

2 Mineralische Baustoffe

Zum Einstieg in die Thematik wird nachfolgend kurz erläutert, in welche Kategorie von Baustoffen sich Erdaushub und Bauschutt einordnen lassen. Anschließend wird der Lebenszyklus anhand der Wertschöpfungskette belichtet. Im letzten Abschnitt des Kapitels werden die Kausalitäten bei der Analytik, Bewertung und Zuordnung von Bau- und Abbruchabfällen erläutert.

2.1 Allgemein

Baustoffe und Baumaterialien bilden eine entscheidende Grundlage für das volkswirtschaftliche Zusammenleben unserer Gesellschaft. Wohn- und Arbeitsstätten sowie der sukzessiv voranschreitende Ausbau der Infrastruktur, basiert auf der zielgerichteten Nutzbarmachung und empirischen Weiterentwicklung der Baustoffe. Dies alles ermöglicht der Menschheit erst den heutigen sozialen und technologischen Standard.

Das Vorhandensein derartiger vieler und umfangreicher Baustoffe ist mittlerweile so selbstverständlich, dass wir die Ressource oftmals nicht mehr wertschätzen. Neue Baustoffe und Baustoffkombinationen werden umfangreich verwendet, um den Bedürfnissen einer stetig anwachsenden Weltbevölkerung gerecht zu werden. Diese globale Inanspruchnahme der in begrenztem Maß zur Verfügung stehenden Naturressourcen stellt die Baubranche als auch andere Wirtschaftszweige vor noch nicht dagewesene Herausforderungen im Bereich Umwelt, Natur und Nachhaltigkeit. Durch diesen Umstand wird es notwendig, Ausgangsstoffe, die natürlichen Vorkommen entnommen wurden, nach ihrer Lebenszeit zurückzugewinnen und als Rezyklat wiederzuverwenden. (7)

Baustoffe werden hinsichtlich ihres stofflichen Aufbaus in organisch und anorganisch unterteilt. Ein organischer Baustoff ist in Anlehnung an die Ausführungen der organischen Chemie ein Material, welches Kohlenstoffverbindungen enthält. Organische Stoffe wie Kunststoff, Holz oder auch Naturfasern gelten in der Regel als brennbare Substanzen und lassen sich dadurch gut von den inerten mineralischen Baustoffen, wie Beton, Ziegel, Lehm, Ton oder Sand abgrenzen. (7)

Da sich diese wissenschaftliche Ausarbeitung vor allem auf die Entsorgung von Erdaushub und Bauschutt beschränkt, wird nachfolgend primär der Bereich anorganischer Baustoffe respektive natürlich-mineralischer Baustoffe betrachtet. Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Einteilung der Baustoffe nach ihrer stofflichen Zusammensetzung.

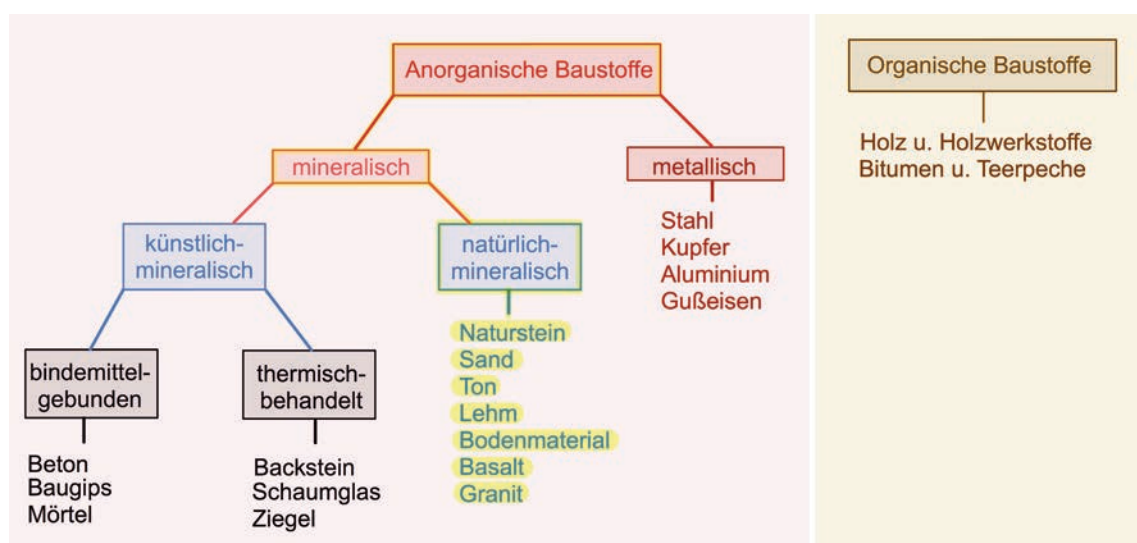


Abbildung 2 Baustoffeinteilung nach ihrer stofflichen Zusammensetzung [Eigene Darstellung, 04.11.2021]

Als mineralische Baustoffe werden jene Materialien bezeichnet, die aus anorganischen, nicht-metallischen Rohstoffen bestehen. Gemäß Abbildung 2 können diese weiterhin in natürlich-mineralisch, wie beispielsweise Naturstein, Sand oder Lehm und künstlich-mineralisch, wie Beton oder Mörtel unterteilt werden. (7)

Mineralische Baustoffe charakterisieren sich durch einen porösen Aufbau, welcher den Transport von Luft als auch Feuchtigkeit ermöglicht. Andere anorganische Baustoffe wie beispielsweise Metalle, weisen keine vergleichbare Porosität auf.

Neben homogenen Einkomponenten-Baustoffen (Sand, Splitt, Kies, Naturstein, Lehm, u.v.m) existieren im modernen Baugewerbe eine Vielzahl heterogener Mehrkomponenten-Baustoffe und Materialkombinationen, die eine eindeutige Zuordnung nach obigen Kriterien nicht zulassen. Dieser Umstand kann nicht nur bei der Bauausführung zu Problemen und folgenden Bauschäden führen, sondern auch nach der Lebenszeit respektive beim Abbruch und der Entsorgung. Für ein hochwertiges Recycling beziehungsweise eine bestmögliche stoffliche Verwertung der mineralischen Baustoffe, bei der die wertgebenden Eigenschaften zurückgewonnen werden können, sind umfassende Verfahren erforderlich. (7)

Sofern ein hochwertiges Recycling möglich ist, können Primärrohstoffe gemäß Abbildung 2 durch mineralische Ersatzbaustoffe substituiert werden. Der Begriff Ersatzbaustoff kann als Synonym für Sekundärbaustoff verwendet werden und bezeichnet gütegesicherte Recyclingmaterialien sowie mineralische Abfälle oder Nebenprodukte aus thermischen Prozessen. Die Verwendung mineralischer Ersatzbaustoffe im Sinne der geplanten Mantelverordnung (vgl. Kapitel 3.5 Aktuelles: Ersatzbaustoffverordnung (EBV) im Rahmen der Mantelverordnung) soll das Bauen mit Recyclingbaustoffen fördern und zu mehr Ressourceneffizienz im Bauwesen beitragen. (8)

Da das Inkrafttreten der Ersatzbaustoffverordnung erst für das Jahr 2023 geplant ist, werden mineralische Baustoffe (u. a. Erdaushub und Bodenmaterial) wie bisher gemäß den geltenden Rechtsvorschriften zu entsorgen sein. Die folgenden Kapitel der Ausarbeitung beschäftigen sich mit der Thematik rund um die Entsorgung von mineralischen Bauabfällen. Der Fokus liegt dabei vorangestellt auf dem Bodenmaterial, welches nach europäischer Abfallverzeichnis-Verordnung „AVV“ mit dem Schlüssel 17 05 03* und 17 05 04 gekennzeichnet ist.

2.2 Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe

Die länderoffene Arbeitsgruppe „Ressourceneffizienz“ LAGRE legte am 7. April 2020 ein Positionspapier mit Empfehlungen zur Förderung der Ressourceneffizienz im Bauwesen nieder. Die richtungsweisenden Bereiche sind folgende (8):

- Ressourcenschonendes Bauen durch Kreislaufwirtschaft
- Ressourcenschonendes Bauen durch Digitalisierung / Planung / Umnutzung
- Selektiver Rückbau, Wiederverwendung und hochwertiges Recycling
- Verstärkter Einsatz von Recyclingbaustoffen
- Verstärkter Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (8)

Damit jedoch ein ressourceneffizientes Bauen gelingen kann, muss der gesamte Lebenszyklus mineralischer Baustoffe betrachtet und analysiert werden. Nachfolgendes Kapitel verschafft einen Überblick über die Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe und erzeugt anhand von Grafiken einen quantitativen Überblick der bedeutendsten Stoffströme.

Mineralische Baustoffe (s. Kapitel 2.1) durchlaufen innerhalb ihres Lebenszyklus unterschiedlichste Wege in unserer Wirtschaft. Dabei befinden sie sich in einem der folgenden drei Stadien:

1. Gewinnung als natürlicher Rohstoff
2. Gebunden in der Nutzungsphase
3. Entsorgung durch Verwertung oder Beseitigung

Abbildung 3 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe. In dieser Grafik sind die drei Lebensstationen von außen nach innen dargestellt. Anhand der Breite der Kreise respektive der Stoffströme wird schematisch angedeutet, welche quantitative Bedeutung diesem Pfad zukommt.

Der äußerste Kreis „Mining“ steht für den Abbau der natürlichen Rohstoffe. Sie werden aus der Natur als Ausgangsprodukte gewonnen und zum Verbrauch beziehungsweise zur industriellen Verarbeitung bereitgestellt. Beispielsweise wäre hier der Abbau von Schottermaterial, welches im Straßenbau oder auch im Rohrleitungstiefbau verwendet wird zu nennen. Wie bereits angedeutet, können diese Primärrohstoffe dabei auf verschiedenste Wege in die Wertschöpfungskette treten. (8)

Die zweite Lebensphase kann als die sogenannte Nutzungsphase definiert werden. In der Fachliteratur wird dieses Stadium auch als „Urban Mining“ bezeichnet. Urban Mining bedeutet so viel wie Bergbau in städtischen Gebieten beziehungsweise Stadtschürfung. Das Prinzip sieht dabei eine dicht besiedelte Stadt als riesige Rohstofflagerstätte an, aus der gebundene Rohstoffe als Sekundärrohstoffe zurückgewonnen werden könnten. Die Sekundärrohstoffe existieren in der Nähe weiterer potentieller Einsatzorte und müssen so nicht in weit entfernten Minen gewonnen und importiert werden. (9)

In diesem Stadium werden Rohstoffe entweder direkt verwendet (z.B. Sand zum Unterbauen und Ummanteln einer neu verlegten Kanalleitung), als Mehrkomponenten-Baustoff (z.B. Stahlbeton in Ingenieurbauwerken) gebunden oder durch das angesprochene System des „Urban Mining“ vor Ort gewonnen und als Recycling wiederverwertet.

Speziell die Wiederverwendung respektive das Recycling mineralischer Baustoffe bringt neue Stoffkreisläufe in der Urbanen Mine hervor. Abbildung 3 deutet jedoch durch eine geringe Pfadbreite an, dass diese derzeit noch marginal sind.

Letztendlich treten die Baustoffe nach ihrer Lebenszeit dann aus der Wertschöpfungskette aus, wenn sie beseitigt, genauer gesagt deponiert werden. Die Stoffpfade in Richtung des inneren Kreises „Landfill“¹ deuten darauf hin, dass dies für den Großteil der Baustoffe zutrifft. (vgl. Abbildung 3)

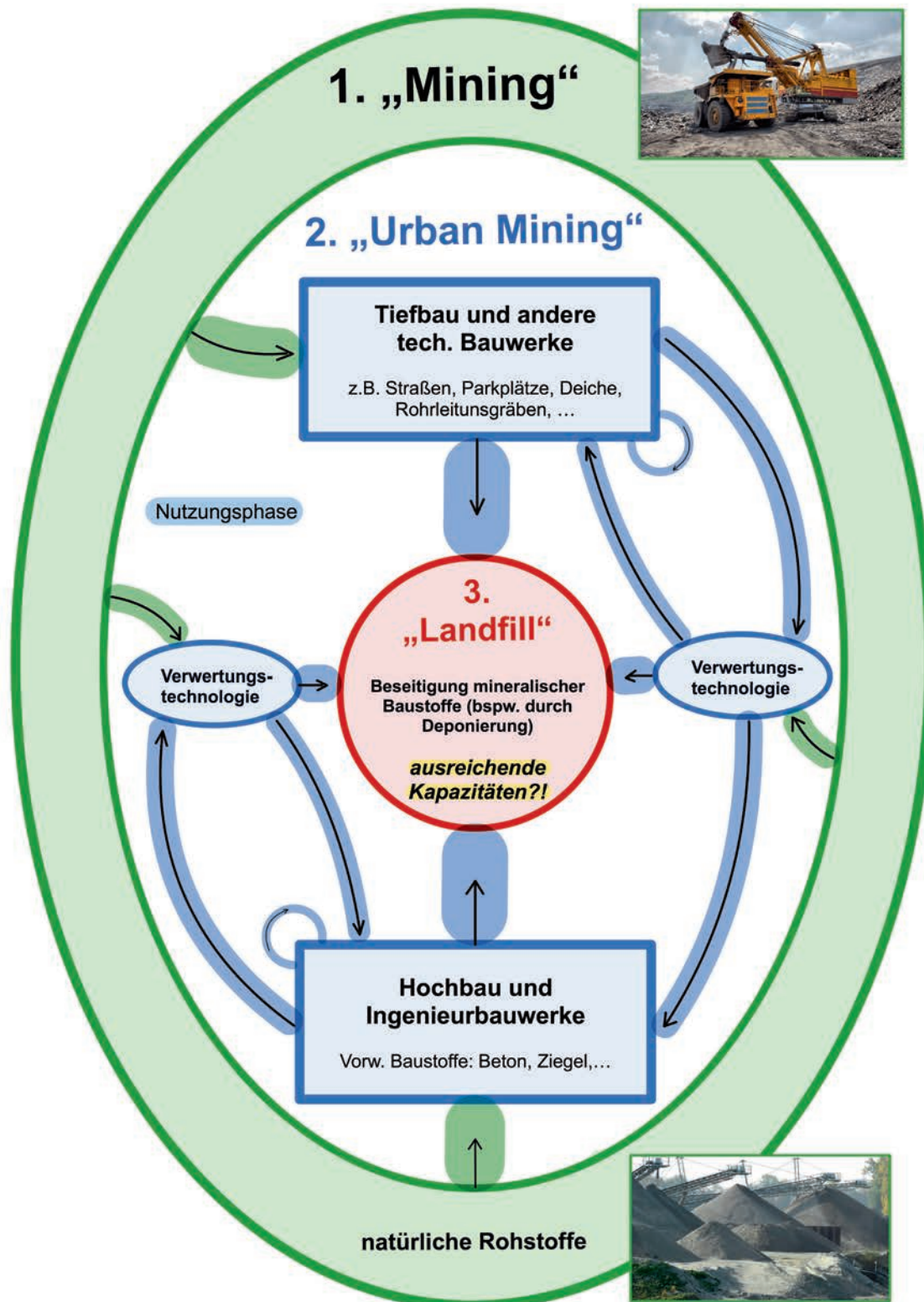


Abbildung 3 *Schematische Darstellung der Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe*
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (8), 05.11.2021]

¹ Landfill (engl.): Deponie

Die schematische Darstellung der Wertschöpfungskette zeigt eindeutig, dass es sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht um einen Kreislauf, sondern eher um eine Art „Einbahnstraße mit drei Stufen“ handelt. Natürliche Rohstoffe werden abgebaut, verwendet und anschließend auf der Deponie beseitigt. An dieser Stelle stoßen wir jedoch auf mehrere Probleme und gelangen somit zu dem Hauptthema dieser Bachelorarbeit.

Was geschieht, wenn die sichere und nachhaltige Beseitigung mineralischer Baustoffe wie Bauschutt oder Erdaushub auf regionalen Deponien nicht mehr gegeben ist?

2.3 Schadstoffe

In Anlehnung an die Schilderungen zur Wertschöpfungskette aus vorherigem Kapitel, wird anschließend beschrieben, welche potentiellen Schadstoffe in mineralischen Baustoffen enthalten sein können. Schadstoffe sind per Definition Stoffe, die geeignet sind, die Gesundheit von Menschen, Tieren, Pflanzen oder anderen Sachen von bedeutendem Wert zu schädigen. Des Weiteren können Schadstoffe dazu führen, ein Gewässer, die Luft oder den Boden nachhaltig zu verunreinigen respektive zu verändern. (10)

Um die Untersuchung einzugrenzen, wird lediglich Bodenaushub im Sinne der Technischen Regel für die Verwertung - Teil II.1.2.1 – LAGA Mitteilung 20 betrachtet.

Gemäß dieser technischen Regel ist Bodenaushub „natürlich anstehendes und umgelagertes Locker- und Festgestein (DIN 18196), das bei Baumaßnahmen ausgehoben oder abgetragen wird. Boden mit mineralischen Fremdbestandteilen (z.B. Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch) bis zu 10 Vol.-%; Bodenaushub mit mineralischen Fremdbestandteilen > 10 Vol.-% wird als „Bauschutt“ behandelt. Boden, der in Bodenbehandlungsanlagen (z.B. Bodenwaschanlagen, Bio-beeten) gereinigt worden ist.“ (11)

Bodenmaterial respektive Aushubmaterial fällt bei Bauarbeiten jeglicher Art an. Ob bei der Herstellung einer Baugrube, dem Verlegen von Rohrleitungen oder klassischen Trassierungsmaßnahmen für Straßen und Gleise. Je nach Herkunft und Vorgeschichte kann der Boden jedoch mit unterschiedlichen Stoffen beschaffen sein. Die Schadstoffe im Boden führen zu einer Beeinträchtigung der Verwertungsmöglichkeiten. Je nach geplanter Nutzung und vorhandener Einbaubedingungen existieren unterschiedliche Anforderungen an den Schadstoffgehalt im Boden. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen anthropogener² und geogener³ Vorbelastung essenziell. Denn oftmals ist der natürliche Mineralbestand geogen belasteter Rohstoffe der Auslöser für die Bewertung „schadstoffhaltig“.

Vor jeder Baumaßnahme bei der Bodenmaterial ausgehoben wird ist zu prüfen, ob mit Bodenbelastungen zu rechnen ist. Die LAGA Mitteilung 20 schlägt folgendes Untersuchungskonzept vor:

Zunächst ist durch Inaugenscheinnahme des Materials und Auswertungen vorhandener Unterlagen zu prüfen, ob mit einer Schadstoffbelastung zu rechnen ist. Aus den Ergebnissen dieser Vorerkundung ist zu entscheiden, ob zusätzlich analytische Untersuchungen durchzuführen sind. Diese sind meistens nicht erforderlich, wenn keine Hinweise auf anthropogene² Veränderungen und geogene³ Stoffanreicherungen vorliegen oder geringe Mengen (bis 200 m³) an nicht spezifisch belastetem Boden mit geringem Anteil (bis 10 Vol.-%) an mineralischen Fremdbestandteilen vorhanden sind. (11)

² anthropogen: [menschengemacht] durch den Menschen beeinflusst, verursacht (45)

³ geogen: [auf natürliche Weise] in der Erde vorhanden (45)

Sollte jedoch ein Verdacht auf Schadstoffgehalte vorliegen, so muss in jedem Fall eine chemische Untersuchung durchgeführt werden. Das Material ist in Abhängigkeit der geplanten Entsorgung auf die in Abbildung 4 dargestellten Parameter zu untersuchen. Dabei wird das Bodenmaterial auf die Parameter einmal im Feststoff und einmal im Eluat⁴ analysiert. Anhand der aufgelisteten Grenzwerte kann anschließend die Zuordnung zu einer Einbauklasse nach dem Merkblatt 20 der LAGA erfolgen (s. Kapitel 2.4).

Nachstehende Grafik (Abbildung 4) zeigt die zu untersuchenden Parameter mit den dazugehörigen Zuordnungswerten gemäß LAGA M 20 für den Einbau in technische Bauwerke.

Parameter	Dimension	Z 1	Z 2
Arsen	mg/kg TS	45	150
Blei	mg/kg TS	210	700
Cadmium	mg/kg TS	3	10
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	180	600
Kupfer	mg/kg TS	120	400
Nickel	mg/kg TS	150	500
Thallium	mg/kg TS	2,1	7
Quecksilber	mg/kg TS	1,5	5
Zink	mg/kg TS	450	1500
Salze / Verbindungen der Blausäure			
Cyanide, gesamt	mg/kg TS	3	10
Gesamter organischer Kohlenstoffe			
TOC	(Masse-%)	1,5	5
Extrahierbare organisch gebundene Halogene			
EOX	mg/kg TS	3 ¹⁾	10
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	300 (600) ²⁾	1000 (2000) ²⁾
Benzol, Toluol, Xylolisomere			
BTX	mg/kg TS	1	1
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe			
LHKW	mg/kg TS	1	1
Organische Chlorverbindungen			
PCB ⁴⁾	mg/kg TS	0,15	0,5
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe			
PAK ₁₆	mg/kg TS	3 (9) ³⁾	30
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,9	3

Schwermetalle

Organische Verbindungen

● → 1. Prioritäre Stoffe
 ● → 2. Prioritäre Stoffe
 ● → 3. Prioritäre Stoffe

Abbildung 4 Zuordnungswerte gemäß LAGA M 20 für den Einbau in technische Bauwerke (Feststoffgehalte im Bodenmaterial) (4)

Dargestellte Stoffe können zu einer chemischen Veränderung von Oberflächengewässern, zur Akkumulation von Schadstoffen in den Ökosystemen, zur Zerstörung von Lebensräumen, zur Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt oder zur Schädigung der menschlichen Gesundheit führen. Beispielsweise kann die Verschmutzung von Oberflächengewässern durch illegales Deponieren von belastetem Erdaushub nahe eines Fluss- oder Bachlaufes eine Gefahr für die aquatische⁵ Fauna darstellen, welche zu akuter und chronischer Vergiftung der Wasserlebewesen führen kann. (10)

⁴ Eluat/Elution: das Herauslösen von adsorbierten Stoffen aus festen Adsorptionsmitteln (45)

⁵ aquatisch: dem Wasser zugehörig, im Wasser befindlich, lebend, entstanden (45)

Der erste Block der zu untersuchenden Stoffe sind die Schwermetalle. Sie sind natürliche Bestandteile der Böden und Gesteine und daher in unterschiedlichen Konzentrationen je nach Region und geogener Vorbelastung vorhanden. Durch bodenbildende Prozesse wie Verwitterung oder Verlehmung kommt es zu Ab- und Anreicherung von Schwermetallen in den einzelnen Bodenhorizonten. Wichtig für diese kurze Betrachtung ist zu verstehen, dass nicht nur die hydrogeologischen und geotechnischen Parameter dieser lokalen Anreicherungen für umweltrelevante Themen von Bedeutung sind, sondern vor allem die Art der Bindung der Schwermetalle und somit auch ihre Pflanzenverfügbarkeit⁶ beziehungsweise ihre Mobilität in den Böden. (10)

Das mobilste aller Schwermetalle in den Böden ist dabei Cadmium [Cd]. Aufgrund dessen hoher Mobilität ist es gut für biologische Organismen verfügbar. Das bedeutet, dass Pflanzen Cadmium leicht aufnehmen können. Dadurch kann es zu einem reduzierten Wachstum oder Ernteertrag kommen. (10)

Unter den organischen Stoffen gelten vor allem auch die polyzyklisch aromatischen Kohlenwasserstoffe „PAK's“ als bedeutsame Gefährdung. PAK-Anreicherungen in Böden können einerseits durch Ablagerung aus der Atmosphäre und andererseits durch lokale Punktquellen wie Altlastenstandorte (Teerfabriken), Aufschüttungen oder Straßenbauabfälle in den Untergrund gelangen. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sind für die Umwelt und den Menschen daher beunruhigend, da sie ab einer gewissen Konzentration krebserregende und erbgutverändernde Eigenschaften besitzen. (10)

Die Erläuterung weiterer Schadstoffe würde im Zuge dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung zu weit vom Thema abschweifen. Es bleibt jedoch abschließend festzuhalten, dass es essenziell wichtig für Mensch und Natur ist, Quellen von Schadstoffablagerungen in Baustellen zu identifizieren und damit die Anreicherung anderer Standorte oder Ablagerungsstätten zu verhindern. Wie die Materialien bewertet und anschließend für den Wiedereinbau in technischen Bauwerken zugeordnet werden, vertieft Kapitel 2.4.

In ANHANG 1 kann eine Gesamtübersicht für die Zuordnungswerte Boden und Bauschutt gemäß LAGA M 20 eingesehen werden.

⁶ Pflanzenverfügbarkeit: Maß der Verfügbarkeit von Stoffen aus beispielsweise Böden für die Pflanzen (45)

2.4 Analysen, Bewertungskriterien und Zuordnung

Über die in Kapitel 2.3 genannten Parameter kann der Boden nach umfangreichen und oftmals zeitintensiven Analysen einer Einbauklasse zugeordnet werden. Wie bereits zuvor erwähnt findet die Untersuchung der Parameter des Materials einmal im Feststoff und einmal im Eluat statt. Dies Vorgehen resultiert aus den gestellten Anforderungen an den Boden- und Grundwasserschutz (vgl. Bundes-Bodenschutzgesetz [BBodSchG] und Bundes-Bodenschutzverordnung [BBodSchV]).

In Hessen existieren zur Bewertung von Bauschutt oder Bodenaushub insgesamt vier verschiedene Analyseverfahren. Die Beprobung kann nach der LAGA – Mitteilung 20, der Deponieverordnung, der Hessischen Verfüllrichtlinie Tabelle 2 oder der Tabelle 3 durchgeführt werden. Abhängig vom gewählten Analyseverfahren kann es zu unterschiedlichen Einstufungen der Materialien kommen. Ab dem 1. August 2023 kommt durch die Ersatzbaustoffverordnung ein weiteres Analyseverfahren hinzu, welches vor allem die LAGA Mitteilung 20 ergänzen beziehungsweise ablösen soll. Bis dahin ist jedoch die LAGA M 20 als wesentliches Instrument zur Charakterisierung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien anzusehen und wird deshalb in diesem Bericht exemplarisch für die restlichen Verfahren vorgestellt.

Um ein Material im Labor zu analysieren, muss es zuvor dem Boden entnommen werden. Die Auswahl der Beprobungspunkte hängt dabei von der Größe und der Art des Bauwerkes ab und orientiert sich an den Vorgaben der DIN 4020⁷. (11)

Bei der Entnahme von Bodenproben ist erhöhte Aufmerksamkeit gefordert. Prof. Dr. rer. nat. Frank Bär von der Agentur für Bodenaushub Zwickau, schätzt die fehlerhafte Untersuchung beziehungsweise die Falschinterpretation durch nicht repräsentative Probenahme in einem Seminar vom 24.11.2021 extrem hoch ein. Praxiserfahrungen zeigen beispielsweise, dass bei Böden unterhalb von Asphaltsschichten oftmals mit erhöhten MKW- und PAK-Anteilen zu rechnen ist. Die Ursache liegt jedoch meistens daran, dass grobe bis sehr feine Asphaltanteile bei der Probenahme entnommen werden. (12)



Abbildung 5 Fehlerhafte Untersuchung und Falschinterpretation durch unbrauchbare Probeentnahme (12)

Nachdem die Bodenprobe entnommen, analysiert und über die Schadstoffparameter einer entsprechenden Einbauklasse zugeordnet werden konnte, stellt sich nun die Frage, was die Einbauklasse für die weitere Verwertung bedeutet. Dies ist wichtig zu erläutern, um unabhängig von dem Ergebnis der Forschungsfrage, mögliche Verwertungswege aufzuzeigen, welche einen kreislaufgerechten Umgang mit Sekundärbaustoffen fördern.

⁷ DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

In erster Linie berücksichtigen die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall aufgestellten Einbauklassen die Beschaffenheit, die Herkunft, die geplante Einbauart sowie lokale Standortbedingungen am Einbauort. Damit soll eine großräumige Schadstoffverteilung der in Kapitel 2.3 genannten Parameter begrenzt und durch Beschränkungen der Einbaumöglichkeit verhindert werden. Die LAGA definiert dazu in ihrer Mitteilung 20 insgesamt sechs verschiedene Einbauklassen. (11)

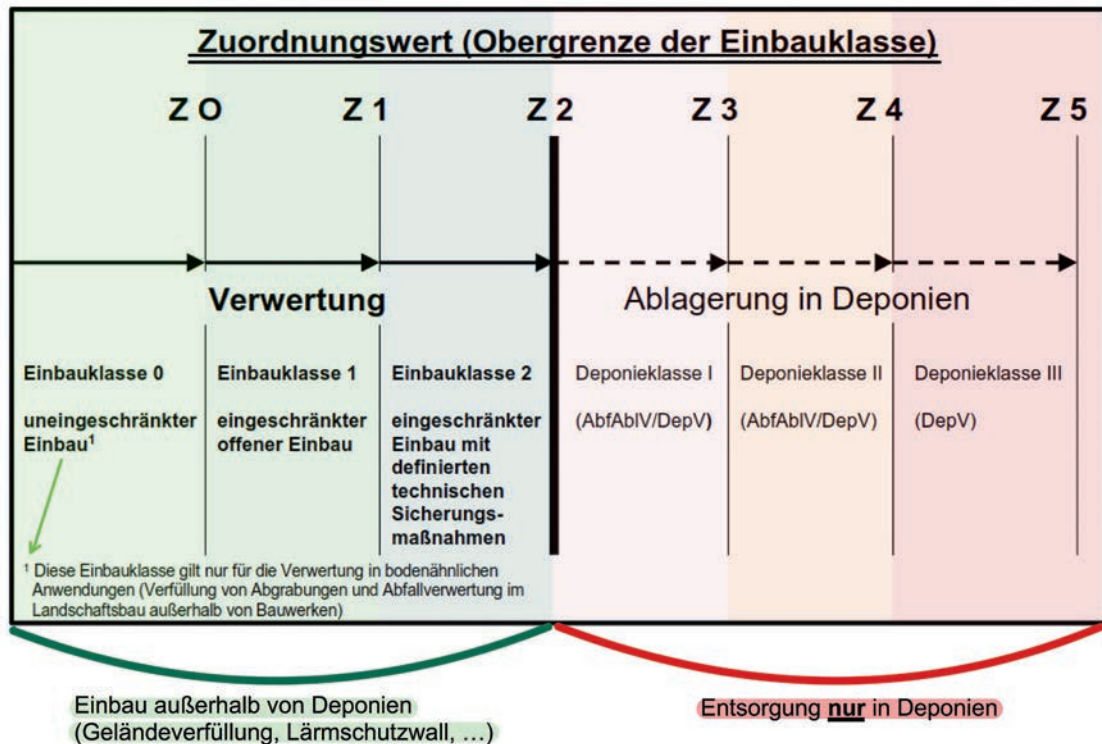


Abbildung 6 Darstellung der Einbauklassen gemäß LAGA M 20 (11)

Die erste Einbauklasse Z0 erlaubt die uneingeschränkte Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen (s. Abbildung 6). Bei dieser Einbauklasse steht die Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktion, so wie sie vorgefunden wurde, an erster Stelle. Die Schadstoffgehalte bei diesem Zuordnungswert kennzeichnen den natürlichen Boden.

Innerhalb dieser Einbauklasse wird nochmals zwischen Z0 und Z0* unterschieden. Material, welches die Zuordnungswerte Z0 einhält darf auch uneingeschränkt in der Nähe von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten verwendet werden. Die Zuordnungswerte für Z0* erlauben einen höheren Anteil an Schadstoffen und sind somit nur für die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelten Bodenschichten zulässig. Die Verfüllung darf dabei nur außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten erfolgen. Das Material der Einbauklasse Z0* ist anschließend mit einer mindestens 2,00 m dicken Schicht aus Bodenmaterial abzudecken. Dieses Material muss je nach Folgenutzung die Vorgaben der Bundes-Bodenschutzverordnung § 12 BBodSchV einhalten. Demnach kann es je nach Standort auch zu größerer Mächtigkeit kommen. Überdies sollte bei Einbau von Bodenmaterial der Qualität Z0 oder Z0* ein Abstand von mehr als einem Meter zum Grundwasserspiegel gehalten werden (s. Abbildung 7 und Abbildung 8). (11)

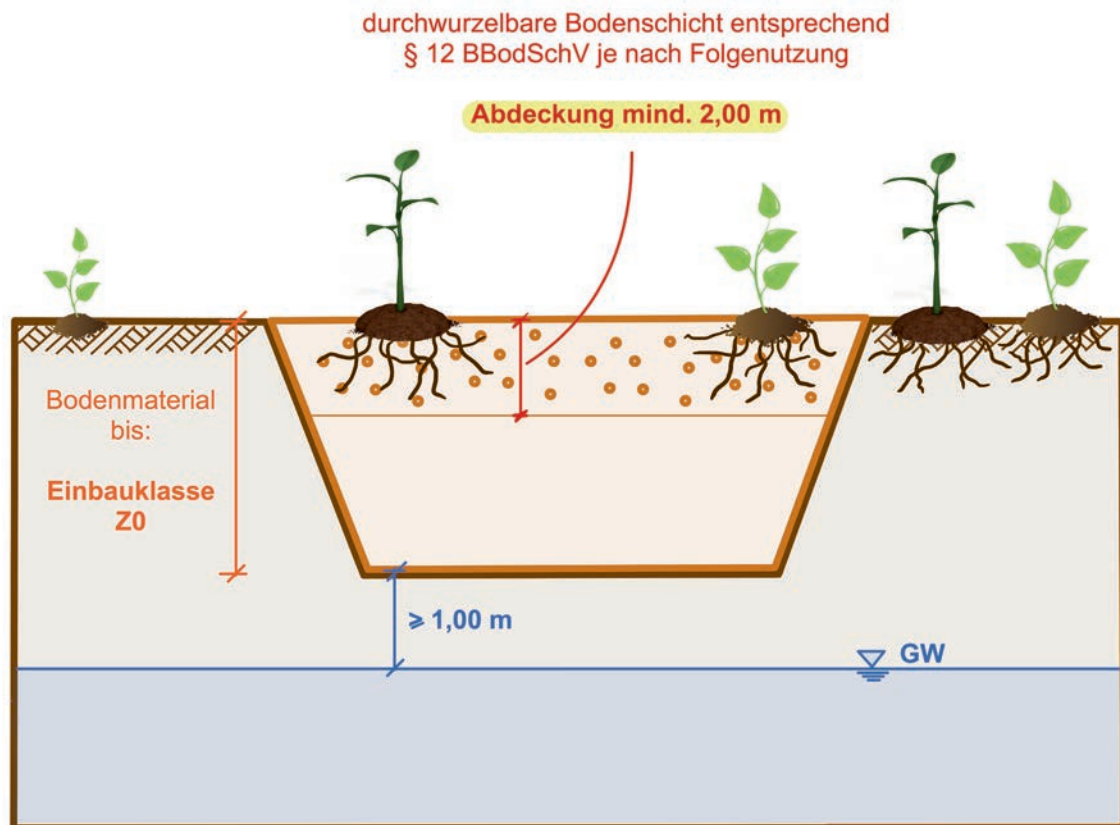


Abbildung 7 **Z0 - Uneingeschränkter Einbau – Verwertung in bodenähnlichen Anwendungen**
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (11), 07.11.2021]

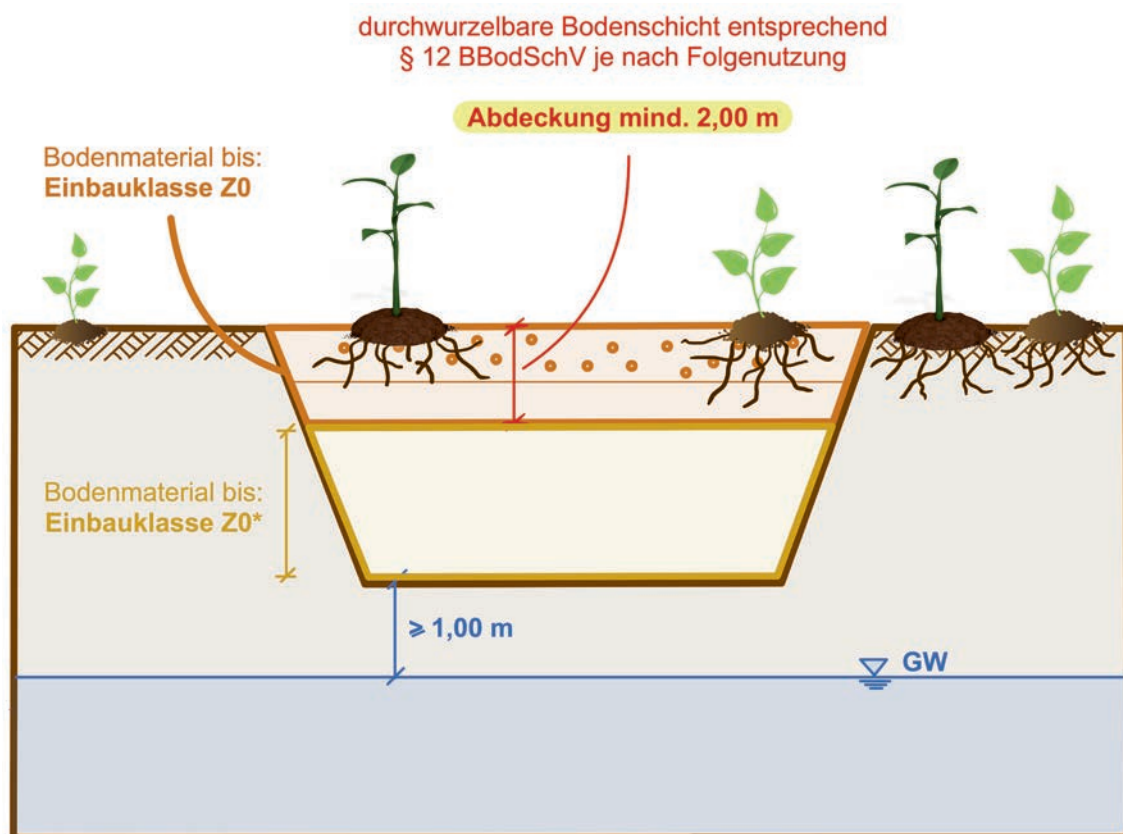


Abbildung 8 **Z0* - Verfüllung von Abgrabungen - Verwertung unterhalb durchwurzelbarer Bodenschichten**
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (11), 07.11.2021]

Die im folgenden Abschnitt vorgestellten Einbauklassen (Einbauklasse 1 und 2) regeln den eingeschränkten Einbau in technische Bauwerke. Einbauklasse 1 beschränkt den Einbau mineralischer Abfälle, die „offen“ eingebaut werden dürfen. „Offen“ bedeutet in diesem Kontext, dass die Bauwerke (z.B. ein Damm) wasserdurchlässig sind. Somit können Stoffe aus dem eingebauten Material über das Regenwasser in den Boden oder auch Grundwasserleiter gelangen. Aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes ist dabei vor allem die Einhaltung der Eluatkonzentration maßgebend. Die Einbauklasse Z1 „eingeschränkter offener Einbau“ berücksichtigt, ob im Bereich des Verwertungsstandortes günstige oder ungünstige hydrologische Bedingungen vorliegen und untergliedert demnach in die Zuordnungswerte Z1.1 und Z1.2. (11)

Durch Einhaltung der Zuordnungswerte Z1.1 für ungünstige hydrologische Standortbedingungen wird sichergestellt, dass keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers auftreten. Die im Sickerwasser zu erwartenden Schadstoffgehalte unterhalb der eingebauten Schichten entsprechen der Geringfügigkeitsschwelle. Die Geringfügigkeitsschwelle ist jene Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte keine relevanten ökotoxischen Auswirkungen im Grundwasser auftreten. (11); (13)

Darüber hinaus können mineralische Abfälle in hydrologisch günstigen Gebieten mit Schadstoffgehalten bis zu dem Zuordnungswert Z1.2 eingebaut werden. Als hydrologisch günstige Gebiete gelten Standorte, bei denen der Grundwasserleiter durch ausgedehnte und entsprechend mächtige Bodenschichten geschützt ist. Ein derartiges Rückhaltevermögen ist beispielsweise bei mindestens zwei Meter dicken Ton-, Schluff- oder Lehmschichten gegeben. Falls diese Gebiete nicht bereits landesspezifisch festgelegt sind, so müssen sie der genehmigenden Behörde durch ein Gutachten nachgewiesen werden. (11)

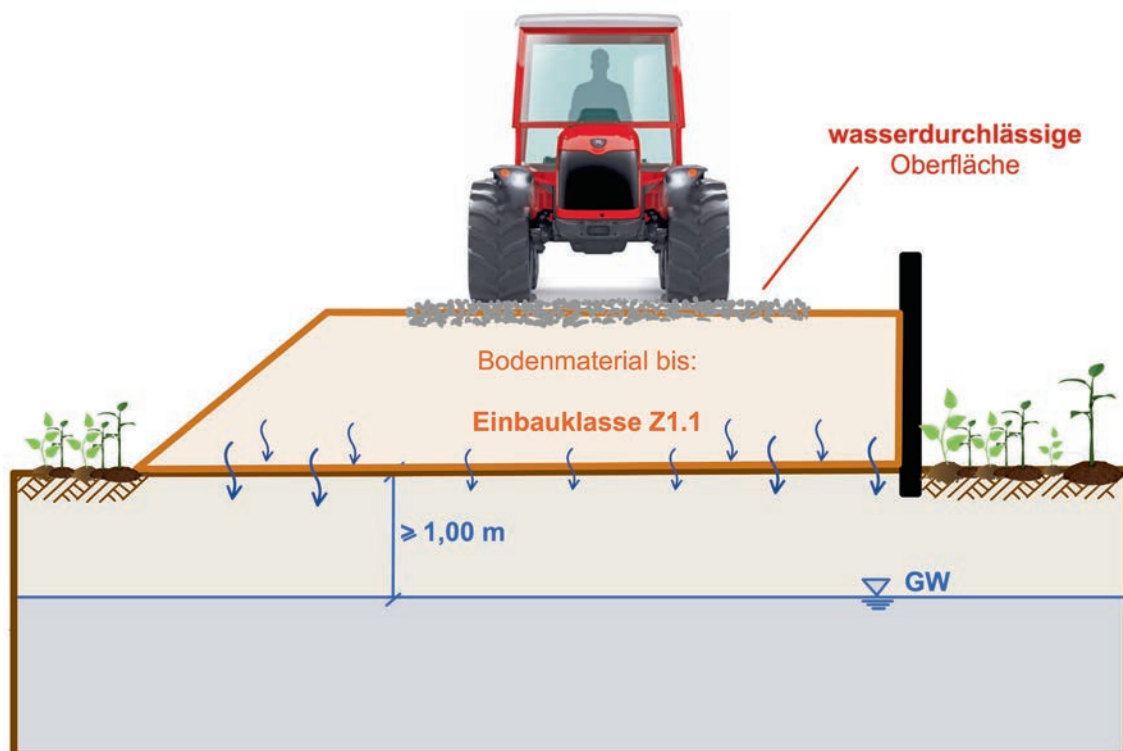


Abbildung 9 **Z1.1 – Eingeschränkter offener Einbau bei ungünstigen hydrologischen Standortbedingungen**
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (11), 07.11.2021]

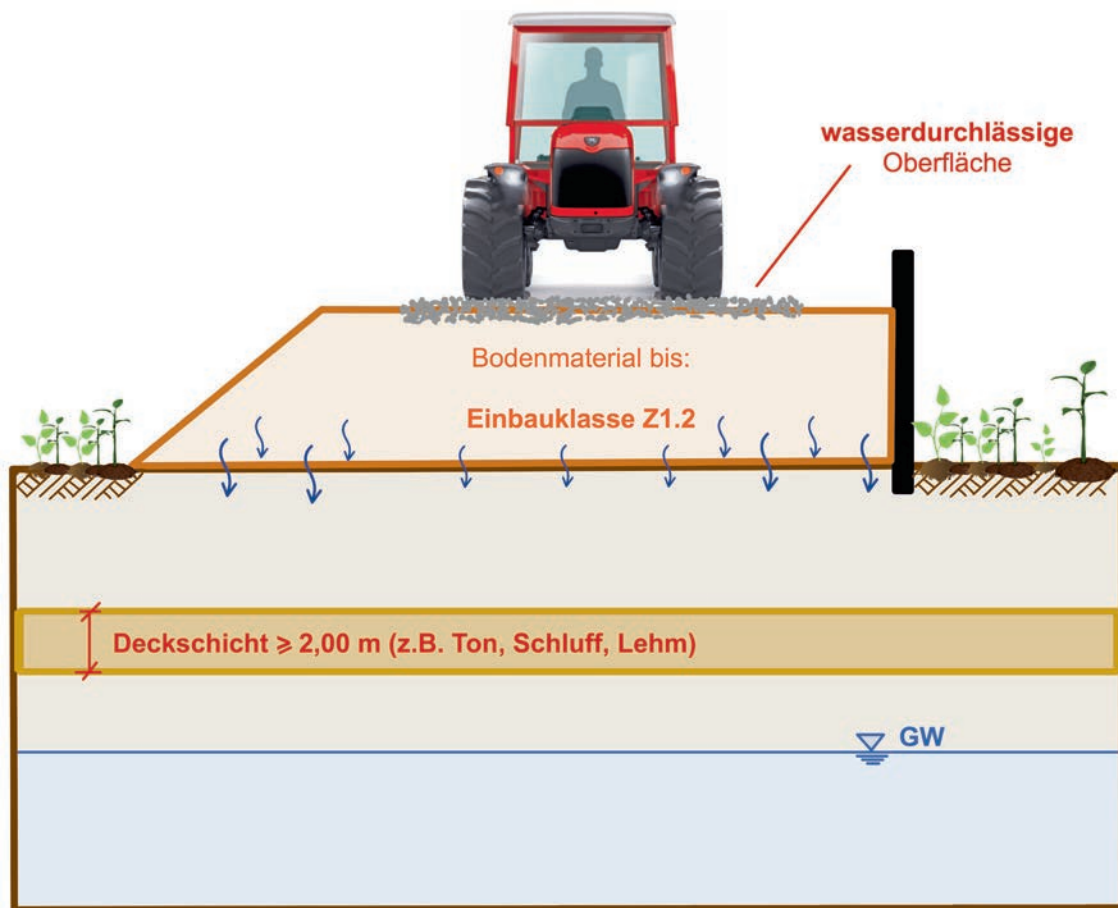


Abbildung 10 **Z1.2** – Eingeschränkter offener Einbau bei **günstigen** hydrologischen Standortbedingungen
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (11), 07.11.2021]

Die Einbauklasse Z2 bildet die Obergrenze für Bodenmaterial, welches mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen eingebaut werden darf. Durch Sicherungsmaßnahmen oberhalb des verwerteten Materials soll verhindert werden, dass Schadstoffe in den Untergrund oder das Grundwasser gelangen. Entscheidend für die Festlegung der Zuordnungswerte sind die geltenden Anforderungen an das Grundwasser. Des Weiteren bildet die Einbauklasse Z2 die Obergrenze für die Verwertung von mineralischen Bauabfällen im Geltungsbereich der LAGA Mitteilung 20. Erdaushub oder Bauschutt, welcher die Zuordnungswerte Z2 überschreitet, fällt unter den Geltungsbereich der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) und muss auf entsprechenden Deponien beseitigt werden. (11)

Bei Unterschreitung der Zuordnungswerte Z2 ist der Einbau in bestimmten Bauvorhaben möglich. Einerseits gehören dazu große Erdbaumaßnahmen in hydrologisch günstigen Gebieten (z.B. Lärmschutzwände, Straßendämme) und andererseits Straßen- und Wegebauten, befestigte Industrie- und Gewerbeflächen oder sonstige Verkehrsflächen wie zum Beispiel Flughäfen und Hafenbereiche. Abbildung 11 liefert weitere Details zu dieser Einbauklasse. Analog zu den Einbauklassen Z0 und Z1 sollte auch in dieser Einbauklasse der Abstand zwischen dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand und der Schüttkörperbasis mindestens ein Meter betragen. (11)

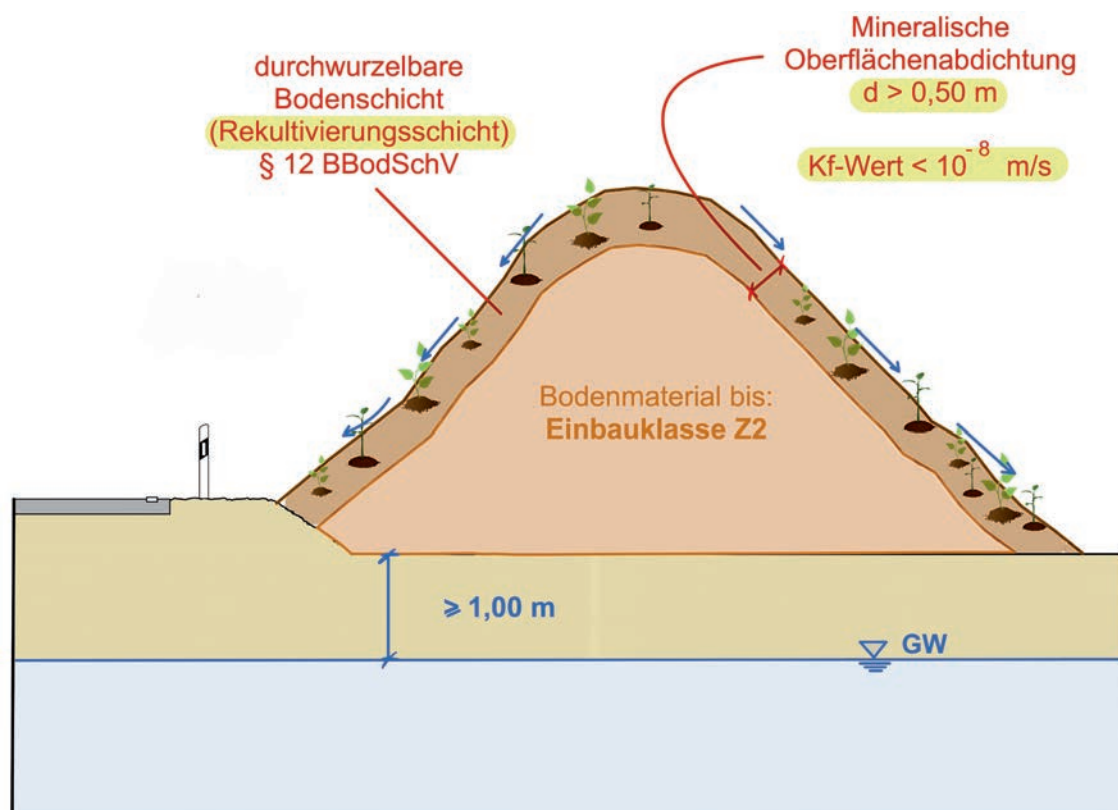


Abbildung 11 **Z2 – Eingeschränkter Einbau mit Sicherungsmaßnahmen – Lärmschutzwall (Erdbaumaßnahme)**
[Eigene Darstellung, in Anlehnung an (11), 07.11.2021]

2.5 Anforderungen an die stoffliche Verwertung

Bei der Verwertung respektive dem Einbau von mineralischen Abfällen in bauliche Anlagen, wie sie in vorherigem Kapitel beschrieben wurden (z.B. Verfüllungen, Dämme oder Straßen) gilt es in erster Linie folgende drei Anforderungen sicherzustellen:

1. Keine Besorgnis zur Verunreinigung des Grundwassers
2. Keine Besorgnis zur schädlichen Bodenveränderung
3. Keine Schadstoffanreicherung des umliegenden Bodens

Die gesetzlichen Regelungen und Vorschriften für die Verwertung haben sich über mehrere Jahre aus unterschiedlichen fachlichen Gremien entwickelt. Die Bund-Länderarbeitsgemeinschaft stellte in ihrer Mitteilung 20 eine Verzahnung zwischen den verschiedenen Bereichen her. Damit stellen sie beispielsweise sicher, dass wenn ein Abfall als verwertbar eingestuft wird, dass das am Einbauort entstehende Sickerwasser auch gleichzeitig den allgemein geltenden Anforderungen der Prüfwerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für den Pfad Boden-Grundwasser entspricht. Welche weiteren Anforderungen an den Grundwasserschutz als auch den Bodenschutz gestellt werden, wird nachfolgend erläutert. Die Erläuterungen können als zusätzliche Vertiefung von Kapitel 2.4 verstanden werden. (14)

Um das Grundwasser zu schützen, wurde 2009 das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) auf Bundesebene verabschiedet. Die dort enthaltenen Regeln und Vorgaben sollen eine Verunreinigung des Grundwassers verhindern und definieren gleichzeitig, wann es überhaupt als verunreinigt einzustufen ist. Durch Zusammenarbeit der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und dem Landesamt für Bürger- und Ordnungsangelegenheiten (LABO) wurde ein Konzept entwickelt, welches die Grundsätze des Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz (GAP – Konzept) regelt. (14)

Aus technischer beziehungsweise analytischer Sicht wird die sogenannte Sickerwasserprognose als wichtigstes Untersuchungsinstrument zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser herangezogen. Dabei wird der zu erwartende Schadstoffeintrag durch das Sickerwasser an dem Übergang von ungesättigter zu wassergesättigter Bodenzone untersucht und bewertet.

Anknüpfend an den Grundwasserschutz sind die Anforderungen des Bodenschutzes für die schadlose Verwertung gleichwertig zu beachten. Durch eine Verwertungsmaßnahme darf weder die Besorgnis zu einer schädlichen Bodenveränderung, noch eine Schadstoffanreicherung im umliegenden Boden entstehen. Rückblickend auf Unterkapitel 2.4 wurde bei der Verwertung mineralischer Abfälle zwischen „bodenähnlichen Anwendungen“ (Einbauklasse Z0) und „technischen Bauwerken“ (Einbauklasse Z1 und Z2) unterschieden. Bei Ersteren geht es darum, mit geeignetem Bodenmaterial die vorgefundene und natürliche Bodenfunktion nach Abschluss der Arbeiten wiederherzustellen. Daraus resultiert, dass von den zur Verwertung bestimmten Abfällen nicht nur keine schädliche Bodenveränderung und Schadstoffanreicherung des umliegenden Bodens ausgehen darf, sondern auch, dass nur geeignetes Bodenmaterial für die Verwertung in Frage kommt. Überdies ist das Verschlechterungsverbot gemäß § 12 Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV), welches vorschreibt, dass derartige Maßnahmen keine Verschlechterung der Bodenqualität nach sich ziehen, zu beachten. (15); (14)

Im Gegensatz dazu muss bei technischen Bauwerken (vgl. Z1 und Z2), die aus Kombination von mineralischen Primärbaustoffen und Abfällen hergestellt werden (z.B. Dämme, Lärmschutzwälle, Straßen, Wege, Gewerbeflächen, u.v.m) der Bodenschutz nur dahingehend gewährleistet sein, dass von diesen Stoffen insgesamt keine Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung oder Schadstoffanreicherung entsteht. Dies ist gegeben, wenn die Geringfügigkeitsschwelle im Sickerwasser unterhalb des Einbauortes nachweislich unterschritten wurde. (14)