder vollständig zurückgebaut oder in Teilen bzw. Schichten saniert. Bei einem Komplettückbau von Asphaltaufbauten oder von hydraulisch gebundenen Tragschichten (HGT) kommen meist schwere Hydraulikbagger mit Anbaugeräten wie Meißel zum Einsatz, durch die das Rückbau- bzw. Aufbruchmaterial in Schollenform oder als grobes Stückgut anfällt. Werden nur Teilbereiche oder einzelne Schichten (Deckschicht, Binderschicht) eines Straßenoberbaus rückgebaut oder saniert, so werden zumeist Straßenbaufräsen eingesetzt. Das Fräsgut fällt hierbei, je nach Geräteauslegung, in einem Korngrößenbereich von etwa 0 bis 32 mm an. Für eine weitestgehend sortenreine Gewinnung von Asphaltoberbaumaterialien ist der Fräsvorgang zielführender als der Einsatz von Bagger und Meißel. Problematisch ist hierbei häufig eine exakte Stärkenangabe der rückzubauenden Schicht(en) zuzüglich eines geeigneten Sicherheitsabstandes, um Querkontaminationen und unebene Schichtgrenzen ausschließen zu können.

Rückgebaute Straßenaufbruchmaterialien werden meist in Aufbereitungsanlagen angeliefert, in denen das Material, je nach Verwendungszweck, einem stetigen Prozess der Zerkleinerung und Aufbereitung unterzogen wird. Mit der heute zur Verfügung stehenden Brecher- und Siebanlagentechnik können verschiedenste Lieferkörnungen hergestellt werden.

3.1.2 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung eines aufbereiteten Straßenaufbruchmaterials kann je nach Art der Rückbaumethodik stark variieren. Bei einem Komplettückbau von Oberbodenschichten mittels Bagger besteht der Hauptanteil des Aufbruchmaterials zumeist aus natürlichem Hartgestein, welches für die Trag-/Frostschutzschichten genutzt wurde. In dem aufbereiteten Material finden sich Bandbreiten von etwa 60 bis 80 % natürlichem Gestein. Je nach Region dominieren hierbei Grauwacke, Diabas, Basalt, Kalkstein oder Dolomit. Asphaltgranulat wird bei diesen heterogenen Aufbruchmaterialien häufig nur zu etwa 20 bis 40 % bestimmt. Handelt es sich bei der Rückbaumethodik um eine qualifizierte Frästechnik mit annähernd gleichbleibenden Schichtstärken, so fällt der Asphalt fast sortenrein, also zu annähernd 100 % an. Entscheidend für die stoffliche Zusammensetzung und damit die Homogenität des Straßenaufbruchmaterials ist daher die Art des gewählten Rückbauverfahrens und der späteren Aufbereitung.

Die Gehalte an Bindemittel liegen in aufbereiteten Straßenaufbruchmaterialien erfahrungsgemäß in einer Bandbreite von etwa 2 bis 5 %.

Untergeordnet finden sich im Straßenaufbruch teilweise Ziegel/Klinker/Steinzeug oder auch Fremdstoffe wie Holz, Gummi, Kunststoffe und Geotextilien. Diese Beimengungen bzw. Verunreinigungen sind meist vernachlässigbar und resultieren häufig aus einem nicht völlig sortenreinen Rückbau.

3.1.3 Schadstoffpotenzial

Insbesondere die 16 PAK nach EPA im Feststoff und der Phenolindex im Eluat und je nach Herkunft des Straßenaufbruchs auch der Asbestgehalt sind zu berücksichtigende Schadstoffparameter.

Das charakteristische Merkmal eines teerhaltigen Straßenaufbruchs ist sein Bindemittel, welches teer-/pechtypische Substanzen enthält. Der Teer entsteht durch thermische Zersetzung (Pyrolyse) von Braunkohle oder Steinkohle und enthält polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Phenole. Pech ist ein Rückstand aus der Destillation von Teer.

Straßenaufbruch wird allgemein ab einem PAK-Gehalt von 25 mg/kg als teer- bzw. pechhaltig bezeichnet. Für die Einstufung von teerhaltigen Straßenaufbruchmaterialien als gefährlichen Abfall (AVV 17 03 01*) gibt es keine bundesweit einheitlichen Grenzwerte. So bestehen je nach Bundesland verschiedene Regelungen. In Nordrhein-Westfalen und Bayern ist teerhaltiger Straßenaufbruch z. B. erst ab einem PAK-Gehalt von 1.000 mg/kg (Benzo[a]pyren $\geq$ 50 mg/kg) als gefährlicher Abfall einzustufen. In Niedersachsen gilt ein teerhaltiger Straßenaufbruch grundsätzlich ab einem PAK-Gehalt von 25 mg/kg als gefährlicher Abfall. Darüber hinaus sind bei einem Einsatz auf Deponien die spezifischen Regelungen der jeweiligen Deponiezulassung, die auch Grenzwerte für PAK enthalten kann, zu beachten.

Besonderheiten gelten weiterhin bei Nachweis von Asbest im Straßenaufbruch. Hierzu wird auf die Regelungen der LAGA Mitteilung 23 verwiesen. Da asbesthaltige Abfälle zu beseitigen sind, ist es somit für einen Einsatz als Deponieersatzbaustoff nicht mehr relevant, ob das Bitumengemisch teerhaltig oder teerfrei ist.

3.1.4 Einsatzbereiche

Aus vorliegenden Erfahrungen ist der Einsatz von aufbereitetem teerhaltigen Straßenaufbruch in verschiedenen Komponenten von Abdichtungssystemen bekannt. Beispiele sind der Einsatz als mineralische Entwässerungsschicht mit Körnungen von 16/32 mm sowie als feinkörnigere Schutz- oder Filterschichten in Basisabdichtungssystemen. Auch als Trag- und Ausgleichsschicht in Oberflächenabdichtungen ist der Einsatz von Straßenaufbruch möglich.

3.1.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Spezifisch zu betrachten sind im Rahmen der Eignungsprüfung teerhaltiger Straßenaufbruchmaterialien die stoffliche Zusammensetzung gemäß TP Gestein-StB bzw. DIN EN 933-11 sowie der Bindemittelgehalt gemäß TP Asphalt-StB. Darüber hinaus können weitere spezielle Untersuchungen je nach angestrebtem Verwendungszweck im Abdichtungssystem, Bindemittelgehalt des Aufbruchmaterials und der projekt- bzw. deponiespezifischen Gegebenheiten wie z.B. dem Abfallinventar und der ggf. vorhandenen Sickerwasseraufbereitungstechnik sinnvoll sein. Für Eignungsnachweise einer Entwässerungs- und/oder Filterschicht eines Basisabdichtungssystems bieten sich folgende zusätzliche Untersuchungen an:

- Perkolationsverfahren (Säulenversuche) zur Bestimmung möglicher PAK-Emissionen in das Sickerwasser in Anlehnung an DIN 19528; bei groben Körnungen wie 16/32 mm sind Säulenbehältnisse insb. aus Glas kaum mehr praktikabel, bei feineren Körnungen wie z.B. 2/8 mm sind der Mindestdurchmesser (max. Korngröße $\leq 0,2$ -facher Innendurchmesser (ID) des Rohres) und die durchströmbare Länge ($l \geq 4 \times \text{ID}$) des Probenbehältnisses zu beachten. Die Versuchsdauer beträgt bis zu 4 Tage.
- Mind. 4-wöchige Einlagerungsversuche in Modellsickerwasser mit
 - (i) pH 4- und pH 13-Pufferlösungen gemäß BQS 3-2;
 - (ii) z.B. mit Berücksichtigung möglicher Salzfrachten im Sickerwasser, elektrische Leitfähigkeit bis zu 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (nur im basischen Milieu);
 - (iii) organischen Inhaltsstoffen, DOC von 5.000 mg/l (nur bei DK II-Deponien mit entsprechendem Abfallinventar)

Danach sind erneute chemische und bodenmechanische Untersuchungen am Probenmaterial und Wasser durchzuführen. Die Einlagerungsversuche sind durchzuführen bei normalen Labortemperaturen von 20°C und bei Bedarf zusätzlich bei einem erhöhten Temperaturniveau von 40°C, um mögliche negative Auswirkungen auf das Material bzw. das enthaltene Bindemittel feststellen zu können. Grundsätzlich gelten die gleichen Anforderungen an die Auswahl der Randbedingungen sowie des Modellsickerwassers wie im Falle natürlicher Baustoffe, d. h. die standortspezifisch tatsächlich zu erwartenden Belastungen sind abzuschätzen bzw. festzulegen und das Beständigkeitskriterium entsprechend zu überprüfen.

- Feststoffuntersuchung im Trockenofen bei Temperaturen von 60°C, Einlagerungszeit mind. 2 Tage, um mögliche negative Auswirkungen auf das Material zu kontrollieren, optische Kontrolle auf „Verbacken“ oder „Verklumpen“ sowie nachträgliche Wasserdurchlässigkeitsversuche am Probenmaterial.

Nach den Einlagerungsversuchen sollten sowohl chemische Deklarationsuntersuchungen nach DepV erfolgen als auch die Kornfestigkeit des Materials unter dynamischer Einwirkung und hoher statischer Last mit jeweiliger schrittweiser Auswertung der Körnungslinien untersucht werden, um mögliche negative Auswirkungen durch eine Sickerwassereinwirkung beurteilen zu können. Die chemischen Untersuchungen auf die 16 PAK nach EPA sollten nach DIN ISO 18287 am Feststoff und am Eluat (nach DIN EN 12457-4) erfolgen. Auch eine Untersuchung des genutzten Modellsickerwassers kann nach Versuchsende sinnvoll sein, um mögliche Auslaugungsprozesse bewerten zu können. Aus der Praxis zeigen sich aber zumeist nur sehr geringe bis gar keine Effekte von Auslaugungen. Um aussagekräftige Werte bzw. ein Worst-Case-Szenario für die mögliche Auslaugung von PAK, auch im Hinblick auf Auswirkungen im Entwässerungssystem (Verringerung des Porenraumes, Beeinträchtigungen der Sickerwasserdränagerohre) zu berücksichtigen, sollte das Schüttelverfahren am zerkleinerten Probenmaterial (S4-Verfahren) für die Untersuchung angewendet werden.

3.1.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik von teerhaltigem Straßenaufbruch erfordert dabei besondere Berücksichtigung der nachfolgend genannten alterungsbedingten Effekte und deren Einfluss auf die zugehörigen genannten Parameter:

Tabelle 3-14.1: Spezifische Untersuchungen von Straßenaufbruch

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter / -kriterium
Mineralische Entwässerungsschicht sowie angrenzende Filter-/Schutzschichten (ober-/unterhalb der Entwässerungsschicht)	Verringerung des nutzbaren Porenraums / der dauerhaften Wasserdurchlässigkeit durch enthaltenes Bindemittel, Ablagerung in Sickerwasserrohren (Pkt. 1 und 2) Verringerung des nutzbaren Porenraums / der dauerhaften Wasserdurchlässigkeit durch Kornzertrümmerung oder -entfestigung (Pkt. 3 und 4) Mögliche Elution von organischen Schadstoffen (PAK), ausgelöst durch chemische und/oder mechanische Einwirkungen (Pkt. 3 und 4)	1. Bindemittelgehalt nach TP-Asphalt-StB 2. Temperatureinwirkung: Untersuchung am Feststoff mittels mehrtägiger Einlagerung im Trockenofen; optische Kontrolle des Materials sowie k_f-Wertbestimmung nach Abschluss der Einlagerung 3. Mechanische Einwirkungen: LA-Versuch nach DIN EN 1097-2 als Ergänzung zu Kornzertrümmerungsversuch nach E 3-12; Auswertung gemäß TL-Gestein StB 4. Chemische Einwirkungen: 4-wöchige Einlagerung in Modellsickerwasser (pH 4 und pH 13 Pufferlösungen sowie elektr. LF 20 mS/cm); danach chemische PAK-Analysen am S4-Eluat und Feststoff sowie erneuter LA-/Kornzertrümmerungsversuch
gasgängige Trag- und Ausgleichsschicht	Mögliche Verringerung des nutzbaren Porenraums und damit der dauerhaften Gasdurchlässigkeit	siehe oben

	durch enthaltenes Bindemittel und/oder durch Kornzertrümmerung oder -entfestigung (Pkt. 1 bis 3)	
--	--	--

3.2 Hausmüllverbrennungsasche (HMVA)

3.2.1 Herkunft

Hausmüllverbrennungsaschen stammen aus der thermischen Abfallbehandlung sowie einer anschließenden wertstoffrückgewinnenden Aufbereitung. Die Eigenschaften der entstehenden Asche werden durch die individuelle Zusammensetzung dieser bestimmt, was wiederum vom Abfall-Input, dem Verbrennungsprozess sowie dem Aufbereitungsverfahren abhängig ist. Wichtigste Erkenntnis zahlreicher Untersuchungen ist, dass die entstehende Rohasche nicht inert ist und mineralogischen Umbildungsprozessen unterliegt. Damit eine weitgehende Inertisierung vor Verwendung der Asche erreicht wird, muss die Asche altern. Hierbei spielen die Alterungszeit und die jeweiligen Bedingungen der Bewirtschaftung während der Alterung eine Rolle. Vor dem Hintergrund dieser Vielzahl an Einflussfaktoren im Entstehungsprozess von HMV-Aschen empfiehlt es sich, die nach der kontrollierten Alterung erreichten Eigenschaften als festzulegende Zielgröße zu definieren, damit gleichbleibende und vorhersehbare Qualitäten zum Einsatz kommen können. Durch welche Prozesse diese festzulegenden Zielgrößen bestimmt werden, d.h. welche mineralogischen Umbildungsprozesse während der Alterung maßgebend sind, ist weitgehend bekannt.

3.2.2 Zusammensetzung

HMV-Aschen bestehen im Wesentlichen aus den Stoffgruppen Asche / Schlacke, Glas / Keramik, Metalle, Sonstiges (Beton, Naturstein, Ziegel, Mörtel etc.) und Unverbranntes. Die Anteile unterliegen großen Schwankungsbreiten und hängen von den o.g. Einflussgrößen ab.

3.2.3 Schadstoffpotenzial

- TOC, Glühverlust
- Chlorid, Sulfat, (Gesamtgehalt gel. Feststoffe)
- Antimon, Molybdän, Chrom

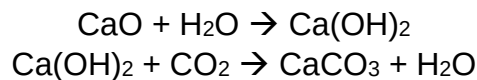
3.2.4 Einsatzbereiche

Erfahrungen liegen hauptsächlich aus dem Einsatzbereich in der (gasgängigen) Trag- und Ausgleichsschicht vor sowie der Errichtung von deponietechnisch erforderlichen Fahrwegen im Ablagerungsbereich. Vereinzelt wurden spezielle HMVA als

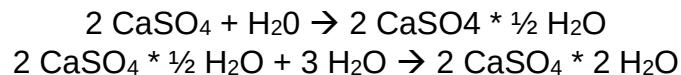
Ersatzbaustoff in der mineralischen Abdichtungskomponente in Form eines HMV-Asche-Ton-Gemisches eingesetzt.

3.2.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Da auch nach Abschluss der kontrollierten Alterung im Entstehungsprozess der HMV-Asche weiterhin reaktive Bestandteile im Material vorliegen, wird auch das Langzeitverhalten nach Einbau maßgeblich durch das Alterungsverhalten von HMV-Aschen bestimmt. Dieses ist vorwiegend durch Carbonatisierungs- und Sulfatreaktionen bestimmt, wobei die Carbonatisierung der Reaktion



und die Sulfatreaktion der Reaktion



folgt.

Die Effekte der o.g. Reaktionen sind im Wesentlichen eine Verfestigung der Asche infolge der Carbonatisierung sowie eine Volumenzunahme infolge des Quellens von Anhydrit zu Gips oder darüber hinaus auch durch die Bildung von Ettringit.

Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass es sich bei HMV-Aschen im Vergleich zu natürlichen Gesteinskörnungen um ein oft sehr heterogenes Materialgemisch handelt, bestehend aus den zuvor genannten Bestandteilen. Die Klassifikation und insbesondere die Überprüfung der gleichbleibenden Zusammensetzung im Rahmen der Eignungsuntersuchung und des Qualitätsmanagements sollten daher unbedingt die stoffliche Zusammensetzung implizieren.

Eine Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften im Alterungsverhalten von HMV-Aschen erfolgt bereits beim Einsatz dieser Materialien im Straßenbau. Die Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB) verweisen dabei auf die entsprechenden Technischen Prüfvorschriften TP Gestein-StB, Teile 6.7.7 & 6.7.8, in welchen zum einen die Analyse der Raumbeständigkeit mittels eindimensionalem Hebungsversuch und zum anderen die Analyse des Mineralumbildungs-Potenzials mittels Röntgendiffraktometrie erläutert werden. Grundsätzlich sind beide Verfahren adäquate Untersuchungsmethoden, um die HMV-Aschen hinsichtlich ihrer initialen sowie ihrer langfristig zu erwartenden Beschaffenheit zu charakterisieren. Für die Verwendung des Materials als Deponieersatzbaustoff fehlen allerdings die notwendigen Bewertungsmaßstäbe, um die Untersuchungsergebnisse einzuordnen, weshalb diese Untersuchungsmethoden

zwar zur Klassifizierung dienen, aber nicht ausreichend sind, um das langzeitliche hydraulisch-mechanische Materialverhalten abzuschätzen.

Es empfiehlt sich daher, Prüfkörper sowohl im initialen Zustand der Asche als auch nach Abschluss der nach Einbau noch bevorstehenden Alterungsmechanismen auf die jeweils für die Komponente gemäß DepV und BQS geforderten hydraulischen und bodenmechanischen Eigenschaften inklusive der Berücksichtigung des Beständigkeitskriteriums zu untersuchen. Für einen projektunabhängigen Eignungsnachweis sollte der vollständige Abschluss der Alterung als maßgebender Materialzustand berücksichtigt werden. Dieser kann über die o.g. Methode der Röntgendiffraktometrie und Identifikation der reaktiven Phasen Freikalk bzw. Portlandit sowie Anhydrit bzw. Bassanit verifiziert werden. Eine geeignete Methode zur Herstellung einer ausreagierten HMV-Asche ist der DIN EN 1744-1 zu entnehmen. Für einen projektspezifischen Eignungsnachweis gilt hingegen die Maßgabe, dass, sollten die speziellen Randbedingungen des Einsatzbereiches der Asche bekannt sein (z.B. Auflast, Wasserspannungen, Temperatur, Sickerwasser- / Niederschlagswasser- / Deponiegas-Chemismus etc.), das Alterungsverhalten unter diesen spezifischen Randbedingungen maßgebend ist.

Neben diesen alterungsbedingt erforderlichen spezifischen Untersuchungen sei aufgrund der heterogenen stofflichen Zusammensetzung von HMV-Aschen zusätzlich auf deren stoffliche Kennzeichnung nach TP-Gestein-StB hingewiesen.

3.2.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik von HMV-Aschen erfordert darüber hinaus Berücksichtigung der nachfolgend genannten alterungsbedingten Effekte und deren Einfluss auf die nachfolgend ebenfalls genannten Parameter:

Tabelle 3-14.2: Spezifische Untersuchungen von HMV-Aschen

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter / -kriterium
Gasdränschicht bzw. gasgängige Trag- und Ausgleichsschicht	Verringerung des Porenraums durch Carbonatisierung, Anhydrit-Quellen und/oder Ettringit-Bildung	k _f -Wert <u>nach</u> Abschluss der Alterung gemäß DIN EN 1744-1
Mineralische Abdichtungskomponente	Verringerung der maximalen Zugdehnung infolge Carbonatisierung, Anhydrit -	Biegeradius <u>nach</u> Abschluss der Alterung gemäß DIN EN 1744-1

	Quellen und/oder Ettringit-Bildung	
	Verringerung des pH-Wertes infolge Carbonatisierung	Auswirkungen auf die Beständigkeit gemäß BQS

3.3 Eisenhüttenschlacke

3.3.1 Herkunft

Eisenhüttenschlacken sind Nebenprodukte der Roheisen-, Rohstahl- und Stahlherstellung. Sie werden unterschieden in Hochofenschlacke (Hochofenstückschlacke, Hüttensand) als Nebenprodukt der Roheisenherstellung sowie Stahlwerksschlacke als Nebenprodukt der Rohstahl- (LD-Schlacke, Elektroofenschlacke) und Stahlherstellung (Edelstahlschlacke, Sekundärmetallurgische Schlacke). Hochofenschlacke entsteht als Produkt eines Schmelzprozesses aus den Begleitmineralien des Eisenerzes sowie den Zuschlagstoffen Kalkstein und Dolomit. Langsam abgekühlt entsteht die kristalline Hochofenstückschlacke, schnell abgekühlt mit Wasser oder Luft entsteht glasiger Hüttensand. Stahlwerksschlacke entsteht ebenfalls als Nebenprodukt eines Schmelzprozesses bei der Verarbeitung von Roheisen und / oder Stahlschrott zu Stahl. Sie bildet sich aus den oxidierten Begleitelementen des Roheisens sowie den Zuschlagstoffen gebrannter Kalk und Dolomit.

3.3.2 Zusammensetzung

Eisenhüttenschlacken bestehen im Wesentlichen aus den Oxiden von Silizium, Calcium, Aluminium, Magnesium sowie im Falle von Stahlwerksschlacken Eisen. Während Al_2O_3 und MgO für alle Eisenhüttenschlacken den geringsten Massenanteil von jeweils durchschnittlich 10 % ausmachen, bildet CaO den höchsten Massenanteil von 30 - 50 %. Fe_2O_3 und SiO_2 bilden jeweils schlackenspezifisch für Stahlwerksschlacken bzw. Hochofenschlacken einen Massenanteil von 20 - 40 %. Insbesondere Stahlwerksschlacken können aufgrund ihres Entstehungsprozesses chemisch ungebundenen Kalk (Freikalk, CaO_{frei}) bzw. Magnesiumoxid (Periklas, MgO_{frei}) enthalten, welcher ohne Nachbehandlung der Schlacke bis zu 10 M.-% betragen kann.

3.3.3 Schadstoffpotenzial

Eisenhüttenschlacken können Legierungselemente und -zusätze wie Chrom, Zink, Molybdän, Selen, Vanadium und Fluorid enthalten und entsprechend erhöhte Werte im Eluat bis DK II aufweisen. Grundsätzlich sind die jeweils prozessbedingt eingesetzten Zusatzstoffe, Legierungs- und Konditionierungsmittel individuell zu berücksichtigen, da insbesondere bei der Stahlherstellung vielfältige

Veredelungsverfahren zur Erzeugung der gewünschten Stahlqualität zum Einsatz kommen.

3.3.4 Einsatzbereiche

Erfahrungen liegen hauptsächlich aus dem Einsatzbereich in der mineralischen Entwässerungsschicht vor. Dies setzt eine entsprechend geeignete Körnung voraus und trifft auf qualitätsgesicherte, aufbereitete Hochofenstückschlacken oder Stahlwerksschlacken zu. Unaufbereitete Schlacke kann für die Trag- und Ausgleichsschicht geeignet sein oder bei der Errichtung von deponietechnisch erforderlichen Fahrwegen im Ablagerungsbereich eingesetzt werden. Hier kommen insbesondere Edelstahlschlacken sowie sekundärmetallurgische Schlacken zum Einsatz, die aufgrund der spezifisch zu erreichenden Stahlqualität häufig individuell beschaffen sind und mengenmäßig den geringsten Stoffstrom in der Materialgruppe Eisenhüttenschlacken ausmachen. Zu sekundärmetallurgischen Schlacken allerdings liegen vereinzelt auch Erkenntnisse über einen möglichen Einsatz als mineralische Abdichtungskomponente vor, da insbesondere hohe CaO_{frei} - und MgO_{frei} -Anteile und das damit verbundene Potenzial zur Hydratisierung und Volumenausdehnung zu günstigen hydraulischen Materialeigenschaften führen.

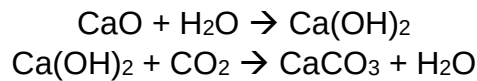
3.3.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Eisenhüttenschlacken stellen eine Materialgruppe für den Einsatz als Deponieersatzbaustoff dar, die aufgrund von gezielter stofflicher und chemischer Behandlung sowie Einhaltung kontrollierter Abkühl- und mechanischer Aufbereitungsprozesse eine hohe Homogenität aufweisen und auch außerhalb des Deponiebaus für verschiedenste bautechnische Anforderungen gezielt konditioniert werden. Insbesondere aus dem Einsatz im Straßen- und Erdbau existieren umfangreiche Kenntnisse über die spezifischen Materialeigenschaften. Hier ist insbesondere die sehr hohe Korndichte von Stahlwerksschlacken zu nennen, die mit einer hohen Kornfestigkeit sowohl unter statischer als auch dynamischer Last einhergeht. Zudem führt der Entstehungs- und Aufbereitungsprozess zu spezifischen Körnungen, zumeist kantigen Körnern mit rauer Oberfläche, wodurch sich hohe Reibungswinkel und Steifemoduln ergeben. Die Tragfähigkeit gezielt hergestellter Körnungen aus Stahlwerksschlacke ist damit sehr hoch.

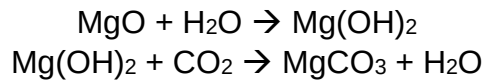
Hochofenstückschlacke hingegen weist häufig poröse Strukturen auf, die ebenfalls aus dem Entstehungs- und Aufbereitungsprozess resultieren. In der Folge sind die Korndichten und auch die Kornfestigkeiten im Vergleich zur Stahlwerksschlacke reduziert. Die kantigen Körner und rauen Oberflächen bewirken allerdings weiterhin hohe Reibungswinkel und Steifemoduln.

Freikalk (CaO_{frei}) und Periklas (MgO_{frei}) sind insbesondere in Edelstahlschlacken sowie sekundärmetallurgischen Schlacken enthalten, bei der Rohstahlherstellung werden diese Anteile hingegen i. d. R. bereits durch entsprechende Nachbehandlung (Bewitterung) oder Konditionierung während der Schmelze gezielt reduziert. Erfolgt

dies nicht, führen diese Anteile zur Hydratation und anschließenden Carbonatisierung nach folgenden Reaktionen:



bzw.:



Da die Anteile beider Oxid-Phasen mitunter > 10 % betragen und die aus der Hydratation resultierende Volumenzunahme hoch ist (d.h. Verdopplung von CaO auf Ca(OH)₂), sind die entsprechenden Effekte auf die hydraulisch-mechanischen Eigenschaften der Körnung nicht unbedeutend. Auf der einen Seite kommt es zu möglichen Gesteinsabplatzungen sowie einer Porenraumreduktion, weshalb entsprechend beschaffene Schlacken für einen Einsatz in der mineralischen Entwässerungsschicht in der Langzeitbeständigkeit als kritisch zu betrachten sind. Auf der anderen Seite ist es genau diese Eigenschaft, die für einen möglichen Einsatz als mineralische Abdichtungskomponente als positiv zu bewerten ist, da Porenräume sukzessive verringert bzw. geschlossen werden. Die auf die Hydratation folgende Carbonatisierung führt allerdings zur Versprödung und entsprechend geringerer Verformbarkeit des Materials.

Generell ist zu berücksichtigen, dass beide Reaktionen unterschiedlich schnell ablaufen und stark von den spezifischen Milieubedingungen sowie den vorhandenen reaktiven Oberflächen (Korngröße) abhängig sind.

Eine Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften von Freikalk- und Periklas-Phasen in Eisenhüttenschlacken erfolgt bereits im Rahmen von Eignungsuntersuchungen dieser Materialien im Straßenbau. Die Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB) verweisen dabei auf die entsprechende europäische Norm DIN EN 1744-1, in welcher der Bedampfungsversuch als Prüfeinrichtung für die Herstellung vollständig hydratisierter Schlacken sowie Messung der entsprechenden Volumenzunahme erläutert ist. Allerdings fehlt hier analog zu den HMV-Aschen der zugehörige Bewertungsmaßstab, um eine Eignung für den Einsatz als Deponieersatzbaustoff abzuleiten, da spezifische Funktionsanforderungen an die Komponenten im Deponieabdichtungssystem in der Langzeitbeständigkeit, wie z.B. Drainageleistung oder Abdichtungswirkung bzw. Verformbarkeit, in den angegebenen Grenzwerten nicht berücksichtigt sind. Es wird daher auch an dieser Stelle empfohlen, die erforderlichen hydraulisch-mechanischen Eigenschaften sowohl im initialen Zustand als auch nach Abschluss der Hydratisierung und Carbonatisierung beider Oxid-Phasen zu überprüfen. Als Verfahren zur Probenherstellung eignet sich auch hier die DIN EN 1744-1.

Sofern eine Verwendung in der mineralischen Abdichtungskomponente im Fokus steht, ist insbesondere die Materialversprödung infolge der puzzolanischen Reaktivität/ Carbonatisierung von besonderer Bedeutung. Diese kann zu einer

geringeren maximal aufnehmbaren Zugdehnung führen, wodurch Risse entstehen und damit verbunden bevorzugte Fließwege. Hier steht also die Beständigkeit und dabei insbesondere die Verformbarkeit des Materials bei gleichzeitiger Erfüllung der Funktionsfähigkeit, d.h. Abdichtungswirkung, gemäß Balkenbiegezugversuch nach BAW-Richtlinie im Vordergrund.

Bei einer Verwendung des Materials in der mineralischen Entwässerungsschicht ist insbesondere die mögliche Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit infolge einer Porenraumverringerung zu überprüfen. In diesem Zusammenhang sind nicht nur die Prozesse Hydratation und der puzzolanischen Reaktivität / Carbonatisierung zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus mögliche Kornabplatzungen infolge Frost-Tau-Wechsel. Hier sind insbesondere Hochofenstückschlacken mit geringer Korndichte und hoher Porosität kritisch und nach DIN EN 1367-1 entsprechend zu beaufschlagen, sodass die hydraulische Durchlässigkeit nach Beaufschlagung zu überprüfen ist.

Insbesondere im Bereich der Stahlwerksschlacken kommen vielfältige Legierungs- und Konditionierungsmittel zum Einsatz, um eine individuelle Stahlqualität zu erhalten. Daher kann es zu erhöhten Konzentrationen im Eluat auch bei Parametern, die über den Parameterumfang gemäß DepV hinausgehen, kommen, die insbesondere im Zusammenhang mit dem individuellen Sickerwasser sowie der betriebenen Sickerwasseraufbereitung und den einzuhaltenden Einleitgrenzwerten zu bewerten sind. Betroffen sind hiervon insbesondere die Parameter Vanadium, Mangan, Eisen und Aluminium.

3.3.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik von Eisenhüttenschlacken erfordert dabei besondere Berücksichtigung der nachfolgend genannten Effekte und deren Einfluss auf die nachfolgend ebenfalls genannten Parameter:

Tabelle 3-14.3: Spezifische Untersuchungen von Eisenhüttenschlacken

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter / -kriterium
Mineralische Entwässerungsschicht	Verringerung des Porenraums durch Hydratation und Carbonatisierung	k _f -Wert <u>nach</u> Abschluss Hydratisierung / Carbonatisierung
	Verringerung des pH-Wertes infolge Carbonatisierung	Beständigkeit (mineralische Abdichtungskomponente)

	Erhöhung des Unterkornanteils infolge Frost-Tau-Wechsel und Kornabplatzungen (Hochofenstückschlacke)	Beständigkeit
Gasdränschicht bzw. gasgängige Trag- und Ausgleichsschicht	Verringerung des Porenraums durch Hydratisierung und Carbonatisierung	k_f -Wert <u>nach</u> Abschluss der Alterung
Mineralische Abdichtungskomponente	Verringerung der maximalen Zugdehnung infolge Carbonatisierung Verringerung des pH-Wertes infolge Carbonatisierung	Biegeradius <u>nach</u> Abschluss der Carbonatisierung Auswirkungen auf die Beständigkeit gemäß BQS

3.4 Eisensilikatsand

3.4.1 Herkunft

Im Rahmen der industriellen Kupfergewinnung wird beim Einschmelzen von Primärrohstoffen wie Kupfererz oder auch von Sekundärrohstoffen wie Altkupfer und Elektro-/Elektronikschrott ein Quarzsand als Zuschlagstoff zur Schlackenbildung eingesetzt. Am Ende der Raffinations- und Recyclingprozesse wird so eine granuliert Schlacke als Nebenprodukt gewonnen, der sog. Eisensilikatsand, auch Eisensilikatgranulat oder Kupferhüttenschlacke genannt.

3.4.2 Zusammensetzung

Eisensilikatsand besteht überwiegend, wie der Name bereits sagt, aus Eisensilikat sowie Aluminium- und Kalziumsilikaten. Er enthält nur noch sehr geringe Restgehalte (etwa 1-3 %) an Kupfer sowie weiteren Metallen. Bedingt durch den industriellen Herstellungs- bzw. Entstehungsprozess hat das Material eine einheitliche Zusammensetzung und gleichbleibende Qualität.

Eisensilikatsand wird zumeist als Produkt bzw. Baustoff vermarktet und nicht als Abfall gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) eingestuft.

Als Produkt ist Eisensilikat in verschiedenen Korngrößen am Markt verfügbar. Als Massenprodukte sind die Korngrößenbereiche von 0 bis 8 mm am häufigsten vertreten. Durch gezielte Siebungen können von dieser Ausgangskorngröße alle Unterkorngruppen wie z. B. 1/5 mm oder 0,2/2 mm hergestellt werden. Vereinzelt werden am Markt auch Gesteinsgrößen bis etwa 450 mm sowie sehr feines Gesteismehl gehandelt.

Die Kornform des Eisensilikatsandes ist als scharfkantig zu beschreiben. Die Farbe ist schwarz bis grau.

3.4.3 Schadstoffpotenzial

Die industriell gewonnenen Eisensilikatsande stammen aus laufenden Produktions- und Recyclingprozessen. Damit ist bei diesen Nebenprodukten grundsätzlich eine gleichbleibende Materialquantität und -qualität zu erwarten. Diese wird durch ständige werkseigene Produktionskontrollen sowie durch externe, fremdüberwachende Institutionen gewährleistet und dokumentiert. Das Auftreten von Verunreinigungen oder Störstoffen ist somit nicht zu erwarten.

Herkunftsbedingt weist Eisensilikatsand geringe Restgehalte an Metallen auf. Insbesondere im Feststoff können dementsprechend erhöhte Schwermetallgehalte, z.B. für die Parameter Kupfer, Zink und Blei, auftreten. Im Eluat der weitestgehend verglasten Eisensilikatsande sind die Konzentrationen der Schwermetalle dagegen im Allgemeinen sehr gering. Die Zuordnungswerte nach DK 0 werden i.d.R. eingehalten. Das gesamte Spektrum der für diesen Deponieersatzbaustoff relevanten Metalle beinhaltet die Parameter Kupfer, Blei, Cadmium, Barium, Zink, Molybdän und Antimon.

3.4.4 Einsatzbereiche

Aufgrund seiner materialspezifischen Eigenschaften kann der Eisensilikatsand gut als Baustoff in verschiedenen Bereichen des Bauwesens, als Ersatz für natürliche Primärbaustoffe, eingesetzt werden. Im Deponiebau kann das Material als Deponieersatzbaustoff z.B. als gasgängige Trag-/Ausgleichsschicht, als Schutzschicht für polymere Komponenten, als Auflager für Rohrleitungen sowie als Filter- und ggf. auch als Entwässerungsschicht in Basisabdichtungssystemen eingesetzt werden. Außerhalb des Deponiebaus wird Eisensilikatsand im Anwendungsbereich des Straßen- und Wegebbaus als zertifiziertes Produkt z. B. in Frostschutz- und Tragschichten oder als Bettungs- und Unterbaumaterial für Pflasterungen eingesetzt.

3.4.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Eisensilikatsand besitzt viele positive Materialeigenschaften wie eine hohe Kornstabilität und daraus resultierend eine hohe Verwitterungs- und Raumbeständigkeit, eine sehr gute Frostbeständigkeit sowie eine äußerst geringe Wasseraufnahmekapazität. Durch den Verhüttungsprozess ist der weitestgehend verglaste Sand gegenüber physikalischen, chemischen wie auch biologischen Einwirkungen sowie alterungsbedingten nachteiligen Materialveränderungen äußerst resistent und beständig.

Je nach Einsatzzweck müssen bei den chemischen Laboruntersuchungen auch die Feststoffkriterien des Eisensilikatsandes überprüft werden. Dies ist beispielsweise beim Einsatz in Oberflächenabdichtungssystemen, oberhalb der eigentlichen Dichtungskomponente(n) der Fall. Ein möglicher Einsatz wäre hier z.B. als

mineralische Schutzlage auf einer polymeren Abdichtungskomponente oder als Filter- bzw. Entwässerungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems.

Soweit Materialien innerhalb des Deponiekörpers gemäß Anhang 3 Tab. 1 Nr. 3 DepV eingesetzt werden sollen, ist mit Ausnahme der Einstufung nach § 6 Abs. 1a DepV, der Feststoffgehalt nicht maßgeblich, sondern nur die Zuordnungswerte nach Anhang 3 Tab. 2 DepV der jeweiligen Deponieklasse (i.d.R. nur Eluatwerte im Anhang 3 Tab. 2 Spalte 5 – 8 DepV).

3.4.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik von Eisensilikatsanden erfordert dabei besondere Berücksichtigung der nachfolgend genannten Effekte und deren Einfluss auf die nachfolgend ebenfalls genannten Parameter:

Tabelle 3-14.4: Spezifische Untersuchungen von Eisensilikatsand

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter/-kriterium
Entwässerungs- und/oder Filterschicht	Mögliche Elution von Metallen ausgelöst durch physikalische oder chemische Einwirkungen	Schadstoffgehalte gemäß Anhang 3 DepV im Eluat und ggf. Feststoff, je nach Einsatzzweck
Gasgängige Trag- und Ausgleichsschicht	-	-

3.5 Gießereisand

3.5.1 Herkunft

Bei Gießereisanden oder Gießereisandsanden (GAS) handelt es sich um Abfallprodukte aus Gießereibetrieben. Im Produktionsprozess werden schmelzbare Stoffe, zumeist Metalle und Legierungen, in Schmelzöfen gegeben und die entstandene Schmelze in die Formen gegossen. Die Herstellung der Gussformen erfolgt in der Serienfertigung primär als verlorene Formen aus Sand (Sandguss). Diese Sande werden unter Zugabe von Bindemitteln für die Dauer des Gussprozesses stabilisiert. Als Bindemittel sind vor allem Kunstharze und Bentonit in Verwendung sowie Trennmittel zur Herstellung von

Formteiloberflächen, wie pflanzliche und mineralische Öle oder auch Talkum und Graphit. Nach Erhärtung des Gussstückes werden die Formen zur Entnahme zerstört. Die verfahrensbedingt entstehenden Gießereialtsande bei verlorenen Formen sind sogenannte Überfall-, Form- oder Kernsande mit ihren Zusätzen und Gussrückständen. In der Gießereiindustrie werden diese Gießereialtsande wieder aufbereitet bzw. regeneriert und zu einem sehr hohen Prozentsatz (bis zu 95 %) in den Kreislauf zurückgeführt.

3.5.2 Zusammensetzung

Gießereialtsande fallen im Rahmen der Regenerierung und des Recyclings der im Kreislauf geführten Gießereisande an unterschiedlichen Stellen der Produktionsanlagen an. Aufgrund ihrer Herkunft (z. B. Überschusssande, Regenerierungstäube, Entstaubung, Putzerei etc.) weisen sie unterschiedliche Zusammensetzungen und damit verbundene Materialeigenschaften auf.

Grundsätzlich unterscheidet man bei den Altsanden zwischen den Bindersystemen: anorganisch gebunden, harzgebunden, tongebundenes Monosystem und tongebundenes Mischsystem, wobei das letztere das Vorherrschende ist.

Die unterschiedlichen Zusammensetzungen und Anfallstellen im Produktionsprozess ergeben ein ebensolches Spektrum an Materialien mit unterschiedlicher Eignung und Einsatzzwecken. Entsprechend unterliegen Gießereialtsande auch keiner regelmäßigen Güteüberwachung für einen späteren Einsatz. Sie werden als Abfälle aus dem Gießereiprozess gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) den Abfallgruppen 10 09 bzw. 10 10 zugeordnet.

Herkunftsbedingt weisen die Gießereialtsande eine Zusammensetzung aus Quarzsanden (zumeist <0,2 mm), einem anorganischen Bindemittel (Bentonit) oder organischen Bindemitteln (Kunstharz auf Furan- oder Phenolbasis, Polyurethan) sowie Trennmittel (Graphit und Öle) auf und enthalten somit auch die verbrannten bzw. pyrolysierten organischen Bindemittel (z.B. Zersetzungsprodukte der Phenolharze, DOC, PAK), Metalle und Metallsalze.

3.5.3 Schadstoffpotenzial

Gießereialtsande weisen regelmäßig TOC-Gehalte bis DK III auf, jedoch ist ein großer Anteil hiervon auf elementaren Kohlenstoff zurückzuführen, der rechnerisch nicht anzusetzen ist. Weiterhin weisen die Gießereialtsande Gehalte an BTEX, PAK und MKW im Feststoff sowie DOC, Phenole und Fluorid im Eluat im Bereich der Zuordnungswerte der DK I sowie vereinzelt auch DK II auf.

3.5.4 Einsatzbereiche

Für Gießereialtsande ist grundsätzlich im Deponiebau der Einsatz als Deponieersatzbaustoff für mineralische Dichtungsschichten, als Trag- und

Ausgleichsschicht bzw. als Schutzschicht für polymere Bauteile möglich und bereits in der Anwendung.

Da das Material am Gewinnungsort im Regelfall keiner Güteüberwachung unterliegt, ist ein entsprechender Eignungsnachweis der vorgesehenen Materialcharge vorzunehmen. Die geeignete Anfallstelle ist im Vorfeld im Produktionsprozess zu identifizieren und die anfallenden Materialien zu homogenisieren. Besonders geeignet sind, aufgrund ihres hohen Bentonitgehaltes, Gießereialsande mit einem anorganischen Bindemittel und der damit verbundenen guten Abdichtungswirkung für die Verwertung als Deponieersatzbaustoff für mineralische Dichtungsschichten und als Trag- und Ausgleichsschichten.

Gießereialsande ohne nennenswerten Störstoffgehalt und Bindemittelanteil hingegen eignen sich primär als Schutzschicht.

3.5.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Die Anfallstellen der Gießereialsande sind je nach vorgesehenem Einsatz des Ersatzbaustoffes im Produktionsprozess zu identifizieren. Grundsätzlich ausschlaggebend hierfür ist die Art und Menge des jeweiligen Bindemittels und der Anteil der Rückstände aus dem Gussprozess. Letztere können sowohl Einfluss auf das mechanische Verhalten durch Oxidationsprozesse der Eisenanteile bzw. Inkrustationen der Bindemittel haben als auch auf die chemischen Inhaltsstoffe.

Eine Aussage zum Verhalten des enthaltenen Bindemittels erfolgt über die Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12 und die Wasseraufnahme nach DIN 18 132. Hierbei ist es wichtig, das Quellverhalten der im Herstellungsprozess thermisch stark beanspruchten Bentonite zu ermitteln. Eine Aussage hierüber liefert die Ermittlung eines verzögerten Quellverhaltens nach 24 und nach 48 Stunden.

Aufgrund der Materialeigenschaften ist der Versuch der Verformbarkeit nach BQS 5-0 rechnerisch nicht immer zu erbringen. Dementsprechend ist ein versuchstechnischer Nachweis einer ausreichenden Verformbarkeit auf der Grundlage des Selbstheilungsvermögens des enthaltenen Bentonits zu führen. Es werden Probekörper mit unterschiedlichen Verdichtungsgraden und Einbauwassergehalten parallel zur Fließrichtung halbiert und wieder zusammengefügt. Anhand der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte nach DIN EN ISO 17892-11 in der Triaxialzelle kann das Selbstheilungsvermögen bestimmt werden.

Unabhängig vom Einsatzzweck sollte das Langzeitverhalten der Stoffe untersucht und bewertet werden. Die Bewertung ist im Hinblick auf die Schollenbildung, Verarbeitbarkeit und Standsicherheit zu führen.

3.5.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik von Gießereialsand erfordert dabei besondere Berücksichtigung der nachfolgend genannten alterungsbedingten Effekte und deren Einfluss auf die nachfolgend ebenfalls genannten Parameter:

Tabelle 3-14.5: Spezifische Untersuchungen von Gießereialsanden

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter / -kriterium
Mineralische Schutzschicht	Störstofffreiheit Oxidations- und Inkrustationsverhalten durch Alterung in Abhängigkeit vom Eisen- und Bindemittelgehalt	Gutachterliche Beurteilung / Anfallstelle Beurteilung durch Alterungsverhalten an Laborproben und Halden
Trag- und Ausgleichsschicht	Beurteilung des Einflusses einer möglichen Materialalterung auf die Grenzfläche zu Abdichtungsschichten und innerer Scherfestigkeit	Innere Scherfestigkeit und Kontaktscherfestigkeit in der Grenzfläche <u>nach</u> Alterung
Mineralische Abdichtungskomponente	Nachweis der Verformbarkeit gem. BQS 5-0 ggf. nicht zu erbringen Beurteilung des Einflusses einer möglichen Materialalterung auf die Grenzfläche zu anderen Abdichtungsschichten und innerer Scherfestigkeit Bewertung aktive/inaktive (thermisch geschädigter) Tonminerale	Versuchstechnischer Nachweis ausreichender Verformbarkeit durch „Selbsteilungsvermögen“ Bentonit Innere Scherfestigkeit und Kontaktscherfestigkeit in der Grenzfläche <u>nach</u> Abschluss der Alterung Wasseraufnahme nach DIN 18 132 nach 24 h und 48 h bestimmen (verzögertes Quellen)

3.6 Gleisschotter

3.6.1 Herkunft

Gleisschotter wird im Oberbau von Gleisanlagen der Deutsche Bahn Netz AG aber auch in ähnlichen funktionalen Bereichen von Werks- und Privatbahnen eingesetzt. Bei der Funktionserfüllung im Gleisbett kommt der Festigkeit und Form des Schotters eine besondere Bedeutung zu. Der Schotter muss eine sehr hohe Kornfestigkeit sowie scharfe Bruchkanten aufweisen, damit er sich gut verzahnt und langfristig ein belastbares und zugleich abfederndes Gefüge bildet, in dem die Schienen und Schwellen möglichst langfristig stabil liegen. Für diese Art der Funktionserfüllung ist auch die Korngröße des Schotters entscheidend. Kleinere Körner würden vom Luftzug der fahrenden Züge mitgerissen werden und größere ließen sich im Gleisbau nur schwerlich profilgerecht verarbeiten. Die Deutsche Bahn Netz AG definiert ihre Anforderungen an das Material im Deutsche Bahn-Standard (DBS) 918 061 - Technische Lieferbedingungen Gleisschotter - der sowohl für Neuschotter als auch für aufbereiteten Schotter gilt. Dieser DBS orientiert sich an der Norm DIN EN 13450 - Gesteinskörnungen für Gleisschotter. Zur Konkretisierung hat die Deutsche Bahn Netz AG eine Richtlinie für Schotter aus Gleisbaustellen / Umgang mit mineralischen Materialien (DB-Richtlinie 880.4010) erarbeitet und in 2023 zur allgemeinen Anwendung veröffentlicht.

Bei Rückbau- und Instandsetzungsmaßnahmen an bestehenden Gleisanlagen fallen häufig große Mengen an Gleisschotter sowie vereinzelt auch Boden-/ Gleisschottergemische an, die i. d. R. einer stofflichen (Wieder-)Verwertung zugeführt werden. Im Zuge der Aufbereitung kommen zumeist mechanische Verfahren wie Brechen und Zerkleinern, z. B. in Prallbrechern und Prallmühlen, Absieben zur Klassierung sowie spezielle Waschverfahren zur Anwendung. In einigen schadstoffspezifischen Fällen werden auch biologische, chemische oder thermische Behandlungsverfahren eingesetzt bzw. nachgeschaltet.

3.6.2 Zusammensetzung

Gleisschotter wird aus in Steinbrüchen anstehendem, natürlichem Festgestein wie z. B. Basalt, Diabas, Granit, Grauwacke oder Quarzporphyr hergestellt. Die Lieferkornung für Gleisanlagen der Deutsche Bahn Netz AG ist eine Korngröße von 31,5 bis 63 mm. Der Schotter muss aus gebrochenen, unregelmäßig geformten, scharfkantigen Körnern bestehen. Rückgebauter Altschotter kann zudem projekt- und aufbereitungsspezifische Fremd Beimengungen aufweisen.

3.6.3 Schadstoffpotenzial

Gleisschotter aus dem Betrieb von Bahnanlagen kann unterschiedliche Schadstoffbelastungen aufweisen. Als mögliche Ursachen sind hierbei insbesondere zu nennen:

- diverse Schmiermittel wie z. B. Fette für Weichenschmierung, Schienenschmiereinrichtungen, Betriebsstoffe wie Öle und Dieselkraftstoff (z. B. aus Tropfverlusten),
- Maßnahmen und Einsatzstoffe der Unkrautbekämpfung und Gleisbettpflege,
- Havarien mit unterschiedlichsten Kontaminationen,
- Abrieb aus dem Rad-Schiene-System (insb. Metalle, Bremsstäube),
- Rückstände von Ladungsverlusten aus Güterwagen.

Maßgebliche Schadstoffe aus den vorgenannten Quellen sind:

- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) aus Treibstoff und Schmiermitteln,
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aus Rückständen des Dampflokbetriebs und aus Tränkmitteln für Holzschwellen (Teeröl),
- Schwermetalle aus dem Abrieb von Schienen, Rädern, Bremsen und Oberleitungen,
- Herbizid-Rückstände aus der Unkrautbekämpfung im und am Gleisbereich.

Punktuell gefährliche Verunreinigungen sind beim Gleisschotter i. d. R. Schwermetalle, MKW und PAK. Ausschlaggebend für eine Einstufung als gefährlicher Abfall sind in der Regel die Schwermetall- und MKW-/PAK-Gehalte.

3.6.4 Einsatzbereiche

Aufgrund seines natürlichen Ursprungs sowie der hohen Kornfestigkeit ist Gleisschotter aus geotechnischer Sicht grundsätzlich gut geeignet. Je nach Aufbereitungstechnik ist zumeist eine gleichbleibende Qualität und Homogenität gewährleistet, was wiederum eine Wiederverwendung oder hochwertige Verwertung erleichtert. Wie jedoch zuvor erläutert ist für den spezifischen Anwendungsfall auch die mögliche Schadstoffbelastung des Materials zu beachten.

Beispiele für eine Verwertung von Gleisschotter sind die Wiederverwendung in Bahnanlagen und der Einsatz im Straßen-, Wege- und Verkehrsflächenbau oder in Entwässerungsschichten von Deponien als Deponieersatzbaustoff. Für das Basisentwässerungssystem weicht die Ursprungskörnung des Gleisschotters (31,5/63 mm) von der in der GDA-E 2-14 empfohlenen Körnung 16/32 mm ab. Eine entsprechende Aufbereitung, i. d. R. durch Klassieren, ist projektspezifisch erforderlich. Für den deponiespezifischen Einsatzzweck von aufbereitetem Gleisschotter in Entwässerungsschichten kommen häufig Körnungen von 8/32 mm zur Anwendung, soweit die Anforderungen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit erfüllt werden können.

3.6.5 Spezifische Charakteristik und Untersuchungsmethoden

Bei den chemischen Nachweisen sind, je nach Anwendungsfall, die Zuordnungswerte der DepV Anhang 3 Tabelle 2 zu untersuchen. Feststoff-untersuchungen auf MKW und PAK werden in den Spalten 6 bis 8 (DK I bis III) der zuvor genannten Tabelle 2

nicht gefordert, länderspezifisch kann es hier jedoch Sonderregelungen bzw. weitergehende Anforderungen geben.

Neben den organischen Schadstoffen sollten mögliche Herbizidbelastungen des Gleisschotters, insbesondere in der Feinfraktion des Materials, untersucht werden. Hierzu wird auf die DB-Richtlinie 880.4010 verwiesen.

3.6.6 Bewertungsmaßstäbe

Ein Eignungsnachweis und die damit jeweils einzuhaltenden Material- oder Grenzwerte ergeben sich grundsätzlich nach den in der DepV und den maßgeblichen BQS definierten Anforderungen und Bedingungen sowie länderspezifischen Vorgaben den Schadstoffgehalt betreffend. Die spezifische Charakteristik des aufbereiteten Gleisschotters erfordert dabei besondere Berücksichtigung der nachfolgend genannten alterungsbedingten Effekte und deren Einfluss auf die nachfolgend ebenfalls genannten Parameter:

Tabelle 3-14.6: Spezifische Untersuchungen von aufbereitetem Gleisschotter

Einsatzbereich	Effekt	Untersuchungsparameter / -kriterium
Mineralische Entwässerungsschicht in Basis- oder Oberflächenabdichtungssystemen	Elution von Schwermetallen, organischen Schadstoffen und/oder Herbiziden	Über die DepV hinausgehende Untersuchungen gemäß DB-Richtlinie 880.4010

4 Vorgängerversion, Ansprechpartner und Bearbeiter

Vorgängerversion: -

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Carsten Lesny
 Asmus + Prabucki Ingenieure Beratungsgesellschaft mbH
 45329 Essen, lesny@ap-ingenieure.de

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Carsten Lesny, Essen
 Dr.-Ing. Hanna Viefhaus, Lünen
 Dipl.-Ing. Andreas Witzsche, Karlsruhe

Regelwerke

- ABFALLVERZEICHNIS-VERORDNUNG (AVV), 2001: Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I, S. 3379, die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist)
- BAW Richtlinie, 2015: Prüfung von mineralischen Weichdichtungen und deren Einbauverfahren im Verkehrswasserbau (RPW)
- BQS 1-0, 2014-12: Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere
- BQS 2-3, 2020-12: Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen
- BQS 3-2, 2020-12: Mineralische Entwässerungsschichten in Basisabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen
- BQS 4-1, 2014-12: Trag- und Ausgleichsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen
- BQS 5-0, 2014-12: Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten – Übergreifende Anforderungen
- BQS 5-3, 2020-12: Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen
- BQS 6-2, 2020-12: Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen
- BQS 7-1, 2021-09: Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen
- BQS 7-2, 2020-12: Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen
- BQS 7-3, 2020-12: Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen
- DB-Ril 880.4010, 2023-08: Schotter aus Gleisbaustellen / Umgang mit mineralischen Materialien
- DBS 918 061, 2021-08: Technische Lieferbedingungen Gleisschotter
- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009. Bundesgesetzblatt, Teil I, 2009, Nr. 22, S. 900-946; zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598)
- DIN 18132, 2012-04: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens
- DIN EN 933-11, 2011-05: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 11: Einteilung der Bestandteile in grober recycelter Gesteinskörnung
- DIN EN 1097-2, 2020-06: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung

- DIN EN 11367-1, 2007-06: Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel
- DIN EN 13450, 2003-06: Gesteinskörnungen für Gleisschotter
- DIN EN 1744-1, 2013-03: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Chemische Analyse
- DIN EN 12457-4, 2003-1: Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung)
- DIN EN ISO 17892-11, 2021-03: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit
- DIN EN ISO 17892-12, 2022-08: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen
- DIN ISO 18287, 2006-05: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie
- GDA-Empfehlung E 2-14, 2011-04: Basis-Entwässerung von Deponien
- GDA-Empfehlung E 3-05, 2019-10: Probefelder für Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme
- GDA-Empfehlung E 3-12, 2011-04: Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten
- LAGA M 23, 2022-11: Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle
- TL Gestein-StB, 2023-04: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau
- TP Gestein-StB, 2024-03: Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau
- TP Asphalt-StB, 2023-03: Technische Prüfvorschriften für Asphalt