

Injektionsstoffe im Tunnelausbruchsmaterial – Abfall oder Ersatzbaustoff?

Götz Tintelnot, TPH Bausysteme GmbH, Dr. Michael Koch, BFM Umwelt GmbH

Der Vortrag untersucht die Möglichkeit der Verwendung von Tunnelausbrüchen mit systembedingten Beimischungen als Ersatzbaustoff. Dies geschieht unter Berücksichtigung der aktuellen Regelwerke und Vorschriften im Bereich der Deponierung beziehungsweise Entsorgung dieser Beimischungen.

1 Einleitung

Der Vortrieb eines Tunnels erfolgt naturgemäß durch unterschiedliche Boden- und Gesteinszusammensetzungen, die bisweilen vorausseilende Abdichtung, Verfestigung oder Verfüllung des Bodens erforderlich machen. Beim anschließenden Tunnelausbruch fällt dann Ausbruchmaterial an, das mit den zuvor eingesetzten Stoffen verunreinigt sein kann („systembedingte Beimengungen“ nach VOB 2016 Teil C DIN 18312). Systembedingte Beimengungen können neben Spritzbeton, Injektionsbeton (erhöhte Werte von Sulfat, pH-Wert und Leitfähigkeit, z. T. auch Chromat aus dem Zement) oder Mineralölkohlenwasserstoffe durch eingesetzte Baugeräte und maschinen, sowie Flüssigsprengstoffe auch ausreagierte Injektionsharze und -gele sein.

Da Tunnelausbruchsmaterial in der Regel immer mit systembedingten Beimengungen beaufschlagt ist, stellt sich regelmäßig die Frage der abfallrechtlichen Einstufung des Materials zur Entsorgung, insbesondere der Verwertung. Eigenschaften und Einsatz von Mehr-Komponenten-Harzen werden im Folgenden kurz erläutert sowie die umwelttechnischen Fragestellungen diskutiert.

2 Injektionsharze

2.1 Einsatzbereiche von Harzen

Kunsthharze kommen heute in den unterschiedlichsten Bauvorhaben zum Einsatz, so auch in der so genannten Geoinjektion. Harze stehen dabei nicht in Konkurrenz zu mineralischen (zementösen) Injektionsstoffen, sondern erweitern das Portfolio der Injektionsmöglichkeiten und bieten sich an für Lösungsansätze, die mit herkömmlichen Injektionsstoffen nicht denkbar wären.

2.1.1 Was sind Harze?

Injektionsharze sind synthetische mehr oder weniger flüssige Stoffe, die in der Regel aus mehreren Komponenten bestehen und durch Polymerisations- oder Polyadditionsreaktionen zu einem duroplastischen Kunststoff aushärten. Je nach Anwendungsgebiet

kommen Harze zum Einsatz, deren Endprodukt hart und spröde, aber auch weich und elastisch sein kann.

2.1.2 Was ist Geoinjektion und wozu wird sie eingesetzt?

Geoinjektion kommt zum Abdichten, Verfestigen und Verfüllen von unterschiedlichen Böden zum Einsatz. Hierbei wird ein Injektionsmaterial mit Hilfe von Pumpen und Lanzen oder Packern direkt in den zu stabilisierenden Boden eingebracht. Das Material reagiert dort zusammen mit dem Boden aus zu einem Harz/Sand-Gemisch mit den jeweils gewünschten Eigenschaften (wasserdicht, erhärtet, volumenstabil o. ä.).

2.1.3 Welche Injektionsmittel zu welchem Zweck?

Für das Abdichten kommen überwiegend Acrylatgele, Polyurethanharze, Silikatharze oder Injektionszemente zum Einsatz, während sich zum Verfestigen von Böden je nach Einsatzgebiet zusätzlich auch Epoxidharze eignen. Das Verfüllen schließlich, gerade im Tunnelbau beispielsweise vor der Ortsbrust benötigt, erreicht die effektivsten Ergebnisse mit Polyurethanharzen, Silikatharzen oder Injektionszementen.

2.2 Vorteile von Harzen

Künstliche Injektionsharze weisen gegenüber herkömmlichen mineralischen Stoffen eine Vielzahl an Vorteilen auf. Die fünf größten Vorteile liegen in ihrer niedrigen Viskosität, ihrem Elutionsverhalten, der Reaktionsgeschwindigkeit, dem niedrigen Platzbedarf auf der Baustelle. Darüber hinaus liegen für viele Injektionsharze und -gele unabhängige Prüfungen und Nachweise bezüglich der Inertheit vor, um die Deponiefähigkeit und Nutzungsmöglichkeit des ausreagierten Materials als Ersatzbaustoff zu bescheinigen.

2.2.1 Variabilität durch niedrige Viskosität

Im Vergleich zu mineralischen Stoffen wie etwa Zement-Suspensionen haben Injektionsharze eine sehr viel niedrigere Viskosität. Daher ist mit Harzen eine

erfolgreiche Geoinjektionen auch in besonders dichten Böden wie etwa Feinsand oder Schluff möglich, in die Zemente niemals vordringen könnten.

2.2.2 Elutionsverhalten

Anders als Zemente weisen einige Harze zudem auch keine oder nur eine extrem geringe Elution auf, weshalb sie sich auch in Böden mit stark fließendem (Grund-) Wasser einsetzen lassen.

2.2.3 Geschwindigkeit

Bei vielen Harzen lässt sich mit Hilfe von Katalysatoren oder anderen Einmischungen die Reaktions- und damit Weiterverarbeitungszeit bedarfsgerecht einstellen, was gerade im Tunnelbau wesentlich kürzere (und kostengünstigere) Standzeiten bedeutet.

2.2.4 Logistik

Die für Harzinjektionen auf der Baustelle benötigten Materialien und Pumpen beanspruchen nur einen Bruchteil des Platzes und des logistischen Aufwandes, der für den Einsatz von zementösen Injektionsstoffen anfällt und lassen sich daher sehr wirtschaftlich in Vortriebsszenarien integrieren.

2.2.5 Inertheit

Aufgrund der Nutzung von Harzen sind im Rahmen der Deklarationsanalysen des Ausbruchmaterials für die Kohlenstoffwerte DOC (dissolved organic carbon) und TOC (total organic carbon) erhöhte Werte zu erwarten. Daher halten Hersteller von Injektionsharzen in der Regel wiederkehrende unabhängige Prüfungen und Nachweise Ihrer Injektionsstoffe vor, die die dauerhafte Inertheit des ausreagierten Materials auch numerisch nachweist, so unter anderem mit Hilfe von Analysen der Atmungsaktivität AT4. Teilweise liegen für einzelne Produkte inzwischen regelmäßige Dauerhaftigkeitstest über den Zeitraum von zwei Jahrzehnten und länger vor, wodurch die Deponierfähigkeit und die Eignung als Verwendung als Ersatzbaustoff nachgewiesen werden.

3 Umweltrelevanz

Harze finden, wie oben erläutert, vielfältigen Einsatz in Umweltmedien. Dabei sind einerseits die Kompartimente Boden und Wasser, speziell Grundwasser, direkt betroffen, aber auch Rückstände, die später bei Baumaßnahmen, speziell auch im Tunnelbau als Ausbruchsmassen anfallen und somit abfallrechtlich relevant sind. Dabei sind in Deutschland, aber auch in EU- und nicht EU-Nachbarländern wie z. B. die Schweiz, unterschiedliche Rechtsbereiche betroffen, die z. T. auch miteinander konkurrieren. Vor allem in Deutschland gibt es deutliche Diskrepanzen zwischen verschiedenen Rechtsvorschriften, die den Umgang mit Stoffen, die der Einstufung oder Eig-

nung ihrer Weiter-/Wiederverwertung oder Entsorgung nicht einheitlich regeln, und das nicht nur auf Bundesebene, sondern auch zwischen den einzelnen Bundesländern. Insbesondere sind die folgenden Rechtsbereiche betroffen:

- Bundes- Bodenschutzgesetz (BBodSchG) mit der zugehörigen Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sowie den länderspezifischen Regeln dazu
- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) mit den dazugehörigen Verordnungen wie insbesondere die Abfallverzeichnisverordnung (AVV) und die Deponieverordnung (DepV) sowie den länderspezifischen Regeln dazu
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG) sowie den länderspezifischen Regeln dazu
- Chemikaliengesetz (ChemG) mit zugehörigen Verordnungen sowie den länderspezifischen Regeln dazu
- Trinkwasserverordnung (TrinkwV) sowie den länderspezifischen Regeln dazu

Besonders relevant ist die Tatsache, dass in Deutschland schon seit langem erkannt wurde, dass zwischen den einstufigs- bzw. bewertungsrelevanten Kriterien insbesondere bei der BBodSchV und der DepV Harmonisierungsbedarf besteht. Deswegen haben der Bund und die Länder eine sogenannte Mantelverordnung erarbeitet, die – nach ursprünglichen Ideen – verschiedene Rechtsverordnungen vereinheitlichen sollte. Der Name Mantelverordnung ist die Bezeichnung für eine einheitliche Verordnung, mit der verschiedene, in einem Sachzusammenhang stehende Verordnungen neu geschaffen, geändert oder aufgehoben werden sollten.

Teil der vorgesehenen Mantelverordnung ist die Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, mittels der erstmalig bundeseinheitlich und rechtsverbindlich Anforderungen an die Herstellung und den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe festgelegt werden sollten. Damit will man dem Wildwuchs der in den einzelnen Ländern herrschenden Entsorgungsvorgaben für industriell und gewerblich anfallende mineralische „Abfall“stoffe Einhalt gebieten. Im Vordergrund steht dabei, den Schutz von Boden und Grundwasser bundeseinheitlich festzulegen sowie die Ziele der Kreislaufwirtschaft zu fördern und die Akzeptanz für den Einbau von Ersatzbaustoffen zu fördern. Als besonders positiv wird dabei die Reduzierung des Einsatzes natürlicher, geogener und fossiler Ressourcen gesehen.

Während die neue BBodSchV inzwischen in Bundestag und Bundesrat als umsetzbar gilt, wurde die Ersatzbaustoffverordnung von der Bundesregierung

auf Drängen vom Bundesinnenminister kürzlich abgelehnt, sodass die gesamte Mantelverordnung zunächst wieder überarbeitet werden muss. Der Ausgang ist weiterhin offen.

Weitere, umweltschutzrelevante Gesetze wie das BImSchG oder das BNatSchG werden hier nicht als vordergründig relevant eingesehen und deswegen nicht weiter betrachtet.

Im Folgenden werden die umweltrelevanten Eigenschaften verschiedener Harze auf die einzelnen Kompartimente kurz dargestellt.

Im Wesentlichen sind die folgenden Harze zu betrachten, die in Labor- und Technikumsversuchen untersucht wurden:

- Acrylatgele: Ecocryl, Rubbertite, Variotite
- Polyurethanschäume: Pur-O-Crack Plus, Pur-O-Stop FS-L
- Druckstabile, wenig scherfestige Schäume: Foam Seal Plus

3.1 Umweltrelevante Eigenschaften

3.1.1 Acrylatgele

Acrylatgele sind meist 2- oder 3-Komponentensysteme, eingesetzt als Hydrogel auf Acrylat-/Methacrylatbasis. Sie fallen mit ihren Komponenten in die Wassergefährdungskategorie WGK I und sind somit schwach wassergefährdend.

Zusammenfassend kann man die Komponenten folgenden Gefahrenklassen zuordnen:



Weitere ökologisch relevante Daten aus den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern können auf der Home-Page <https://www.tph-bausysteme.com/unternehmen/downloads/sicherheit/tdatenblaetter/> heruntergeladen werden.

3.1.2 Polyurethanschäume

Polyurethanschäume sind 2-Komponentensysteme mit ggf. einem Katalysatorzusatz. Sie können entweder als elastische oder starre Injektionsharze auf Polyurethanbasis eingesetzt werden. Sie fallen mit ihren Komponenten in die Wassergefährdungskategorie WGK I und sind somit schwach wassergefährdend.

Zusammenfassend kann man die Komponenten folgenden Gefahrenklassen zuordnen:



Weitere ökologisch relevante Daten aus den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern können auf der Home-Page <https://www.tph-bausysteme.com/unternehmen/downloads/sicherheit/tdatenblaetter/> heruntergeladen werden.

3.1.3 Schäume

Schäume sind zwei-Komponentensysteme auf Silikatbasis und der Wassergefährdungskategorie WGKI (schwach wassergefährdend) zuzuordnen.

Zusammenfassend kann man die Komponenten folgenden Gefahrenklassen zuordnen:



Weitere ökologisch relevanten Daten aus den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern können auf der Home-Page <https://www.tph-bausysteme.com/unternehmen/downloads/sicherheit/tdatenblaetter/> heruntergeladen werden.

3.2 Abfall

Ausbruchsmaterialien von Böden und Gesteinen aus Tunnelbaumaßnahmen enthalten je nach Einsatz der verschiedenen Harze auch unterschiedliche Anteile davon. Während bei Injektionen in das umgebende Gebirge eher mit geringen Anteilen von systembedingten Beimengungen (im unteren Prozentbereich) zu rechnen ist, kann der Anteil bei der Ortsbrustsicherung gegen eindringendes Grundwasser wesentlich höher sein. Nach eigenen Untersuchungen können die systembedingten Fremdbestandteile am Ausbruchsmaterial folgende Ranges erreichen bzw. einhalten:

- Akrylatgele: 1 bis 3 % des Bodenaushubs
- Polyurethanschäume: 3 bis 8 % des Bodenaushubs
- Schäume aus der Ortsbrustvermittlung: 5 bis 15 %

Bei der Verwendung von Schäumen mit doch relativ hohen Anteilen an systembedingten Beimengungen muss darauf hingewiesen werden, dass auf Grund der geringen Scherfestigkeit der Boden/Schaummischung ein Absieben der Schaumfraktion nachgewiesenermaßen erfolgreich durchgeführt werden kann, wodurch der Anteil an silikatbasierten Beimengungen deutlich reduziert werden kann.

Bei der Einstufung von Tunnelausbruch als Abfall im Sinne des KrWG § 3 Abs. 1: „Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer

sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung“

ist zu berücksichtigen, dass man sich des Tunnelausbruchs zwar entledigen will, es sei denn, man hat im Baustellenbereich eine zugelassene Einsatzmöglichkeit, aber doch die Frage stellen darf, ob der Ausbruch nicht doch auch anderweitig als Ersatzbaustoff wieder eingesetzt oder verwertet werden kann. Derzeit kommt bei Entsorgern in Bayern in erster Linie die Verwertung zur Auffüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen nach LVGBT (EPP) in Betracht. Diese Entsorgungsart orientiert sich mit den vorgegeben Grenzwerten für die einzelnen Zuordnungsklassen nach Bodenschutzrecht, die Analysen zur Deklaration werden in der Fraktion < 2 mm durchgeführt und nicht in der Gesamtfraktion wie in der DepV oder nach LAGA M 20. So kommt es leider oft auf Grund mit Harzen imprägniertem Tunnelaushub bei der Anfangsdeklarationsanalytik (frischer Tunnelausbruch) zu erhöhten Gehalten an organischen Verbindungen, nachgewiesen als DOC und TOC, die aber nach endgültiger Aushärtung als inert gelten dürfen, was die Atmungsaktivität nach 4 Tagen (AT4) eindrucksvoll belegt.

Trotzdem kann man feststellen, dass die zuständigen Behörden einer „Wertgläubigkeit“ unterliegen, die mangels Verantwortungsübernahme einer höheren Verwertungsmöglichkeit entgegensteht.

Bei ebenfalls oft systembedingten Beimengungen im Tunnelausbruch bzgl. Sulfat ist man zumindest in Bayern von den Vorgaben der LAGA M 20 und der DepV durch deutlich höhere Zuordnungswerte nach oben abgewichen.

3.3 Wertstoff

Insgesamt betrachtet sollte die Beurteilung von Tunnelausbruch mit systembedingten Beimengungen auf Grund der nachweislich inerten Anteile an organischen Kohlenstoffverbindungen hinsichtlich Wiederverwertung in Bauwerken als wertvoller Baustoff (Ersatzbaustoff) in Betracht gezogen werden. Einsatzmöglichkeiten gäbe es viele.

4 Umwelt- und abfalltechnische Einordnung

4.1 Langzeituntersuchungen

Im Rahmen von Voruntersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab wurden verschiedene Injektionsmittel mit Einsatz unterschiedlicher Ausgangsgesteine untersucht. Die Herstellung der Probenkörper erfolgte an der TU München, die parallel bodenmechanische Untersuchungen durchführte.

Materialien aus unterschiedlichen Baumaßnahmen bzw. geologischen oder technischen Fragestellungen wurden mit Harzen injiziert und neben anderen auch chemischen Analysen zugeführt.

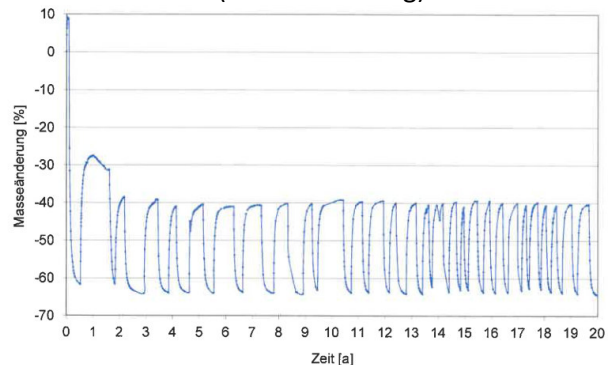
Es handelte sich dabei um Materialien aus folgenden Bestandteilen:

- Tunnelausbruch Kramertunnel Garmisch-Partenkirchen
- Tunnelausbruch Brenner-Basis-Tunnel
- Tertiäre Sande des tertiären Hügellandes um München, die mit dem Tunnelausbruch aus der 2. S-Bahn-Stammstrecke vergleichbar sind
- Eisenbahnschotter zur Prüfung der Schotterverklebung und Wasserdurchlässigkeit

Für verschiedene der oben genannten Harze liegen Langzeituntersuchungen zum Alterungsverhalten und der Trinkwasserverträglichkeit vor.

So wurden Harze auf Polyurethanbasis und Acrylatgel von der MFPA Leipzig GmbH (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Baustoffe, Bauprodukte und Bausysteme) mit folgenden Ergebnissen untersucht:

- Acrylatgele zeigen auch nach 20-jähriger Wasserwechsellagerung unter extremen Laborbedingungen bei der Trocknung über den Zeitraum von 20 Jahren eine uneingeschränkte Reversibilität des Quellverhaltens (siehe Abbildung).



- Acrylatgele weisen auch bei etwa 20 Jahre ausgelagerten Proben (Einlagerung unter praxisrelevanten Umgebungsbedingungen im Erdreich) keine erkennbaren, die Funktionsfähigkeit beeinträchtigenden Eigenschaftsminderungen auf.
- Polyurethanbasierte Harze zeigen nach der Lagerung (270-tägige Einlagerung) in Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Salzgehalten keine Festigkeitsabnahme; sie sind als beständig in Bezug auf wesentliche Eigenschaften einzuschätzen.

- Bei den polyurethanbasierten Harzen zeigten sich nach 2 Jahren unter unterschiedlichen Lagerungsbedingungen sowohl auf die Masse- und Geometrieänderungen als auch auf die Zugfähigkeit nur in geringem Maße Auswirkungen.

Alle diese Eigenschaften sprechen für eine gegebene Eignung der Materialien im Bodenverbund als Ersatzbaustoffe.

Auch die Untersuchung ausgewählter Parameter im Eluat nach TrinkwV 2012 von polyurethanbasierten Harzen und Acrylgelen zeigten keine Überschreitungen der Grenzwerte.

4.2 Abfalltechnische Untersuchungen

Zur Einschätzung bzw. Einstufung von mit Harzen versetztem Tunnelausbruch wurden an verschiedenen Ausgangsgesteinen aus unterschiedlichen geologischen Formationen mit unterschiedlicher Petrographie, die an der TU München, Zentrum Geotechnik, mit unterschiedlichen Harzen imprägniert wurden, abfalltechnische Untersuchungen durchgeführt. Ein Beispiel für einen Versuchskörper zeigt folgende Abbildung (imprägnierte tertiäre Sande, Porenraum gefüllt mit Harz).



Abbildung 4-1: Probekörper Tertiäre Sande

Die verklebten Probekörper wurden in einem nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Labor auf die Korngröße < 10 mm gebrochen und abfalltechnisch nach folgenden Vorschriften analysiert:

- Deutsche Deponieverordnung
- Österreichische Deponieverordnung

- Bayerischer Leitfaden zur Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen (LVGBT)

Zu bemerken ist, dass mehr oder weniger der gesamte Porenraum der Prüfkörper mit Harzen gefüllt ist, was einen wesentlich höheren Anteil an organischer Substanz bedeutet als das bei tatsächlichem Tunnelausbruch der Fall wäre (siehe Abschnitt 3.2).

Wie erwartet waren bei den Untersuchungsergebnissen die organischen Leitparameter auffällig. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die relevanten Ergebnisse:

Tabelle 4-1: Abfalltechnisch relevante Untersuchungsergebnisse:

Material	DOC (mg/l)	TOC (%)
Schäume	45 - 61	0,75 – 9,6
Acrylate	120	3,3
PU-basierte	1,5 – 840	2,8 – 14

Alle anderen Parameter sind unauffällig und letztendlich nach den verschiedenen vorgenannten Vorschriften abfalltechnisch nicht einstufigsrelevant.

Aus anderen Versuchen und Untersuchungen konnte nachgewiesen werden (Dez. 2016, nicht veröffentlicht), dass bereits nach 28 Tagen der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) der zu Untersuchungsbeginn 102 mg/l betrug, zu 76 % abgebaut war. Die jeweilige Atmungsaktivität nach 4 Tagen (AT4) war unter der Nachweisgrenze.

Auch wenn die zunächst analysierten hohen Kohlenstoffgehalte eine abfalltechnische Einstufung nach den o. g. Vorschriften schwierig erscheinen lassen, wenn man strikt nach *Deklarationstabellen* vorgeht, sollte ein Einsatz als Ersatzbaustoff offen diskutiert werden.

5 Ausblick

Die oben dargestellten Untersuchungen und Ergebnisse wurden an im Labor hergestellten Prüfkörpern erhoben, die bezogen auf die Harzgehalte (gefüllte Porenräume) eine Worst-Case-Betrachtung darstellen.

Im nächsten Schritt ist geplant (Wasserrechtsverfahren bereits eingeleitet), im großtechnischen Feldmaßstab Harze auf Acrylatbasis unter strengen Überwachungsbedingungen durchzuführen und die Ergebnisse geotechnisch, umwelt- und abfalltechnisch zu erfassen und zu bewerten. Mit den Ergebnissen ist in der 2. Jahreshälfte 2021 zu rechnen.

Literaturverzeichnis

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz – BbodSchG vom 17. März 1998 (BGL. I S. 502)

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BbodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGL. I S. 1554)

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): „Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen LVGBT; Leitfaden zu den Eckpunkten vom 21.06/13.07.2001“. München; 09.12.2005

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz: Leitfaden für die Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen; Anpassung Zuordnungswerte Eluat, 19.06.2018

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.04.2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Art. 2 VO zur Änderung der Abfallverzeichnis-VO und der DeponieVO v. 30.06.2020 (BGBl.I S. 1533)

Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln“. Neuburg; Stand: November 1997, Druck 1998

MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht Nr. PB 5.1/18-428-1: Verhalten des Acrylatgels Rubbertite nach 20 jähriger Wasserwechsellagerung; 07.02.2019

MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht Nr. PB 5.1/18-428-3: Verhalten des Acrylatgels Rubbertite nach 20 jähriger Auslagerung im Erdreich; 07.02.2019

MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht Nr. PB 5.1/13-015: PUR-O-Stop FS-L und FS-F: Untersuchung der Beständigkeit bei Lagerung in Flüssigkeit; 24.03.2014

MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht Nr. PB 5.1/14-223/16: Untersuchungen zum Alterungsverhalten von PUR-O-Stop FS-L; 23.01.2017