

Merkblatt für die Praxis:

Bodenverfestigung und Bodenverbesserung mit CINERIT®

1. Was ist CINERIT®

Cinerit® ist eine Papierfabriks-Flugasche, die bei der thermischen Verwertung biogener Reststoffe, v.a. für die Papierherstellung nicht mehr brauchbarer Papierfasern aus dem Produktionsprozess der beiden Papierfabriken UPM-Kymmene Austria GmbH in Steyermühl und Laakirchen Papier AG in Laakirchen, im zirkulierenden Wirbelschichtkessel der EEVG (Tochtergesellschaft beider Papierfabriken und Betreiber des Wirbelschichtkessels) als Nebenprodukt entsteht.

Cinerit® fällt durch die konstante Produktion in den beiden Papierfabriken in gleichmäßiger Qualität an. Die Qualität von Cinerit® selbst, sowie alle Schritte der Herstellung einschließlich der Qualität der Ausgangsstoffe, unterliegen zusätzlich zur externen Überwachung einer im Managementsystem des Unternehmens verankerten permanenten internen Qualitätskontrolle.

Aufgrund seiner Zusammensetzung und Eigenschaften ist Cinerit® sehr gut für die Bodenbehandlung (Bodenverbesserung und Bodenverfestigung) feinkörniger oder gemischtkörniger Böden geeignet. Cinerit® ist darüber hinaus ein wertvoller Rohstoff in der Zement- und Baustoffindustrie.¹

2. Einsatz von CINERIT® für die Bodenbehandlung

2.1. Zulassung als Bauprodukt, Qualitätskontrolle

Cinerit® unterliegt einer ständigen externen Qualitätskontrolle und verfügt für die meisten in der Praxis relevanten Anwendungsformen über alle Zulassungen als Bauprodukt:

- Die bautechnischen Eigenschaften (Parameter der ÖNORM EN 14227-4) werden im Rahmen eines Überwachungsvertrages mit der Bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg laufend extern kontrolliert, wofür auch ein **Qualitätsgütesiegel** verliehen wurde.
- Cinerit® ist nach **REACH** unter der Registrierungsnummer 01-2119516041-58-0005 registriert.
- Cinerit® hat mit Bescheid BTZ-001 vom 20.5.2015 des Österreichischen Instituts für Bautechnik die **bautechnische Zulassung** für den Einsatz als Bodenverbesserungsmittel in der Geotechnik erhalten.
- Cinerit® ist bis zu einer Anwendungsmenge von 5 Masse-% und Einsatz außerhalb des Grundwasserschwankungsbereiches bei Einhaltung der in diesem Merkblatt beschriebenen Randbedingungen nach dem Feststellungsbescheid der Bezirkshauptmannschaft Gmunden Gz. UR20-5-2015 vom 21. März 2017 nach § 6 Abs. 1 AWG 2002 generell, d.h. unabhängig vom jeweiligen Projekt und Einsatzort, als **Produkt** anerkannt.

Hinweis: Bei einer Anwendungsmenge von mehr als 5 Masse-%, die in seltenen Fällen erforderlich sein kann sowie bei der Verwendung im Grundwasserschwankungsbereich und für Hochwasserschutzbauten ist auf Basis einer Untersuchung im Einzelfall eine Feststellung der Produkteigenschaft von Cinerit® nach den Bestimmungen des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG 2002) oder Altlastensanierungsgesetzes im **Einzelfall** möglich.

¹ Bodenbehandlung i.S. dieses Merkblattes ist die geotechnische Anwendung von Cinerit®, nicht aber z.B. dessen Einsatz als Bodenverbesserungsmittel (Kalkdüngemittel) in der Landwirtschaft. Für diesen Zweck ist Cinerit® weder vorgesehen noch liegen die erforderlichen Eignungsuntersuchungen, Nachweise und Zulassungen vor.

2.2. Allgemeines

Cinerit® wird für die Bodenbehandlung (Bodenverbesserung und Bodenverfestigung) feinkörniger oder gemischtkörniger Böden eingesetzt.

Bodenverbesserungen sind Verfahren zur Verbesserung der Einbaufähigkeit und Verdichtbarkeit von Böden und zur Erleichterung der Ausführung von Bauarbeiten. Qualifizierte Bodenverbesserungen sind Bodenverbesserungen mit erhöhten Anforderungen, z. B. hinsichtlich des Frost- und Tragfähigkeitsverhaltens.

Bodenverbesserungen können durch die Zugabe von Bindemitteln, aber auch durch die Einbringung anderer geeigneter Baustoffe oder durch andere Maßnahmen erzielt werden. Bodenverbesserungen werden bei Erdarbeiten für Straßen und Verkehrsflächen im Unterbau oder Untergrund, z. B. bei der Herstellung von Dämmen, Böschungen, Hinterfüllungen, Verfüllungen und Baustellentransportwegen, angewendet. Nasse, nicht ausreichend verdichtbare Böden können damit einbau- und verdichtungsfähig werden; die Tragfähigkeit kann erhöht und die Witterungsempfindlichkeit vermindert werden. Im Bereich von Planien, Böschungen und anderen Flächen bewirken Verbesserungen mit Bindemitteln zusätzlich einen Erosions- und Witterungsschutz.

Bodenverfestigungen sind Verfahren, bei denen die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Beanspruchung z.B. durch Verkehr und Klima durch die Zugabe von Bindemitteln erhöht wird und bei denen bestimmte Anforderungen v.a. an das Tragfähigkeitsverhaltens erreicht werden müssen. Durch die Bindemittelzugabe wird der Boden dauerhaft tragfähig und frostbeständig. Bodenverfestigungen werden v.a. in der oberen Zone des Unterbaues oder Untergrundes von Straßen und Verkehrsflächen ausgeführt. Sie erhöhen die Tragfähigkeit und damit die Befahrbarkeit und tragen zur Frostsicherheit des Straßenaufbaues bei.

2.3. Wirkungsweise von CINERIT®

Cinerit® besteht wegen des Einsatzes von zur Papierherstellung nicht mehr verwertbaren Papierfasern zu ca. 95% aus den Papierfüllstoffen Calciumcarbonat (Kreide) und Kaolin in gebrannter Form, der restliche Anteil stammt aus Biomassebrennstoffen (Rindenasche, Holzasche). Cinerit® ist eine **kalkreiche Flugasche** und fällt durch den speziellen Verbrennungsprozess (zirkulierende Wirbelschicht) als ein sehr feinkörniges Pulver von grau – weißer Farbe mit hoher spezifischer Oberfläche an.

Tab. 1: Typische Zusammensetzung (Hauptbestandteile) von Cinerit® (Untersuchungszeitraum 2013/14):

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Glühverlust [%]	7,8	10,3	8,8
SiO ₂ [%]	12,9	17,0	14,7
Al ₂ O ₃ [%]	7,3	9,1	8,1
Fe ₂ O ₃ [%]	0,7	1,1	0,9
CaO [%]	57,3	64,2	62,3
MgO [%]	2,1	2,8	2,4
K ₂ O [%]	0,3	0,6	0,4
SO ₃ [%]	0,8	1,3	1,0
Mn ₂ O ₃ [%]	0,1	0,1	0,1
Na ₂ O [%]	0,3	0,5	0,3
Chlorid [%]	0,2	0,4	0,3
P ₂ O ₅ [%]	0,3	0,4	0,3

Cinerit® weist einen Gehalt von ca. 50% an reaktionsfähigem Calciumoxid auf und hat damit als erstes **kalktypische Eigenschaften**. Aufgrund seiner Feinkörnigkeit und großen Reaktionsoberfläche ist das Produkt sehr reaktiv.

Wie bei der Bodenbehandlung mit Kalk wird als **Sofortreaktion**

- bei feuchten Böden Wasser chemisch gebunden. Die exotherme Reaktion führt zu einer weiteren

Verminderung des Wassergehaltes durch Verdunstung. In Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung des Bodens kann nach den durchgeführten Untersuchungen mit einer Abnahme des Bodenwassergehaltes von etwa 2 % bei Zugabe von 1 Masse-% Cinerit® ausgegangen werden. Die mit Cinerit® erreichbare Verringerung des Wassergehalts im Boden liegt damit in ähnlicher Höhe wie bei der Bodenbehandlung mit Feinkalk.

- findet wie bei Feinkalk durch Ionenaustausch und Koagulation eine Umwandlung der Bodenstruktur statt.

Diese Vorgänge führen zu einer Bodenverbesserung durch Veränderung der Plastizität, Verbesserung der Verdichtbarkeit, Erhöhung der Scherfestigkeit bzw. der Tragfähigkeit und Verringerung der Wasserempfindlichkeit. Bei Böden, die aufgrund eines zu hohen natürlichen Wassergehaltes nicht ausreichend verdichtbar sind, kann durch Zugabe von Cinerit® der für die Verdichtung optimale Wassergehalt nach Proctor eingestellt werden.

Der Sofortreaktion folgt abhängig von der Art und den Eigenschaften des behandelten Bodens eine Langzeitreaktion (puzzolanische Reaktion von Bodenbestandteilen mit Calciumoxid), die eine zusätzliche und dauerhafte Verfestigung des Bodens durch Calcium- und Aluminiumsilikathydrat- Phasen bewirkt. Die langfristigen Verfestigungsreaktionen können über einen Zeitraum von vielen Monaten wirksam sein.

Cinerit® wirkt aber nicht nur wie Feinkalk (Brantkalk), sondern hat wegen der Silikat- und Aluminiumkomponenten, die aus dem Ausgangsstoff Kaolin (Tonerde) stammen, auch **hydraulische Eigenschaften**, die zusätzliche zur Stabilisierungswirkung beitragen. Cinerit® erhärtet als hydraulisch aktives Bindemittel nach dem Mischen mit Wasser. Hydraulisch wirksame Bindemittel wie z.B. natürliche hydraulische Kalke oder Zement bewirken eine Verkittung der Bodenpartikel durch die Erhärtung des Bindemittels.

Mit Cinerit® können somit grundsätzlich alle Anwendungsfälle abgedeckt werden, bei denen als konventionelle Binde- bzw. Stabilisierungsmittel Feinkalk (Brantkalk), Kalkhydrat, hydraulische Kalke oder Kalk-Zementgemische (bzw. Mischbinder mit vergleichbaren Eigenschaften) eingesetzt werden.

Hinweis: Cinerit® kann bei bestimmten Böden eine etwas längere Reaktionszeit aufweisen als Feinkalk oder Kalk- / Zementmischungen, so dass es im Einzelfall zweckmäßig sein kann, die geforderten Bodenkennwerte erst nach 24 – 48 Stunden zu bestimmen oder im Anschluss an die Erstuntersuchung eine Folgeuntersuchung durchzuführen. Im Allgemeinen ist eine längere Abbindezeit aber für die Verarbeitbarkeit des stabilisierten Bodens positiv zu bewerten.

2.4. Bei welchen Böden kann CINERIT® angewendet werden?

Cinerit® kann gut mit den für Bodenverfestigungen bzw. Bodenverbesserungen üblichen Verfahren und Geräten für die Behandlung von **feinkörnigen Böden** (Tone, Schluffe) und **Schluff- bzw. Tonhaltigen gemischtkörnigen Böden** (z.B. Ausanden) eingesetzt werden. Für diese Einsatzfälle liegen zahlreiche Testergebnisse und umfangreiche praktische Erfahrungen vor. Die möglichen Einsatzbereiche von Cinerit® sind in der Tabelle 2 auf der folgenden Seite zusammengefasst.

Zu den einzelnen Bodenarten wird folgendes angemerkt:

- Bei grobkörnigen Böden (Kiese, Sande) ist im Allgemeinen eine Bodenbehandlung nicht erforderlich. Es liegen keine Erfahrungen mit Cinerit® vor.
- Bei Böden mit Kornanteilen über 63 mm müssen die groben Bestandteile vor dem Einmischen des Bindemittels zerkleinert oder entfernt werden.
- Ausgeprägt plastische Tone (TA) müssen vor der Behandlung auf ihre geotechnischen Eigenschaften überprüft werden. Häufig ist eine homogene Einmischung – gleich welchen Bindemittels - und eine ausreichende Verdichtbarkeit nicht erreichbar. Wenn das Behandlungsmittel homogen eingemischt werden kann und der behandelte Boden verdichtbar ist, können solche Böden mit Cinerit® behandelt werden.

Tab. 2: Eignung von Bodenarten (Bodengruppen) zur Bodenbehandlung (Bodenverbesserung, Bodenstabilisierung) mit Cinerit®

Hauptgruppe	Korngrößenanteil [M.-%]		Gruppe (allgemein)	Gruppe (detailliert)	Kurzzeichen		
	≤ 0,063 mm	> 2,0 mm					
Grobkörniger Boden	≤ 5	> 40	Kies	enggestufte Kiese	GE		
				weitgestufte Kies-Sand-Gemische	GW		
				intermittierend gestufte Kies-Sand-Gemische	GI		
		≤ 40	Sand	enggestufte Sande	SE		
				weitgestufte Sand-Kies-Gemische	SW		
				intermittierend gestufte Sand-Kies-Gemische	SI		
Gemischtkörniger Boden	5 bis 40	> 40	Kies-Schluff	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm	GU		
				15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm	GU*		
			Kies-Ton	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm	GT		
				15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm	GT*		
		≤ 40	Sand-Schluff	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm	SU		
				15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm	SU*		
			Sand-Ton	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm	ST		
				15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm	ST*		
Feinkörniger Boden	> 40	–	Schluff	leicht plastische Schluffe (WL ≤ 35)	UL		
				mittelplastische Schluffe (35 < WL ≤ 50)	UM		
				ausgeprägt plastische Schluffe (WL > 50)	UA		
			Ton	leicht plastische Tone (WL ≤ 35)	TL		
				mittelplastische Tone (35 < WL ≤ 50)	TM		
				ausgeprägt plastische Tone (WL > 50)	TA		
		Organogener Boden	> 40	–	nicht brenn- und schwelbar	organogene Schluffe (35 < WL ≤ 50)	OU
						organogene Tone (WL > 50)	OT
≤ 40	grob bis gemischtkörnige Böden mit humosen Beimengungen		OH				
	grob bis gemischtkörnige Böden mit kalkigen, kieseligen Bildungen		OK				
Organischer Boden	–	–	brenn- und schwelbar	nicht bis mäßig zersetzte Torfe	HN		
				zersetzte Torfe	HZ		
				Mudden (Faulschlamm)	F		
im Allgemeinen gut geeignet			bedingt geeignet (Einzelfalluntersuchung)		im Allgemeinen nicht erforderlich bzw. geeignet		

- In Böden mit organischen Beimengungen können die organischen Stoffe die hydraulische Wirkung von Bindemitteln verzögern oder vermindern. Für solche Böden liegen keine Erfahrungen mit Cinerit® vor. Der Einsatz von Cinerit® ist bei solchen Böden nicht ausgeschlossen, jedoch sollten entsprechende Voruntersuchungen aus den Gesichtspunkten Bautechnik und Umweltverträglichkeit durchgeführt werden. Grobe organische Bestandteile können unter dem Einfluss von Wasser quellen und so die Dauerhaftigkeit der erhärteten Schicht unabhängig vom Zuschlagstoff beeinträchtigen. Sie sind vor der qualifizierten Bodenverbesserung bzw. Bodenverfestigung zu entfernen, sonst ist nur eine Bodenverbesserung möglich.

Bei Böden mit ständig wechselnder Beschaffenheit muss sich der Einsatz von Cinerit® nach den ungünstigsten Bodenverhältnissen richten, wenn eine Homogenisierung nicht durchgeführt werden kann.

Aus geotechnischer Sicht für die Behandlung mit Cinerit® **ungeeignet** sind alle Böden,

- deren Einbaubarkeit und Verdichtbarkeit auch mit hohen Bindemittelgehalten (mehr als 6 -8 % Bindemittelzugabe) nicht wesentlich verbessert werden kann oder die nicht ausreichend tragfähig und frostbeständig verfestigt werden können
- bei denen mit den üblichen Geräten das Bindemittel nicht homogen in den Boden eingearbeitet werden kann (z.B. bei nicht ausreichend zerkleinerbaren, veränderlich festen Gesteinen, wie Schluffsteinen und Tonsteinen oder unvollständig zersetzten Gesteinen).

Hinweis: Für die Verwendung von Cinerit® und insbesondere für die kombinierte Anwendung von Cinerit mit Zementen muss – wie bei allen Mischbindemitteln - die mögliche Gefahr von Ettringitbildungen berücksichtigt werden. Dies gilt jedoch ausschließlich für die Zugabe von Cinerit® bei **Böden mit hohen Sulfatgehalten**, also insbesondere anhydrithaltigen Böden. Dazu zählt zum Beispiel das Haselgebirge (Mischgestein aus Tonmineralen, Anhydrit, Salzen und Sandstein, häufig in den Nördlichen Kalkalpen anzutreffen). Bei Böden mit erhöhten Sulfatgehalten kann es nach Wasserzutritten zu Mineralneubildungen kommen, wobei bei der Bildung von Ettringit (Entstehung aus Sulfat und Kalziumhydroxid) und dem Vorhandensein anderer quellfähiger Tonminerale eine Volumenzunahme von bis zu 160 % möglich ist. Die bei Wasseraufnahme zu beobachtende Volumenzunahme zeigt sich in Form eines Auftreibens des stabilisierten Bodens, bzw. in Form von Hebungen mit starker Rissbildung. **Bei höheren Sulfatgehalten (ab ca. 0,5 Masse-% Sulfatgehalt des Bodens) sollte daher von einer Bodenbehandlung mit Feinkalk oder Cinerit® abgesehen werden.**

2.5. Erforderliche Bindemittelmenge

Für Cinerit® liegen umfangreiche Ergebnisse aus Behandlungsversuchen (Testfeldern) und praktischen Anwendungsfällen bei unterschiedlichen Böden vor, bei denen die relevanten geotechnischen Parameter bestimmt wurden. Dabei wurde zum Vergleich immer wieder auch die Wirkung von Feinkalk oder Zement-Kalk-Mischungen vergleichend ermittelt. Die vorliegenden Ergebnisse bei unterschiedlichen überwiegend feinkörnigen Böden zeigen, dass je nach Bodenart und natürlichem Wassergehalt mit in der Regel etwa 2 bis 3 Masse-%, in Ausnahmefällen bis ca. 8 Masse-% Cinerit® die besten Ergebnisse hinsichtlich optimalem Wassergehalt und Festigkeit erzielt werden können. Auch bei den anderen Bindemitteln liegen die optimalen Zuschlagstoffmengen innerhalb dieser Bandbreite.

Da die erforderliche Bindemittelmenge in erster Linie vom Einsatzbereich und den dabei geforderten Bodenkennwerten abhängt, sind für jeden Anwendungsfall die erforderlichen Zugaben durch **Vorversuche** zu bestimmen (siehe Abschnitt 3.3). Insbesondere die Abweichungen vom natürlichen Wassergehalt zum optimalen Einbauwassergehalt sind letztendlich für die erforderliche Menge an Bindemittel ausschlaggebend.

2.6. Erreichbare Verbesserung der Bodenkennwerte

Zum überwiegenden Teil werden Bodenverbesserungen in Feinkornböden angewandt. Dazu zählen im Bereich des Alpenvorlandes hauptsächlich schluffige und feinsandige Ablagerungen des Tertiärs (diese werden unter dem verbreiteten Begriff des Schliers zusammengefasst), aber auch Löss und Lösslehme, sowie Ausande und Aulehme.

Nachstehend werden als Beispiel die Ergebnisse von Behandlungsversuchen (Testfeldern) im Zuge der Herstellung eines Hochwasserschutzdammes (Hochwasserschutz Machland-Nord), welcher als Homogendamm mit den vorhandenen Ausanden und Aulehmen (schluffige Feinsande bzw. feinsandige Schluffe) als Ausgangsmaterial hergestellt wurde, dargestellt.

Hinsichtlich **Proctordichte bzw. optimalem Einbauwassergehalt** weist der mit Cinerit® behandelte Boden den höchsten optimalen Wassergehalt und damit das vergleichsweise höchste Wasseraufnahmevermögen auf. Cinerit® erwies sich hinsichtlich der Verdichtbarkeit als mindestens gleichwertig zum Bindemittel Feinkalk (Branntkalk).

Tab. 3: Ergebnisse der Proctorversuche mit verschiedenen Zuschlagstoffen

Material	Proctordichte [g/cm ³]	optimaler Wassergehalt [M-%]
Probe ohne Zuschlagstoff	1,72	16,7
Probe 4 % Branntkalk	1,62	17,1
Probe mit 4 % Cinerit®	1,60	17,9
Probe mit 4 % Bentonit	1,67	17,2

Mit dem Zuschlagstoff Cinerit® sind insgesamt höhere **Druckfestigkeiten** ermittelt worden als mit dem Zuschlagstoff Feinkalk (Branntkalk). Cinerit® erwies sich auch hinsichtlich der Druckfestigkeit als mindestens gleichwertig zum Bindemittel Feinkalk (Branntkalk).

Tab. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

Behandlungsmittel	Zuschlagstoff-Menge	Wartezeit [Tage]	Einaxiale Druckfestigkeit [kN/m ²]
Feinkalk (Branntkalk)	6 Masse-%	7	maximal: 119,7
	2 Masse-%	1	minimal: 79,3
Cinerit®	6 Masse-%	7	maximal: 155,7
	2 Masse-%	3	minimal: 78,5

Beim dynamischen Verformungsmodul (RVS 08.03.04) wurden durch die Zugabe von Cinerit min. Verformungsmodul erreicht, die über den besten Werten des unbehandelten Bodens lagen. Im Langzeitversuch erwies sich der Verfestigungseffekt als stabil.

Tab. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der dynamischen Lastplattenversuche

Material	min. EVd [MN/m ²]	max. EVd [MN/m ²]
Boden, unbehandelt	5,6	20,2
Boden +4 % Cinerit®	23,9	26,7

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der im Labor bestimmten **Durchlässigkeitsbeiwerte** für verschiedene Zuschlagstoffe. Was die Verringerung der Durchlässigkeit betrifft, zeigt erwartungsgemäß die Beimischung von Bentonit die besten Ergebnisse. Bei der Anwendung von Feinkalk (Branntkalk) wurden im Fall der Ausande geringfügige Erhöhungen und bei Cinerit® geringfügige Verringerungen der Durchlässigkeitsbeiwerte beobachtet.

Tab. 6: Zusammenfassung der Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche (Ausgangswassergehalt 28 Masse-%)

Material	Durchlässigkeitsbeiwert kf [m/s]
Probe ohne Zuschlagstoff	2,3x10 ⁻⁷
Probe + 4 % Branntkalk	3,1x10 ⁻⁷
Probe + 4 % Cinerit®	2,2x10 ⁻⁷
Probe + 2 % Bentonit	7,5x10 ⁻⁸
Probe + 4 % Bentonit	2,4x10 ⁻⁹

3. Anwendung von CINERIT® in der Praxis

3.1. Festlegung der Anforderungen

Während im Straßenbau und bei Flächengründungen die Anforderungen meist als Verformungsmodule (E_{v1} , E_{v2} und Verhältniszahl) definiert werden, sind es im Schutzwasserbau Verdichtungsgrade und maximale Durchlässigkeitsbeiwerte. Die jeweiligen Anforderungen sind im Straßenbau durch die RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen), bei Gründungen durch die Bauwerksstatik und im Schutzwasserbau durch die entsprechenden behördlichen Bescheide definiert.

3.2. Geotechnische Voruntersuchung

Allgemein ist die Untersuchung auch des tieferen Untergrundes umso genauer durchzuführen, je größer die zu erwartende Bauwerks- und Nutzlast ist. Das Vorhandensein von setzungsempfindlichen Böden im Untergrund und insbesondere deren Mächtigkeit bestimmen das Setzungsverhalten eines Bauwerkes. Ziel der Bodenverbesserung/-verfestigung ist die Herstellung einer ausreichend tragfähigen Schicht, die eine Aufnahme der durch ein Bauwerk hervorgerufenen Spannungen auf den darunter liegenden Boden innerhalb der tragfähigen Schichten ermöglicht.

Der Boden ist – sofern nicht bereits genügend Informationen vorliegen – somit rechtzeitig auf

- seine Eigenschaften
- seine Eignung als Baugrund oder Baustoff
- das Vorhandensein von Auffüllungen,
- das Vorhandensein von Altlasten, Altlastenverdachtsflächen oder sonstige Ursachen für Schadstoffbelastungen
- seine Homogenität bzw. das Risiko, von stark zu den erkundeten Verhältnissen abweichenden Untergrundbedingungen

zu erkunden, um die Erkenntnisse bei der Planung, den konstruktiven Festlegungen und der Bauausführung berücksichtigen zu können. Dabei ist auch das Erfordernis einer Bodenbehandlung und die Eignung des Bodens für die Bodenbehandlung in Abhängigkeit vom vorgesehenen Bindemittel durch eine Eignungsprüfung zu beurteilen.

3.3. Eignungsprüfung

Generell ist zu unterscheiden, ob der für eine Verbesserung/Verfestigung vorgesehene Boden hinsichtlich seiner grundlegenden Eigenschaften bekannt ist, oder ob diese Daten erst gewonnen werden müssen. Zu diesen Eigenschaften gehören insbesondere:

- Korngrößenverteilung
- natürlicher Wassergehalt
- Proctordichte / optimaler Einbauwassergehalt

Wenn für den vorgesehenen Boden noch keine praktischen Erfahrungen hinsichtlich der Behandlung mit Cinerit® vorliegen, wird die Errichtung von **Probefeldern** empfohlen. Dabei werden über eine Arbeitsbreite mit den für die Bauausführung vorgesehenen Geräten und eine Länge von mind. 20 m pro Versuchsfeld 2-lagig verschiedene Boden- Cinerit®-Gemische hergestellt und verdichtet. Die Versuchsfelder werden unmittelbar nach Abschluss der Verdichtungsarbeit hinsichtlich ihres Verdichtungsgrades, der erreichten Verformungsmodule (statisch und dynamisch) und des Wassergehaltes geprüft. Zur einfacheren Handhabung der Prüfung im weiteren Bauverfahren kann dabei auch eine Eichung der dynamischen Lastplatte mittels statischer Versuche erfolgen.

3.4. Untersuchung der Umweltverträglichkeit im Einzelfall

Im Einzelfall kann es – wie bei anderen Bindemitteln auch – sinnvoll oder erforderlich sein, die zu erwartenden Umweltauswirkungen des Einsatzes von Cinerit® im Vorfeld abzuklären, siehe dazu Abschnitt 4. Dies ist insbesondere bei einer aus den Vorversuchen bestimmten Bindemittelmenge von mehr als 5 Masse-%, bei allfälliger Verwendung von Cinerit® im Grundwasserschwankungsbereich und beim Einsatz für Hochwasserschutzbauten der Fall.

3.5. Behandlungsverfahren

3.5.1. *Baumischverfahren (mixed-in-place)*

Beim Baumischverfahren fährt das Mischgerät auf der für die Bodenbehandlung vorbereiteten Schicht und arbeitet das zuvor aufgebrachte Bindemittel und gegebenenfalls erforderliches Wasser ein. Anschließend wird die behandelte Bodenschicht kontrolliert verdichtet. Die Bindemittelmenge wird beim Baumischverfahren in kg/m², bezogen auf die Trockendichte des Bodens, angegeben. **Die Anwendung von Cinerit® im Baumischverfahren ist die übliche Verarbeitungsform, die bei zahlreichen Bauvorhaben erfolgreich angewendet wurde.**

3.5.2. *Zentralmischverfahren (mixed-in-plant)*

Beim Zentralmischverfahren wird der Boden mit dem Bindemittel und dem gegebenenfalls erforderlichen Wasser in einer zentralen Mischanlage gemischt. Dabei können sowohl Chargen- als auch Durchlaufmischer verwendet werden. Mobile Mischanlagen sind vor allem bei größeren Baumaßnahmen geeignet. Das fertige Boden-/Bindemittel-Gemisch kann mit offenen Lkw zur Einbaustelle transportiert werden. Zur Vermeidung von Wasserentzug muss ggf. das Gemisch beim Transport abgedeckt werden. Das Boden-/Bindemittel-Gemisch ist bei großflächigen Anwendungen in der Regel mit Fertiger einzubauen und anschließend wie beim Baumischverfahren kontrolliert zu verdichten. Die Bindemittelmenge wird beim Zentralmischverfahren in M.-%, bezogen auf die Trockendichte des Bodens, angegeben. **Für den Einsatz von Cinerit® im Zentralmischverfahren liegen gute Erfahrungen von mehreren Bauvorhaben vor**, wobei aus der Praxis berichtet wird, dass das mit **Cinerit® versetzte Bodenmaterial wesentlich länger einbaufähig** bleibt, als der mit konventionellen Bindemitteln behandelte Boden.

Hinweis: Anstelle des Zentralmischverfahrens kann die Einmischung des Bindemittels auch an der Abtragstelle des Bodens erfolgen und das Boden- Bindemittel- Gemisch zur Einbaustelle transportiert werden, wenn am Einbauort kein Mischgerät eingesetzt werden kann (z.B. bei Verfüllungen oder in Bereichen, in denen Bindemittelverwehungen vermieden werden müssen). Auf Grund der kürzeren Reaktionszeit ist hingegen nach den vorliegenden Praxiserfahrungen die Vormischung an einem anderen Ort als der Einbaustelle bei Verwendung insb. von Kalk- / Zementmischungen in den meisten Fällen kaum möglich.

3.6. Durchführung der Bodenbehandlung

3.6.1. *Mindestschichtstärke*

Aus bautechnischen Gründen wird eine Mindestschichtstärke von 20 cm im verdichteten Zustand empfohlen. Bei Bodenverbesserungen ist die Dicke der Schicht oder Lage nach der Dicke des zu verbessernden Bodens bzw. der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Geräte so zu wählen, dass die geforderte Verdichtung auch im unteren Teil der Lage erreicht wird. Bei aus bautechnischen Gründen erforderlichen größeren Schichtstärken als ≥ 50 cm ist in der Regel eine Herstellung der behandelten Bodenschicht in mehreren Lagen erforderlich.

3.6.2. Bodenvorbereitung

Der Oberboden und pflanzliche Bestandteile sind zu entfernen. Bei dicht gelagerten bzw. halbfesten, fein- oder gemischtkörnigen Böden kann es vorteilhaft für die spätere Durchmischung sein, den Boden aufzureißen und zu zerkleinern.

Weist der zu verfestigende Boden Steine mit einem Durchmesser > 63 mm auf, so sind in einem ersten Arbeitsgang geeignete Geräte, wie z. B. Grader und Scheibeneggen, einzusetzen, um diese Anteile zu entfernen. Dadurch können eine bessere Verteilung des Bindemittels erreicht und Arbeitsunterbrechungen und Geräteschäden vermieden werden. Profil und Dicke der Bodenverfestigung müssen dabei erhalten bleiben.

Der Boden ist vor dem Verteilen des Bindemittels abzugleichen und zu verdichten. Zum Planieren sind Grader besonders gut geeignet. Die Höhenlage des vorverdichteten Planums muss so eingestellt werden, dass unter Berücksichtigung des Verdichtungsmaßes in der verfestigten Schicht die Sollhöhen und Schichtdicke nicht über- bzw. unterschritten werden.

Übersteigt der Wassergehalt des zu verfestigenden Bodens den für die Verdichtung günstigen Wert, so kann es vorteilhaft sein, den Boden durch Auflockerung zu belüften, um die Trocknung des Bodens durch natürliche Verdunstung zu beschleunigen. Hierfür können die für die Verdichtung üblichen Geräte oder z.B. Scheibeneggen oder Grader verwendet werden.

Ist der Boden zu trocken, muss rechtzeitig vor dem Verteilen des Bindemittels ausreichend Wasser zugegeben werden. Alternativ kann das Wasser beim Mischen durch angebaute Wassersprühbalken zugeführt werden.

3.6.3. Bindemittelverteilung

Eine gleichmäßige Verteilung des Bindemittels ist nur mit eigens dafür konstruierten Geräten möglich. Die aufgebrachte Bindemittelmenge kann mit Hilfe von ausgelegten Prüfblechen überprüft werden.

In schwer zugänglichen Bereichen ist es sinnvoll, ein außerhalb der Einbaustelle hergestelltes Boden- Bindemittel- Gemisch einzubringen.

3.6.4. Mischen

Für die Bodenbehandlung sollten leistungsfähige Geräte (z. B. Bodenfräsen) eingesetzt werden, die eine einwandfreie Homogenisierung des Boden-/Bindemittel-Gemisches ermöglichen. Dabei ist so lange zu mischen, bis in der gesamten vorgegebenen Schichtdicke eine gleichmäßige Färbung und ein gleichmäßiger Wassergehalt erreicht werden.

Bei steinhaltigen Böden hat sich auch die Verwendung von Grubbern, Scheibeneggen und Planierraupen mit geeigneten Zusatzgeräten bewährt. Durch den Einsatz von Gradern, Planierraupen mit Aufreißen und Baggern allein ist eine intensive Durchmischung normaler Weise nicht zu erreichen. Bei beengten Verhältnissen, wie z.B. Grabenverfüllungen, können Spezialgeräte (z. B. Bagger mit Mischschaufel) eingesetzt werden. Bei Anwendungen insbesondere im Schutzwasserbau, wie z.B. bei Hochwasserschutzdämmen, ist darauf zu achten, dass eine Überfräsung der Lagen von etwa 5 cm erfolgt, um horizontale Fugen bzw. Diskontinuitätsflächen mit höherer Durchlässigkeit zu vermeiden.

3.6.5. Verdichten

Zur Verdichtung des behandelten, homogenisierten Bodenmaterials sollten leistungsfähige Geräte wie z.B. Glatzwalze oder Schafffußwalze eingesetzt werden. Der Geräteeinsatz ist auf die Bodenart, die Schichtdicke sowie die Anzahl der Übergänge abzustimmen. In der Regel ist bei sehr tonreichen bzw. hochkohäsiven

Böden die Verwendung einer Glattwalze vorteilhaft, da bei der Schaffußwalze Hohlräume entstehen können. Der geforderte Verdichtungsgrad ist über die gesamte Schichtdicke und das gesamte Profil - auch in den Randbereichen - zu gewährleisten. In den Randbereichen ist ein Überprofil mit nachfolgender Profilierung zu empfehlen.

3.6.6. Nachbehandlung

Unter Umständen kann eine Nachbehandlung (wie Abdecken der Fläche mit Folie oder Berieselung) erforderlich sein, um ein vorzeitiges Austrocknen des mit Cinerit® behandelten Bodens zu verhindern.

3.6.7. Was ist sonst beim Bau zu beachten?

Eine Bodenbehandlung von **gefrorenem Boden** ist **nicht zulässig**. Bei Boden- und Lufttemperaturen nahe dem Gefrierpunkt sollten möglichst keine Verfestigungen und qualifizierten Bodenverbesserungen durchgeführt werden, die Temperatur des Boden-/Bindemittel-Gemisches sollte möglichst lange - mindestens in den ersten drei Tagen – möglichst nicht unter +5 °C absinken. Bodenverfestigungen und qualifizierte Bodenverbesserungen mit Cinerit® sollten mindestens 2 Monate vor dem Auftreten von Frost hergestellt werden. Ansonsten sollte die behandelte Bodenschicht ausreichend gegen Frosteinwirkung geschützt werden, z. B. durch Fertigstellung des Oberbaues einer Straße.

Bei starken **Niederschlägen** sind die Arbeiten einzustellen. Bei geringen Niederschlägen muss das Einfräsen des Bindemittels so schnell nach dem Verteilen erfolgen, dass eine Durchfeuchtung und damit eine Verklumpung des Bindemittels vermieden werden. Wird durch die Niederschläge der für die ausreichende Verdichtung festgelegte Wassergehalt des Bodens überschritten und kann dadurch das Boden- Bindemittel- Gemisch nicht ausreichend verdichtet werden, müssen die Arbeiten so lange unterbrochen werden, bis der Boden ausreichend abgetrocknet ist.

3.7. Begleitende bautechnische Kontrollen

Grundsätzlich wird bei der baubegleitenden Kontrolle zwischen der Eigenüberwachung, welche im Normalfall seitens der ausführenden Firma erfolgt und der Fremdkontrolle, die durch eine unabhängige dritte Partei durchgeführt wird, unterschieden. Da Art und Umfang der baubegleitenden Kontrolle von Fall zu Fall unterschiedlich gehandhabt werden und üblicherweise im Leistungsvertrag geregelt sind, wird hier die Unterscheidung zwischen Eigen- und Fremdüberwachung nicht eingegangen. Die nachstehende Tabelle 7 gibt einen Überblick über den häufig gehandhabten Umfang der Qualitätskontrolle im Zuge der Bauausführung:

Tab. 7: Häufig praktizierte Untersuchungsdichte im Zuge der baubegleitenden Qualitätskontrolle

Bestimmungsparameter	Häufigkeit von Untersuchungen		
	im Straßenbau	für Gründungen	als Dammschüttung
Wassergehalt	täglich 1-2 x	täglich 1-2 x	täglich mind. 1 x bzw. alle 1.000 – 2.000 m ³
Verdichtungsgrad (bez. auf Proctordichte)	alle 3.000 – 6.000 m ²	alle 500 m ²	täglich mind. 1 x bzw. alle 1.000 – 3.000 m ³
Korngrößenverteilung	nach Erfordernis (z.B.: Materialwechsel) bzw. alle 6.000 m ²	nach Erfordernis (z.B.: Materialwechsel) bzw. alle 6.000 m ²	nach Erfordernis (z.B.: Materialwechsel) bzw. alle 6.000 m ²
kf-Wert (Durchlässigkeitsbeiwert)	nach Erfordernis	nach Erfordernis	täglich mind. 1 x bzw. alle 3.000 m ³
Druckfestigkeit	nach Erfordernis (z.B.: Materialwechsel) bzw. alle 6.000 m ²	alle 3.000 m ²	nach Erfordernis (z.B.: Materialwechsel) bzw. alle 6.000 m ²

Die häufige Bestimmung des Wassergehaltes gehört zu den wichtigsten Überwachungsparametern bei der Bauausführung.

Hinweis: Zur Wassergehaltsbestimmung auf der Baustelle stehen Schnellbestimmungsmethoden wie v.a. die Troxler-Sonde (Isotopsonde) und Mikrowellensonden zur Verfügung. Der Vergleich der Schnellbestimmungsmethoden mit der Wassergehaltsbestimmung im Labor weist die Troxler Sonde als die mit Abstand genaueste schnelle Bestimmungsmethode aus. Abgesehen vom – bedingt durch die auf radioaktiver Strahlung beruhende Messmethode – etwas komplizierteren Prozess, was Transport und Handling betrifft, ist die Isotopenmethode auch am einfachsten zu handhaben. Beim Mikrowellen-Schnelltest sollten die methodisch bedingten Unschärfen durch eine höhere Anzahl an Einzelmessungen kompensiert werden.

Da bei der Ausschreibung eines Bauvorhabens häufig der zu erreichende Verdichtungsgrad angegeben wird, kann bei Baubeginns oder bei der vorausgehenden Herstellung von Probefeldern (siehe Abschnitt 3.3) der Verdichtungsgrad auch über die Bestimmung des Verformungsmoduls (dynamischer oder statischer Plattendruckversuch) ermittelt werden kann. Dazu wird der Plattendruckversuch an verschiedenen Verdichtungsgraden geeicht, um die Mindestverformungsmoduln zum Erreichen des erforderlichen Verdichtungsgrades festlegen zu können. Bei dieser indirekten Bestimmung des Verdichtungsgrades ist zu beachten, dass mit Abnahme der maßgeblichen Korngröße des Bodens die Unschärfe der Ergebnisse zunimmt.

4. Umweltverträglichkeit der Bodenbehandlung mit CINERIT®

4.1. Allgemeines

Cinerit® weist aufgrund des Herstellungsverfahrens und der eingesetzten Ausgangsstoffe nur sehr geringe, aus Umweltgesichtspunkten nicht relevante Gehalte an organischen Schadstoffen auf.

Cinerit® hat aufgrund der eingesetzten Ausgangsstoffe einen höheren Gehalt an einigen Schwermetallen (Kupfer, Zink und Blei) als Feinkalk (Brennkalk) und Zement. Höhere Schwermetallgehalte als in Kalk und Zement sind aber auch in anderen Flugaschen (Kohleflugasche) enthalten, wie sie in großen Mengen in Baustoffen oder als Baustoff – auch zur Bodenbehandlung - eingesetzt werden.

Die Gehalte an Schwermetallen liegen – größtenteils weit – unterhalb jener Grenzen in den chemikalienrechtlichen Vorschriften, nach denen wegen der Anwesenheit eines gefährlichen Stoffs eine Gefahreinstufung des Produkts erforderlich wäre (Tabelle 8).

Cinerit® ist aber aufgrund des Gehalts an Calciumoxid aber – wie auch Feinkalk und Zement – als

- H318 **verursacht schwere Augenschäden**
- H315 **verursacht Hautreizungen**
- H335 **kann die Atemwege reizen**

einzustufen. Auf das **Sicherheitsdatenblatt** wird verwiesen.

4.2. Auswirkungen auf Boden und Grundwasser

Der Gehalt an Kupfer, Zink und Blei wirkt sich bei den für die Bodenbehandlung erforderlichen Mengen (in der Regel ca. 2 – 3 Masse-%, max. ca. 8 Masse-%) an Cinerit® nur geringfügig auf die Schadstoffbelastung (Schwermetallbelastung) des behandelten Bodens aus: **Mit Cinerit® behandelte Böden erfüllen** – außer im Fall einer bereits vorhandenen geogenen oder anthropogenen Vorbelastung – bei allen Schwermetallen die „strengen“ **Verwertungskriterien für Bodenaushubmaterial des österreichischen Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2011 für die Klasse A2** (Verwertung von Bodenmaterial als Untergrundverfüllung) und alle einschlägigen **Vorsorgewerte nach bodenschutzrechtlichen Vorschriften**.

Tab. 8: Gemessene Durchschnitts- und Maximalgehalte von gefährlichen Inhaltsstoffen¹⁾ in Cinerit® (Untersuchungszeitraum 2009 – 2014)

Index-Nr.	Bezeichnung	Einstufung	Cinerit®	
			Durchschn. Gehalt [%]	Max. Gehalt [%]
030-013-00-7	Zinkoxid	H400 H410	0,12	<0,25
082-001-00-6	Bleiverbindungen, nicht spezifiziert	H360Df H332 H302 H373 H400 H410	0,02 (PbO)	0,03 (PbO)
028-003-00-2	Nickeloxide	H350i H372 H317 H413	0,003 (NiO)	0,005 (NiO)
024-018-00-3	Natriumchromat	H350 H340 H360FD H330 H301 H372 H312 H314 H334 H317 H400 H410	0,001 (Na ₂ CrO ₄)	0,003 (Na ₂ CrO ₄)
080-002-00-6	Quecksilber-verbindingen, nicht spezifiziert	H330 H310 H300 H373 H400 H410	0,0001 (HgO)	0,0003 (HgO)
048-002-00-0	Cadmiumoxid, Cadmium	H350 H341 H361fd H330 H372 H400 H410	0,0003 (CdO)	0,0006 (CdO)
029-002-00-X	Kupferoxide	H302 H400 H410	0,06 (CuO)	0,07 (CuO)

Zur – für die Umweltverträglichkeit eines Stabilisierungsmittels entscheidenden - **Auslaugbarkeit von Schadstoffen** aus dem behandelten Boden liegen umfangreiche Untersuchungsergebnisse vor, die mit verschiedenen Elutionsverfahren gewonnen wurden. Die Auslaugbarkeit der mit Cinerit® behandelten Böden ist in jedem Fall gering und unterschreitet die „strengen“ **Verwertungskriterien für Bodenaushubmaterial des Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2011 für die Klasse A2** (Verwertung von Bodenmaterial als Untergrundverfüllung). Der **Vergleich der Schadstoffmobilität** in mit Cinerit® behandelten Böden mit jener beim **Einsatz anderer Stabilisierungsmittel** (Feinkalk, Zement-Kalk-Mischungen) zeigt im Großen und Ganzen **nur geringe Unterschiede**, siehe Tabelle 9.

Tab. 9: Vergleich des Auslaugungsverhaltens von mit Cinerit® und anderen Stabilisierungsmitteln behandelten Böden

Parameter	Zement/Kalk	Kalk	Überschreitungen der Grenzwerte des Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2011 möglich bei	
pH-Wert			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2, A2-G
Leitfähigkeit			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2, A2-G
Abdampfrückstand			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2-G
Aluminium (Al)			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2-G
Antimon (Sb)				
Arsen (As)				
Barium (Ba)				
Beryllium (Be)				
Blei (Pb)				
Bor (B)				
Cadmium (Cd)				
Calcium (Ca)				
Chrom (Cr)			Kalk, Zement/Kalk	A2, A2-G
Chrom VI (Cr VI)			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2-G
Eisen (Fe)				
Kobalt (Co)				
Kupfer (Cu)				
Mangan (Mn)				
Molybdän (Mo)				
Nickel (Ni)				
Quecksilber (Hg)				
Selen (Se)				
Silber (Ag)				
Thallium (Tl)				
Vanadium (V)				
Zink (Zn)				
Zinn (Sn)				
Ammonium (N)			Cinerit®, Kalk, Zement/Kalk	A2-G
Fluorid (F)				
Nitrit (N)			Kalk, Zement/Kalk	A2-G
Nitrat (N)				
Phosphat (P)				
Sulfat (SO ₄)				
TOC (C)				

	mit Cinerit® behandelter Boden hat immer eine geringere Auslaugbarkeit
	mit Cinerit® behandelter Boden kann eine geringere oder höhere Auslaugbarkeit haben als beim Einsatz von Feinkalk oder Zement/Kalk (abhängig von der Bodenart und/oder dem angewandten Elutionsverfahren)
	keine wesentlichen Unterschiede oder Auslaugbarkeit des behandelten Bodens bei allen Stabilisierungsmitteln gering (unterhalb Bestimmungsgrenze oder jedenfalls < 50% der Grenzwerte für die Klasse A2-G)
	mit Cinerit® behandelter Boden hat immer einer höhere Auslaugbarkeit

Mit Cinerit® behandelte Böden haben in der Regel eine deutlich geringere Anhebung des pH-Wertes und weniger lösliche Calciumverbindungen im Eluat. Auch bei anderen Stoffen (z.B. Chromverbindungen) hat Cinerit® immer wieder bessere Eigenschaften als mit konventionellen Bindemitteln behandelte Böden erbracht. Bestimmte mit Cinerit® behandelte Böden haben höhere lösliche Gehalte an Aluminium, was aber auf die hohe puzzolanische Aktivität (und somit die Wirksamkeit) des Bindemittels zurückzuführen ist. Lösliches Aluminium wird in angrenzenden Bodenschichten sofort gebunden, sodass daraus keine negativen Umweltauswirkungen zu erwarten sind. **Zusammenfassend liefert Cinerit® nach allen vorliegenden Untersuchungen aus Umweltsicht keinesfalls schlechtere Ergebnisse als konventionelle Bindemittel.**

4.3. Einsatz im Grundwasserschwankungsbereich

Die durchgeführten vergleichenden Untersuchungen verschiedener Bindemittel zeigen, dass kein mit einem alkalisch oder hydraulisch wirksamen Bindemittel behandelter Boden alle Verwertungskriterien für Bodenaushubmaterial des Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2011 für die **Klasse A2-G (Verwertung von Bodenmaterial im oder unmittelbar über dem Grundwasser)** einhalten kann.

Hinweis: Der Einsatz einer Bodenstabilisierung mit trocknend und/oder hydraulisch wirksamen Bindemitteln für die Herstellung des Unterbaus von Straßen, Eisenbahnstrecken, Gebäuden oder zur Herstellung von Dammkörpern bei Straßen, Eisenbahnstrecken u. dgl. im Grundwasserschwankungsbereich hat im Allgemeinen keine praktische Bedeutung, da zum Schutz der jeweiligen Bauwerke (Vermeidung von Bauwerksschäden) andrängendes Grundwasser unterhalb der stabilisierten Bodenschicht z.B. mit Dränageschichten aus Kies abgeleitet werden muss. Eine Bodenstabilisierung im Grundwasserschwankungsbereich kommt somit in der Praxis meist nur dort in Betracht, wo gleichzeitig auch eine Dichtungsfunktion des Bauwerks erreicht werden soll, d.h. v.a. bei Hochwasserschutzbauwerken.

Sofern eine **Bodenbehandlung im Grundwasserschwankungsbereich bzw. unmittelbar über dem höchsten Grundwasserstand** überhaupt in Betracht kommt, ist daher bei jedem in Frage kommenden Bindemittel eine Beurteilung der möglichen Umweltauswirkungen im Einzelfall zu empfehlen.

4.4. Sonstige Auswirkungen auf die Umwelt

Bei Beachtung der Anwendungshinweise (Abschnitt 5 dieses Merkblatts) sind beim Einsatz von Cinerit® keine wesentlichen sonstigen Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten.

4.5. Untersuchung der Umweltauswirkungen im Einzelfall

Eine vollständige Charakterisierung der Umweltauswirkungen bei der Anwendung eines bestimmten Bindemittels zur Bodenbehandlung erfordert im Allgemeinen (soweit nicht bereits vorliegend):

- Die Bestimmung der Zusammensetzung und der Schadstoffgehalte im vorgesehenen Bindemittel,
- die Bestimmung der Schadstoffgehalte (Gesamtgehalte und auslaugbare Gehalte) im zu behandelnden Boden,
- die Bestimmung der Schadstoffgehalte (Gesamtgehalte und auslaugbare Gehalte) im behandelten Boden,
- die Ermittlung sonstiger für das Verhalten und die Schadstoffmobilität relevanter Eigenschaften des behandelten Bodens (v.a. Durchlässigkeit),
- ggf. den Vergleich unterschiedlicher Bindemittel auf die Schadstoffgehalte (Gesamtgehalte und auslaugbare Gehalte) im behandelten Boden.

Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von mit alkalischen oder hydraulisch wirkenden Bindemitteln behandelten Böden sind v.a. die auslaugbaren Schadstoffgehalte, also die **Mobilisierbarkeit von Schad-**

stoffen, von entscheidender Bedeutung. Dafür steht eine Reihe von Untersuchungsverfahren zur Verfügung, wie sie auch im Abfallbereich zum Einsatz kommen. Die Auswahl des Elutionsverfahrens richtet sich nach dem Anwendungsfall und der jeweiligen Fragestellung und ist daher im Einzelfall zu entscheiden.

- Standardelutionsverfahren (Schüttelverfahren) nach ÖNORM EN 12457-4 (Schüttelversuch mit Wasser mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg an der auf < 10 mm vorzerkleinerten Probe): Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der einfachen Anwendbarkeit und darin, dass sich die meisten Richt- und Grenzwerte für Schadstoffkonzentrationen in Eluaten auf dieses Verfahren beziehen. Das Verfahren ist für die Untersuchung behandelter Böden vielfach wenig realitätsnah (liefert zu hohe Werte), da es an der zerkleinerten Probe angewendet wird.
- Bei Trog- und Umspülungsverfahren (z.B. LAGA EW 98) wird die Probe nicht zerkleinert, sondern in einem Siebeinsatz in das Elutionsmittel gegeben, das durch Rühren oder Umwälzen mit der Probe in Kontakt gebracht wird. Für behandelte Böden beschreibt dieses Verfahren wegen der Vermeidung mechanischer Beanspruchungen des Probenmaterials die Auslaugbarkeit von Schadstoffen aus einem behandelten Boden wesentlich realitätsnäher als das Standardelutionsverfahren, weil die Schadstofffreisetzung bei der – in der Praxis meist relevanten - Umströmung des Prüfkörpers beurteilt wird.
- Perkolationsverfahren (z.B. ÖNORM EN 14405 Entwurf). Mit solchen Verfahren wird die Schadstoffmobilität bei Durchströmung des Prüfkörpers beurteilt. Das Perkolat kann z.B. in der zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts verwendeten Triaxialzelle gewonnen werden.

Für die meisten feinkörnigen Bodenarten (Tone, Schluffe, Ausande und Aulehme) liegen für den Einsatz von Cinerit® umfangreiche Untersuchungsergebnisse vor, so dass umweltbezogene Untersuchungen nur im Einzelfall (bisher nicht untersuchte Bodenarten, Einsatz der Bodenstabilisierung in wasserrechtlich besonders geschützten Bereichen, Großbauvorhaben, Verdacht auch Vorbelastung des Bodens ...) erforderlich erscheinen. In vielen Fällen reicht dabei in der Praxis eine Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffmobilität im behandelten Boden mit dem Standardelutionsverfahren, ggf. auch im Vergleich mit anderen interessierenden Bindemitteln. Die dafür benötigten Proben werden am besten im Zuge der geotechnischen Eignungsprüfung (siehe Abschnitt 3.3) aus den Probefeldern entnommen.

5. Hinweise zum sicheren und umweltverträglichen Umgang mit Cinerit®

5.1. Arbeitnehmerschutz

Cinerit® führt bei direktem Kontakt durch den Gehalt an Calciumoxid („Branntkalk“) zu Haut-, Augen- und Schleimhautreizungen, Cinerit® unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht von anderen vergleichbaren Bindemitteln. Bei der Möglichkeit des direkten Kontakts von Arbeitnehmern mit dem Produkt ist für eine geeignete persönliche Schutzausrüstung zu sorgen. Die Hinweise im **Sicherheitsdatenblatt** sind zu beachten.

5.2. Vermeidung von Windverwehungen

Auf einen ausreichenden Schutz gegen Bindemittelverwehungen ist – wie auch bei anderen für die Bodenbehandlung eingesetzten Bindemitteln - während der Bauausführung zu achten. Die Verteilgeräte sollten mit entsprechenden Schutzvorrichtungen (z.B. nach unten gezogene Schürzen) ausgestattet sein. **Bei starkem Wind ist das Verteilen von Cinerit® einzustellen, falls sichtbare Staubeentwicklungen bzw. Staubverfrachtungen auf angrenzende Flächen zu beobachten sind.**

5.3. Schutz bestimmter landwirtschaftlicher Kulturen

In bestimmten Fällen kann es zum vorsorglichen Schutz besonders „sensibler“ landwirtschaftlicher Flächen (Flächen für den Biolandbau, Gemüseanbauflächen, Tee- und Heilkräuterkulturen u.Ä.) sinnvoll sein, die

Mischung des Bodens mit Cinerit® im Zentralmischverfahren durchzuführen, wenn mit anderen Mitteln die Windverfrachtung des Bindemittels nicht ausgeschlossen werden kann.

5.4. Schutz vor Abschwemmungen

Cinerit® sollte wie auch andere vergleichbare Bindemittel nicht bei stärkeren Niederschlägen eingesetzt werden. Ggf. sind die Bauarbeiten zu unterbrechen.

Es ist bei der Anwendung von Cinerit® - wie bei allen alkalisch und hydraulisch wirksamen Bindemitteln – darauf zu achten, dass es nicht zu Abschwemmungen oder sonstigen Einträgen in Oberflächengewässer kommt. Zum Schutz von Oberflächengewässern kann es im Einzelfall notwendig sein, durch Anlage provisorischer Abflussmulden und Auffangbecken in Erdbauweise möglicherweise bei Starkniederschlägen auftretende Oberflächenwasserabflüsse aufzufangen und das gesammelte Wasser erst nach Kontrolle des pH-Wertes (ggf. auch weiterer Parameter) abzuleiten oder zur Versickerung zu bringen. Eine Rückführung derart gesammelter Oberflächenwässer in das Baufeld ist anzustreben.

5.5. Arbeitsmaschinen und Geräte

Cinerit® kann – wie auch alle anderen in Frage kommenden Bindemittel – zu Ablagerungen und Verkrustungen auf Geräten und Arbeitsmaschinen führen. Eine Reinigung von Geräten und Arbeitsmaschinen nach Gebrauch wird daher empfohlen. Aus der Praxis wird berichtet, dass Cinerit® zu deutlich geringeren Abnutzungs- und Korrosionserscheinungen bei Arbeitsmaschinen und Geräten führt als andere Bindemittel.

5.6. Entsorgung von Produktresten

Größere Mengen an Produktresten werden nach vorhergehender Vereinbarung (bei Rücklieferung frei Werk Steyrermühl) **kostenfrei** vom Hersteller **zurückgenommen**.

Produktreste können ansonsten **nach Anfeuchtung mit Wasser** als nicht gefährlicher Abfall mit der Schlüsselnummer **31301 Flugaschen und -stäube aus sonstigen Feuerungsanlagen (ÖNORM S 2100)** bzw. EWV-Code **10 01 15 Rost und Kesselasche, Schlacken und Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen die unter 10 01 04 fallen** (Abfallverzeichnisverordnung) entsorgt werden.

Wichtiger Hinweis: Bei der Anfeuchtung von Produktresten mit Wasser ist unbedingt für eine geeignete persönliche Schutzausrüstung (insb. Augenschutz, Staubmaske, Handschuhe) Sorge zu tragen und zu berücksichtigen, dass Cinerit® mit Wasser unter Wärmeentwicklung (ähnlich wie Feinkalk) reagiert.

6. Rechtliche Hinweise

Der Einsatz von alkalisch oder hydraulisch wirksamen Bindemitteln für die Bodenstabilisierung kann nach bestimmten verwaltungsrechtlichen Vorschriften genehmigungspflichtig sein. Es wird empfohlen, bereits bei der Erstellung des Einreichprojekts die vorgesehenen Bodenbehandlungsmaßnahmen zu beschreiben.

6.1. Wasserrechtliche Vorschriften

In wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten, insb. in Wasserschutzgebieten und Kernzonen von Grundwasserschongebieten, gelten in der Regel für bauliche Anlagen und Eingriffe in den Untergrund besondere Vorschriften und Bewilligungspflichten. Es wird in solchen Fällen empfohlen, bereits am Beginn der Planung eines Bauvorhabens mit der Wasserrechtsbehörde Kontakt aufzunehmen und die vorgesehenen Bodenbehandlungsmaßnahmen jedenfalls im Projekt darzustellen.

Das Gleiche gilt auch bei Hochwasserschutzbauten oder allfälligen den Grundwasserschwankungsbereich berührenden Bodenstabilisierungsmaßnahmen.

6.2. Abfallrechtliche Vorschriften

Nach § 3 Abs. 1 Z 8 Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002) sind nur nicht kontaminierte Böden und andere natürlich vorkommende Materialien, die im Zuge von Bauarbeiten ausgehoben wurden, sofern sichergestellt ist, dass die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden, kein Abfall. Der Einsatz von Bodenaushub von „fremden“ Baustellen für die Bodenstabilisierung kann damit – **unabhängig vom verwendeten Bindemittel** – abfallrechtliche Vorschriften berühren. Es wird in solchen Fällen empfohlen, rechtzeitig mit der Abfallbehörde (i.d.R. die örtlich zuständige Bezirkshauptmannschaft) Kontakt aufzunehmen. Im Zweifelsfall kann von der Abfallbehörde in einem Feststellungsverfahren nach § 6 AWG 2002 geklärt werden, ob Bodenaushub einer „fremden“ Baustelle Abfall ist oder nicht.

7. Weiterführende Hinweise

Weiterführende Hinweise, Berichte, Prüfergebnisse, Gutachten, Praxiserfahrungen und sonstige aktuelle Informationen findet man auf der **Cinerit®-Homepage** (<http://www.cinerit.at/>).

Wichtige Normen:

ÖNORM EN 14227-3 (2013): Hydraulisch gebundene Gemische - Anforderungen - Teil 3: Flugaschegebundene Gemische

ÖNORM EN 14227-4 (2013): Hydraulisch gebundene Gemische - Anforderungen - Teil 4: Flugasche für hydraulisch gebundene Gemische

ÖNORM EN 14227-14 (2006): Hydraulisch gebundene Gemische - Anforderungen - Teil 14: Bodenverbesserung mit Flugasche

ÖNORM EN 14227-15 (2014): Hydraulisch gebundene Gemische - Anforderungen - Teil 15: Hydraulische Bodenstabilisierungen

Richtlinien und Merkblätter:

Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (1978): RVS 11.02.45 Bodenstabilisierung mit Kalk

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2004): Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln. FGSV-Nr. 551, FGSV Verlag GmbH, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012): Merkblatt zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln. FGSV-Nr. 564, FGSV Verlag GmbH, Köln

Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V. (2013): Bodenverbesserung – Bodenverfestigung mit Kalk. D-50968 Köln (<http://www.kalk.de/publikationen/fachpublikationen/erd-und-strassenbau/>)

Wirtgen GmbH. Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln. D-53578 Windhagen (<http://www.wirtgen.de/de/technologien/bodenstabilisierung/praxisratgeber/praxisratgeber.php>)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 (<http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/>)

Deutsches Institut für Bautechnik (2011): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Hrsg. Herausgeber Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt, Berlin (<https://www.dibt.de>)

CEN/TS 16637-1 (2014): Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 1: Leitfaden für die Festlegung von Auslaugprüfungen und zusätzlichen Prüfschritten. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2009): Merkblatt über die Behandlung von Böden und Baustoffen mit Bindemitteln zur Reduzierung der Eluierbarkeit umweltrelevanter Inhaltsstoffe. FGSV-Nr. 560, FGSV Verlag GmbH, Köln

Hrsg.: EEG Entsorgungs- und Energieverwertungsges.m.b.H., 4662 Steyrmühl, Fabriksplatz 1